



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
PPGEC**

Método para *Retrofit* em Sistemas de Iluminação de Hospitais Públicos: Estudo de Caso no Hospital Público Regional de Betim

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

José Francisco Campos Moreira

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD

Florianópolis, Abril de 2010

Termo de Aprovação

Método para *Retrofit* em Sistemas de Iluminação de Hospitais Públicos: Estudo de Caso no Hospital Público Regional de Betim

JOSÉ FRANCISCO CAMPOS MOREIRA

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC.

Prof. Humberto Ramos Roman, PhD - Coordenador do MINTER
UFSC/CEFET-MG

Prof. Dra. Janaíde Cavalcanti Rocha - Coordenadora do PPGEC/UFSC

Prof. Enedir Ghisi, PhD - Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA

Profª. Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Membro
UFMG

Profª. Dra. Ana Lígia Papst de Abreu - Membro
UNISUL

Prof. Dr. Luis Alberto Gómez - Membro
UFSC

É graça divina começar bem.
Graça maior persistir na caminhada certa.
Mas graça das graças é não desistir nunca.
D. Hélder Câmara

A Deus, pela luz constante em minha vida.

À minha esposa Agda,
e aos meus dois filhos, Filipe e Ana Carolina,
que com serenidade e resignação
aceitaram minhas constantes ausências.

Aos meus pais Osvaldo e Teresinha,
à minha tia Teresinha e ao meu tio Juca,
ao meu primo-irmão José Luiz
que com grande sabedoria
souberam incentivar-me para a luz dos estudos
desde a tenra idade.

Agradecimentos

Aos colegas do Hospital Público Regional de Betim, em especial aos gerentes de manutenção, Sra. Alice Maria pela acolhida inicial, Sr. Ronaldo José Rezende pelo grande interesse no trabalho e por disponibilizar recursos humanos e materiais para auxiliar nos levantamentos de campo, Sr. Gilson Cláudio Amorim pelas informações úteis sobre o funcionamento de alguns dos sistemas hospitalares; aos eletricitas Sr. Roberto Mauro Rodrigues dos Santos e Sr. Éder Nogueira pelos levantamentos de campo; ao Chefe de Serviços Gerais, Sr. Carlos Alberto pela disponibilização de diversas informações corporativas, à enfermeira Sra. Maria Isabel de Melo pelas medições e apoio na pesquisa no bloco cirúrgico, ao porteiro Júlio César dos Santos por desburocratizar minhas constantes entradas e saídas do hospital; ao diretor geral, Sr. Geraldo Zanon por ter entendido o objetivo do trabalho e liberado o acesso aos diversos ambientes e a todos que direta ou indiretamente contribuíram com informações úteis;

Ao Professor Enedir Ghisi, pelo brilhantismo de suas exposições nas duas disciplinas lecionadas na fase de créditos, em especial na disciplina ‘Eficiência Energética em Edificações’, que ratificou meu já interesse pela área, e pelas sempre oportunas observações;

À professora Ana Lígia e professor Luis Gómez, pelos comentários feitos durante a Qualificação;

À professora Cristina César, pelo constante incentivo;

À UFSC pela oportunidade única de realização deste sonho;

Ao CEFET-MG, nas pessoas dos professores Maurílio Leandro e Geraldo do Carmo, pela liberação parcial das aulas, que proporcionou tempo suficiente para realização da dissertação;

Aos colegas da CEMIG e do INMET que prontamente providenciaram os dados climáticos solicitados.

Sumário

1	Introdução	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Justificativa.....	27
1.3	Objetivos	29
1.3.1	Objetivo Geral.....	29
1.3.2	Objetivos Específicos.....	29
1.4	Descrição do Objeto de Estudo de Caso.....	30
1.4.1	A Edificação.....	30
1.4.2	O Sistema Energético.....	31
1.4.3	O Sistema de Iluminação Artificial.....	32
1.4.4	Os Demais Sistemas de Apoio	33
1.4.5	As Cores dos Ambientes Internos.....	34
1.5	Estrutura do Trabalho.....	35
2	Revisão Bibliográfica	37
2.1	Considerações Iniciais.....	37
2.2	Iluminação Elétrica.....	39
2.3	Eficiência Energética em Iluminação	40
2.3.1	Conservação de Energia em Lâmpadas Fluorescentes.....	43
2.3.2	Conservação de Energia em Reatores	44
2.3.3	Conservação de Energia em Luminárias.....	44
2.3.4	Aproveitamento de Luz Natural.....	45
2.3.5	Influências das Cores dos Ambientes	50
2.3.6	Influências da Qualidade de Cor das Fontes Luminosas.....	52
2.3.7	Influências das Manutenções Periódicas.....	55
2.4	Iluminação nos Ambientes Hospitalares	58
2.4.1	Aspectos Normativos	60
2.4.2	Parâmetros de Conforto e Economia de Energia	63
2.5	<i>Retrofit</i> de Sistemas de Iluminação	65
2.6	O Cenário da Pesquisa.....	67
2.6.1	No Brasil.....	68

2.6.2	Em Outros Países.....	72
2.7	Considerações finais.....	73
3	Materiais e Métodos	75
3.1	Metodologia Genérica.....	75
3.2	Porte do Hospital.....	81
3.3	Estimativas dos Usos Finais de Energia Elétrica	81
3.3.1	Sistema de Iluminação.....	84
3.3.2	Condicionamento Ambiental.....	87
3.3.3	Ar Comprimido e Fábrica de Oxigênio	95
3.3.4	Produção de Vácuo.....	95
3.3.5	Exaustão e Ventilação Mecânica	96
3.3.6	Geração de Água Quente e Vapor	96
3.3.7	Exames Clínicos	98
3.3.8	Transporte Vertical.....	99
3.3.9	Lavanderia	100
3.3.10	Cocção de Alimentos.....	100
3.3.11	Esterilização de Instrumentos e Equipamentos.....	101
3.3.12	Hemodiálise.....	101
3.4	Consumo Anual de Energia Elétrica	102
3.5	Ajustes Entre Valores Estimados e Medidos das Grandezas Elétricas.....	103
3.6	Avaliação dos Atuais Níveis de Iluminância Artificial.....	104
3.6.1	Metodologia de Medição	105
3.6.2	Escolha dos Ambientes de Medição	107
3.6.3	Ambientes Especiais de Medição	108
3.7	Elaboração do Novo Projeto Luminotécnico	110
3.7.1	Escolha dos Ambientes Representativos para os Cálculos Luminotécnicos.....	112
3.7.2	Medição das Refletâncias das Superfícies dos Ambientes.....	113
3.7.3	Escolha dos Equipamentos de Iluminação.....	114
3.7.3.1	Escolha das Lâmpadas	115
3.7.3.2	Escolha das Luminárias	117

3.7.3.3	Escolha das Reatores.....	120
3.7.4	Determinação da Quantidade de Luminárias Eficientes ...	120
3.7.5	Análise de Luminâncias.....	121
3.8	Estudo de Viabilidade Econômica da Solução Adotada para o <i>Retrofit</i>	124
3.9	Medição e Avaliação da Iluminação Natural.....	130
4	Resultados e Discussões.....	134
4.1	Determinação do Porte do Hospital em Estudo.....	134
4.2	Configuração Atual do Sistema de Iluminação Artificial do Hospital.....	136
4.3	Estimativas dos Principais Usos Finais de Energia.....	136
4.3.1	Condicionamento Ambiental.....	136
4.3.1.1	Análise Preliminar das Contas de Energia Elétrica.....	136
4.3.1.2	Determinação do Uso Final.....	140
4.3.2	Ar Comprimido e Fábrica de Oxigênio.....	146
4.3.3	Produção de Vácuo.....	148
4.3.4	Exaustão e Ventilação Mecânica.....	148
4.3.5	Geração de Água Quente e Vapor.....	148
4.3.6	Exames Clínicos.....	150
4.3.7	Transporte Vertical.....	151
4.3.8	Lavanderia.....	152
4.3.9	Cocção de Alimentos.....	153
4.3.10	Esterilização de Instrumentos e Equipamentos.....	154
4.3.11	Hemodiálise.....	154
4.4	Uso Final com Iluminação Artificial do Hospital.....	154
4.4.1	Diagnóstico Energético.....	155
4.4.2	Determinação do Uso Final com Iluminação.....	158
4.5	Medição dos Atuais Níveis de Iluminância Artificial.....	160
4.5.1	Ambientes Comuns da Área Hospitalar.....	160
4.5.2	Salas de Cirurgia.....	168
4.5.3	Enfermarias.....	171
4.6	Projeto Luminotécnico.....	173

4.6.1	Ambientes Escolhidos como Representativos para os Cálculos Luminotécnicos.....	174
4.6.2	Refletâncias das Superfícies dos Ambientes.....	178
4.6.3	Luminárias Seleccionadas	179
4.6.3.1	Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares para Uso Geral	179
4.6.3.2	Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares para Uso Específico	182
4.6.3.3	Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Compactas.....	184
4.6.4	Lâmpadas Seleccionadas	186
4.6.5	Reatores Seleccionados	189
4.6.6	Determinação da Nova Quantidade de Luminárias	190
4.6.6.1	Ambientes Atualmente Iluminados por Lâmpadas Fluorescentes.....	191
4.6.6.2	Ambientes Atualmente Iluminados por Lâmpadas Incandescentes	196
4.6.6.3	Ambientes Especiais (Enfermarias).....	199
4.6.6.4	Ambientes Externos	202
4.6.7	Análise de Luminâncias.....	204
4.7	Estudo de Viabilidade Econômica da Solução Adotada Para o <i>Retrofit</i>	208
4.7.1	Determinação dos Custos.....	209
4.7.2	Determinação dos Benefícios	216
4.7.3	Viabilidade Econômica.....	218
4.8	Medição e Avaliação da Iluminação Natural	221
4.8.1	Primeiro ao Quinto Pavimento	222
4.8.2	Pavimento Térreo.....	228
4.8.3	Considerações sobre a determinação da energia elétrica economizada utilizando-se iluminação natural. ...	235
4.9	Considerações Finais.....	237
5	Conclusões.....	242

5.1 Cuidados Sobre a Estimativa dos Usos Finais de Eletricidade.....	242
5.2 Conclusões Sobre a Análise Econômica	245
5.3 Conclusões Sobre a Possibilidade de Aproveitamento de Iluminação Natural	246
5.4 Conclusões Gerais	247
5.5 Limitações do Trabalho	248
5.6 Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	249
Referências Bibliográficas	250
Apêndices	263
Apêndice 1. Refletância média de cores.	263
Apêndice 2. Determinação do máximo desvio aceito entre grandezas estimadas e medidas.....	264
Apêndice 3. Planilha de pesquisa sobre conforto luminoso nas salas de cirurgia.	266
Apêndice 4. Modelo de planilha para diagnóstico energético.....	267
Apêndice 5. Planilha com a relação dos <i>fan coils</i> do HPRB.....	268
Apêndice 6. Iluminação externa.....	270
Apêndice 7. Planilha dos locais com sistema de exaustão e ventilação do HPRB.	271
Apêndice 8. Planilha dos equipamentos utilizados na cocção de alimentos.....	275
Apêndice 9. Amostra do diagnóstico energético de iluminação e tomadas do HPRB.....	276
Apêndice 10. Planilha para determinação das iluminâncias adotadas em alguns ambientes do HPRB.....	277
Apêndice 11. Planilha da medição da refletância das paredes e tetos dos ambientes de referência do HPRB.....	278
Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RASA e RAAB).....	279
Apêndice 13. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RBCD).	284

Apêndice 14. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas.	286
Apêndice 15. Equipamentos e materiais necessários para a implantação do <i>retrofit</i> no hospital regional de Betim.	287
Apêndice 16. Luminárias fluorescentes existentes do hospital regional de Betim.	294
Apêndice 17. Luminâncias produzidas pelas luminárias fluorescentes.	298
Apêndice 18. Consolidação dos dados sobre iluminação artificial.	300
Apêndice 19. Malha de pontos para medição de iluminação natural.	301

Abreviaturas Utilizadas

AMS	Pesquisa de Assistência Médico-Sanitária do IBGE
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BPF	Óleo combustível de baixo ponto de fluidez e custo
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAD	Programas de Computador para Auxílio à Elaboração de Desenhos
CIE	<i>Commission Internationale L'Eclairage</i>
CCIH	Comissão de Controle de Infecção Hospitalar
CEFET-PR	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CME	Central de Material Esterilizado
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
ELETRORBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEE	Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
IRC	Índice de Reprodução de Cores
MAE	Mercado Atacadista de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RGR	Reserva Global de Reversão (fundo de recursos do setor elétrico)
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SUS	Sistema Único de Saúde
S.E.	Subestação Elétrica
SND	Serviço de Nutrição e Dietética
TC	Transformador de Corrente
TR	Tonelada de Refrigeração

UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina
USP Universidade de São Paulo
UTI Unidade de Tratamento Intensivo

Resumo

As dificuldades históricas da oferta de serviços de boa qualidade e em quantidade suficiente na área da saúde pública no Brasil têm sempre o discurso da falta de recursos financeiros. Nota-se com frequência, entretanto, o mau uso dos recursos públicos, seja na concepção e construção de edificações com pouca ou nenhuma preocupação com a eficiência energética, seja com uma gestão mal preparada, que não consegue avaliar, preparar e conscientizar os ocupantes para a questão da conservação de energia. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo propor um método para a análise da viabilidade técnica e econômica de se implementar um *retrofit* no sistema de iluminação de hospitais públicos, com vistas a torná-lo energeticamente eficiente e ao mesmo tempo proporcionar maior conforto luminoso a todos os usuários. A metodologia proposta compreende a avaliação da atual situação com relação à quantidade e qualidade da iluminação em diversos ambientes de um hospital. Compreende também a avaliação dos usos finais, avaliação da representatividade do uso final com iluminação em face do consumo total do estabelecimento e avaliação da possibilidade de se implementar um *retrofit*, em função da economia de energia resultante com o uso de equipamentos eficientes. Para tal, realiza-se uma pesquisa de mercado sobre a disponibilidade de equipamentos eficientes, com base em critérios de qualidade e de menor custo. A partir da escolha dos produtos elaboram-se novos projetos luminotécnicos, os quais levam em conta tanto a quantidade de iluminação preconizada pelas normas quanto à qualidade da mesma, através do estudo de luminância, temperatura de cor correlata e índice de reprodução de cores, adequados a cada situação. Os cálculos destes projetos são subsidiados pelo *software* Dialux®, versão 4.7.5. De forma a se verificar a viabilidade econômica determina-se alguns indicadores, como o tempo de retorno (*payback time*) do *retrofit*, a taxa interna de retorno, a relação benefício-custo e valor presente líquido. O estudo é encerrado com a análise da possibilidade de utilização da iluminação natural como forma de proporcionar economias adicionais de energia elétrica. A metodologia foi aplicada no Hospital Público Regional de Betim/MG, para o qual verificou-se a possibilidade de redução em cerca de 59% no consumo de energia com iluminação, que resultaria na diminuição em cerca de 14% na conta de energia do estabelecimento. Caso o *retrofit* seja efetivado, os estudos apontam para um *payback time* ocorrendo entre os meses 13 e 14 após a implantação.

Palavras-chave: Hospital. *Retrofit*. Iluminação. Eficiência Energética.

Abstract

The historical difficulties with the provision of services of good quality and sufficient quantity in the area of public health in Brazil has always met the lack of financial resources. However, the misuse of public financial resources both in design and construction of buildings, with little or no concern about energy efficiency, is often noted, as well as ill-prepared management that cannot make the occupants aware of the issue of energy conservation. Thus, this work aims to propose a methodology for technical and investment feasibility analysis of lighting system retrofit for public hospitals, in order to improve the lighting system energy efficiency and the visual comfort to all users. The proposed methodology includes the evaluation of the current situation regarding the amount and quality of lighting in various areas of a hospital. Also includes the evaluation of energy end-uses, assesses the representativeness of the lighting end-use in comparison to the total consumption of the hospital and evaluates the possibility of implementing a retrofit, according to the energy savings obtained by using energy-efficient lighting equipment. A market research on the availability of energy-efficient equipment, based on criteria of quality and lower cost, was performed. Thus, a new lighting design, which takes into account the illuminance levels proposed by the Brazilian standards, a study of luminances, correlated temperatures and colour rendering index, was performed. The Dialux ® computer programme, version 4.7.5, was used for the lighting design. The investment feasibility analysis was performed by calculating some indicators such as payback time, internal rate of return, benefit to cost ratio and net present value. The study also considered an analysis of the possible use of daylight as a way of promoting additional energy savings. The methodology was applied to the Regional Public Hospital of Betim, located in the state of Minas Gerais, Brazil. The potential for lighting energy savings was estimated as 59% while the total energy savings would be about 14%. As for the investment feasibility analysis, a payback time of 13-14 months was found.

Keywords: Hospital. Retrofit. Lighting. Energy Efficiency.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido.....	41
Tabela 2. Valores limites de densidade de potência instalada em iluminação para hospitais em Massachussets - EUA.....	42
Tabela 3. Eficiência luminosa da iluminação artificial.....	47
Tabela 4. Eficiência luminosa da iluminação natural.....	47
Tabela 5. Aparência de cor de lâmpadas.....	54
Tabela 6. Aparência e reprodução de cores.....	54
Tabela 7. Fatores de perda de luz.....	58
Tabela 8. Variação do nível de iluminação recomendado em normas de diversos países.....	62
Tabela 9. Iluminâncias recomendadas para enfermarias e quartos particulares.....	64
Tabela 10. Indicadores de energia dos hospitais brasileiros.....	70
Tabela 11. Quantidade mínima de pontos a serem medidos.....	105
Tabela 12. Índices de ambiente adotados para seleção dos ambientes a serem monitorados.....	107
Tabela 13. Características desejadas para a pré-seleção das lâmpadas.....	116
Tabela 14. Características desejáveis para pré-seleção das luminárias.....	118
Tabela 15. Características desejadas dos reatores.....	120
Tabela 16. Determinação da curva de limitação de luminância.....	122
Tabela 17. Classificação simplificada de céus típicos para Belo Horizonte.....	131
Tabela 18. Variações dos indicadores de energia do HPRB em relação aos hospitais do Brasil.....	135
Tabela 19. Potência dos aparelhos de ar condicionado de janela.....	144
Tabela 20. Análise da diferença entre o consumo real de energia elétrica do Hospital Regional de Betim e o estimado.....	145

Tabela 21. Consumo anual do hospital regional de Betim por usos finais.....	155
Tabela 22. Diagnóstico energético do sistema de iluminação dos pavimentos.....	156
Tabela 23. Diagnóstico energético do sistema de tomadas dos pavimentos.....	156
Tabela 24. Diagnóstico energético do sistema de iluminação do pavimento térreo, cobertura e área externa.....	157
Tabela 25. Diagnóstico energético do sistema de tomadas do pavimento térreo, cobertura e área externa.....	157
Tabela 26. Confronto de medições com o diagnóstico energético do refeitório e da lavanderia durante 24 horas.....	157
Tabela 27. Diagnóstico energético de iluminação e tomadas do HPRB.....	160
Tabela 28. Ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes escolhidos para medição de iluminância artificial.....	161
Tabela 29. Ambientes iluminados por lâmpadas incandescentes escolhidos para medição de iluminância artificial.....	165
Tabela 30. Medição de iluminância artificial dos ambientes iluminados por lâmpadas a vapor de mercúrio.....	166
Tabela 31. Comparação entre métodos diferentes de medição de iluminância.....	167
Tabela 32. Medição de iluminância artificial das enfermarias.....	172
Tabela 33. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas incandescentes).....	175
Tabela 34. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas fluorescentes).....	175
Tabela 35. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (enfermarias).....	178
Tabela 36. Luminárias tubulares de uso geral pré-selecionadas.....	180
Tabela 37. Luminárias tubulares para uso em enfermarias pré-selecionadas.....	183
Tabela 38. Luminárias compactas selecionadas.....	185
Tabela 39. Lâmpadas fluorescentes tubulares pré-selecionadas.....	187

Tabela 40. Lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas.	188
Tabela 41. Reatores pré-selecionados para lâmpadas tubulares.	189
Tabela 42. Reatores pré-selecionados para lâmpadas compactas.	190
Tabela 43. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes tubulares (Ambientes atualmente iluminados por lâmpadas fluorescentes).	192
Tabela 44. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes compactas obtidas (Ambientes atualmente iluminados por incandescentes).	196
Tabela 45. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes obtidas (Enfermarias).	202
Tabela 46. Melhoria da iluminação e da eficiência energética da iluminação externa.	204
Tabela 47. Quantitativo de luminárias incandescentes do HPRB.	211
Tabela 48. Quantitativo de luminárias vapor de mercúrio do HPRB.	212
Tabela 49. Desmontagem e montagem de luminárias a afins.	213
Tabela 50. Indicadores de redução de consumo pós- <i>retrofit</i>	217
Tabela 51. Benefícios financeiros com a redução do consumo pós- <i>retrofit</i>	218
Tabela 52. Demonstrativo da RBC e VPL do investimento.	220
Tabela 53. Valores presentes do investimento.	221
Tabela 54. Enfermarias de quatro leitos (215), fachada sul. Iluminâncias naturais no verão.	225
Tabela 55. Enfermarias de quatro leitos (215), fachada sul. Iluminâncias naturais no inverno.	225
Tabela 56. Enfermarias de dois leitos (216), fachada sul. Iluminâncias naturais no verão.	226
Tabela 57. Enfermarias de dois leitos (216), fachada sul. Iluminâncias naturais no inverno.	226
Tabela 58. Enfermarias de quatro leitos (212), fachada norte. Iluminâncias naturais no verão.	227
Tabela 59. Enfermarias quatro leitos (212), fachada norte. Iluminâncias naturais no inverno.	227

Tabela 60. Níveis médios de iluminância natural do refeitório no verão.....	230
Tabela 61. Níveis médios de iluminância natural do refeitório no inverno.....	230
Tabela 62. Cronograma de medições de iluminação natural.....	237
Tabela 63. Valores médios de refletância de algumas cores.....	263
Tabela 64. Aparelhos de medição sugeridos para aquisição.....	287
Tabela 65. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura das enfermarias.....	288
Tabela 66. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura dos demais ambientes com leitos.....	289
Tabela 67. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura das instalações sanitárias.....	289
Tabela 68. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos demais ambientes contendo lâmpadas incandescentes.....	289
Tabela 69. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos ambientes com iluminância não superior a 750 lux.....	290
Tabela 70. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos ambientes com iluminância requerida de 750 lux.....	290
Tabela 71. Relação de materiais do novo sistema de iluminação eficiente.....	291
Tabela 72. Quantitativo de luminárias fluorescentes atualmente existentes do HPRB.....	294
Tabela 73. Luminâncias produzida pela luminária RAAB.....	298
Tabela 74. Horários de medição de iluminação natural nas enfermarias.....	300
Tabela 75. Níveis Médios de iluminância natural no corredor sul.....	300

Lista de Figuras

Figura 1. Consumo de energia do setor público no Brasil.....	26
Figura 2. Usos finais de eletricidade no setor hospitalar público.....	27
Figura 3. Vista aérea do hospital público regional de Betim.....	30
Figura 4. Hospital Público Regional de Betim. Vista das fachadas.....	31
Figura 5. Desenho esquemático do pavimento térreo, dos pavimentos 1 ao 5 e cobertura.....	31
Figura 6. Sistemas de iluminação existentes no hospital regional de Betim.....	32
Figura 7. Cores típicas adotadas no hospital regional de Betim.....	34
Figura 8. Diagrama de Kruithof.....	53
Figura 9. Depreciação do fluxo luminoso de luminárias.....	56
Figura 10. Depreciação do fluxo luminoso de lâmpadas fluorescentes.....	57
Figura 11. Consumo de energia em hospitais no mundo.....	73
Figura 12. Fluxograma para elaboração de <i>retrofit</i> em hospitais.....	75
Figura 13. Analisadores de energia.....	82
Figura 14. Instrumentos de medição.....	83
Figura 15. Equipamentos de medição.....	105
Figura 16. Medição de iluminância em um ambiente típico.....	107
Figura 17. Arranjo típico de uma enfermaria com a indicação dos pontos de iluminação.....	109
Figura 18. Ângulos críticos para controle de ofuscamento.....	121
Figura 19. Planos de controle de luminâncias.....	122
Figura 20. Curvas de limitação de luminância - Diagrama 1.....	123
Figura 21. Curvas de limitação de luminância - Diagrama 2.....	123
Figura 22. Diagrama esquemático dos fluxos de caixa.....	126
Figura 23. Médias mensais de temperatura e consumo de energia elétrica do HPRB.....	137
Figura 24. Consumo médio mensal de energia do HPRB por estação.....	138

Figura 25. Consumo médio mensal e temperatura média nas estações entre janeiro de 2004 e dezembro de 2008.....	139
Figura 26. Correlação entre as médias mensais de consumo e temperatura.....	139
Figura 27. Condicionamento ambiental. Consumo médio a cada hora nos dias monitorados no verão.....	141
Figura 28. Correlações entre o consumo médio de energia do sistema de geração de água gelada no verão e a temperatura ambiente média.....	141
Figura 29. Condicionamento ambiental. Consumo médio do SGAG a cada hora nos dias monitorados no inverno.....	142
Figura 30. Correlações entre o consumo médio de energia do SGAG no inverno e a temperatura ambiente média.....	143
Figura 31. Curva de carga da central de ar comprimido e fábrica de oxigênio.....	147
Figura 32. Curva de carga do sistema de transporte vertical.....	152
Figura 33. Curva de carga do sistema de lavanderia.....	153
Figura 34. Usos finais desagregados do hospital regional de Betim.....	159
Figura 35. Pontos de medição de iluminância na sala de material esterilizado.....	167
Figura 36. Pontos de medição de iluminância na sala de espera do centro cirúrgico.....	167
Figura 37. Resposta à pesquisa sobre o nível de iluminância nas salas de cirurgia.....	169
Figura 38. Sensação de intensidade luminosa por faixa etária.....	169
Figura 39. Modelo para simulação de cálculo de iluminância da sala de cirurgia 4.....	171
Figura 40. Detalhe da iluminação das enfermarias.....	171
Figura 41. Luminária RASA.....	181
Figura 42. Luminária RAAB.....	182
Figura 43. Luminária RBCD.....	184
Figura 44. Luminária fluorescente compacta, modelo 1.....	186

Figura 45. Luminária fluorescente compacta, modelo 2.	186
Figura 46. Distribuição das iluminâncias na sala da hemodiálise.	194
Figura 47. Distribuição das iluminâncias nas salas de cirurgia.	195
Figura 48. Distribuição das iluminâncias na sala de ultrassonografia. Linhas isográficas.....	198
Figura 49. Distribuição das iluminâncias na sala do gerador. Cores falsas.	198
Figura 50. Cenário de iluminação de uma enfermaria de quatro leitos iluminadas apenas pela luminária do teto.	199
Figura 51. Cenário de uma enfermaria de quatro leitos iluminada apenas por uma luminária sobre o leito.	200
Figura 52. Distribuição das iluminâncias em uma enfermaria de dois leitos iluminada simultaneamente pela luminária do teto e por uma sobre o leito. Linhas isográficas.	201
Figura 53. Iluminâncias do estacionamento após instalação de lâmpadas eficientes.	203
Figura 54. Iluminâncias na rua Leste após instalação de lâmpadas eficientes.	204
Figura 55. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária RAAB.	205
Figura 56. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária RASA.....	206
Figura 57. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária fluorescente compacta com duas lâmpadas de 26W.....	207
Figura 58. Verificação da luminância produzida pela luminária fluorescente compacta com duas lâmpadas de 18W.....	208
Figura 59. Tempo de retorno do investimento.	220
Figura 60. Planta baixa parcial do segundo pavimento.	222
Figura 61. Malha de pontos para medição de iluminação natural nas enfermarias.	223
Figura 62. Níveis de iluminação natural na enfermaria 215.....	223
Figura 63. Níveis de iluminação natural na enfermaria 216.....	223
Figura 64. Entrada de luz natural no verão na enfermaria 215.....	224

Figura 65. Iluminâncias naturais nas enfermarias de quatro leitos em estações diferentes.	228
Figura 66. Acesso de luz natural no interior do pavimento térreo.	229
Figura 67. Planta baixa parcial da pavimento térreo.	229
Figura 68. Ambiente para medição de iluminância natural na fachada leste.	232
Figura 69. Recintos de medição de iluminância natural.	233
Figura 70. Iluminância Natural na Fachada Oeste (ambiente 1 - ambulatório).	233
Figura 71. Iluminância Natural na Fachada Oeste (ambiente 2).	234
Figura 72. Pontos de medição de iluminância no estacionamento do HPRB.	270
Figura 73. Malha de pontos para medição no interior do pavimento térreo.	301
Figura 74. Malha de pontos para medição da fachada norte.	301
Figura 75. Malha de pontos para medição na fachada sul.	302
Figura 76. Malha de pontos para medição na fachada leste.	302
Figura 77. Malha de pontos para medição na fachada oeste (ambiente 1).	302
Figura 78. Malha de pontos para medição na fachada oeste (ambiente 2).	303

1 Introdução

Este trabalho aborda especificamente a análise da viabilidade técnica e econômica de se implementar um *retrofit* no sistema de iluminação de estabelecimentos hospitalares públicos, com vistas a torná-lo energeticamente eficiente. A análise tem como âncora o potencial de conservação de energia elétrica existente nestes estabelecimentos, uma vez que, em geral, os sistemas de iluminação atualmente instalados são antigos e ineficientes. Nota-se também que pouca ou nenhuma precaução foi tomada, quando da concepção dos projetos, em relação à utilização racional da energia elétrica.

De acordo com Estigon (2009), à nível global, as edificações utilizam mais energia do que qualquer outro setor, e como tal, são uma das principais colaboradoras para as alterações climáticas. Agir agora, no sentido de conscientizar os gestores a adquirirem projetos onde a eficiência energética seja priorizada, evitará a construção de milhões de edificações ineficientes que ainda seriam realidade em 2050. Ação esta que significa efetivamente reduzir o consumo de energia e consequentemente fazer progressos reais no controle das alterações climáticas.

1.1 Contextualização

Durante uma grande fase da história humana acreditava-se que a Terra era inexaurível e estaria apta a sempre oferecer sem qualquer custo ou consequência, toda a energia necessária ao pleno desenvolvimento das nações. Entretanto, esta visão não é nata do ser humano e sim formada através de um processo de educação, através do qual não se conseguia visualizar a não perenidade de alguns recursos e como resultado não havia preocupação com o desperdício, ao contrário, estimulava-se o consumo de energia (GEPEA, 1999).

A racionalização do consumo de energia é um dos grandes temas da época atual, pois é fundamental que haja acesso entre os homens aos recursos naturais, pelo menos em níveis semelhantes aos atuais, para que as gerações futuras possam usufruir de forma igualitária aos bens econômicos e sociais resultantes do mesmo. É neste contexto que nascem os conceitos de eficiência energética, ou de forma mais ampla, os de combate ao desperdício, seja de energia propriamente dita, seja de água, alimentos e outros.

Conservar energia é um processo que se inicia com a reeducação, com a mudança de valores e de hábitos (GELLER, 2007). Notadamente neste último ponto depara-se com uma das maiores dificuldades, pois o

que faz parte da rotina diária das pessoas, muitas vezes é feito de forma inconsciente, sem se perceber exatamente o que se está fazendo. É necessário atentar-se para esta rotina, pois as citadas mudanças são de importância vital no processo de sensibilização de todos para as questões do combate ao desperdício de energia e da conservação do meio ambiente.

Segundo Furnas (2008), se até o ano de 2015 não se mudar de postura com relação ao combate ao desperdício de energia elétrica, ter-se-á de se construir duas usinas do porte da hidrelétrica de Itaipu, a maior do mundo, só para alimentar este desperdício.

Não obstante os investimentos que o Brasil tem feito para a construção de novas usinas de energia elétrica depois o período pós-apagão de 2001, deve-se ter em mente que a conjunção da falta de investimentos no parque gerador, como o ocorrido em um passado recente, e do crescimento econômico que o país vem experimentando nos últimos anos, pode implicar novamente em falta de energia. Isto reforça a necessidade de uma nova postura na utilização da energia elétrica. Esta nova postura passa pela conscientização das pessoas para o uso racional da eletricidade e pela substituição sistemática de equipamentos ineficientes energeticamente. Se esta conscientização for entendida e absorvida, especialmente pelos gestores públicos ou privados, haverá a possibilidade, a curto prazo, de se elaborar e intensificar campanhas de conservação de energia e de substituir sistemas obsoletos por outros eficientes. Estas atitudes produzem vantagens para todos: de forma imediata na redução da conta de energia dos estabelecimentos, cujos valores podem se reverter a favor da comunidade local e de forma mais ampla para o restante da população, por gerar maior disponibilidade de energia elétrica para o crescimento do país.

A substituição de equipamentos ineficientes, além da conservação de energia, tem um aspecto social importante, pois, pode provocar também uma movimentação tanto na indústria como no comércio, gerando abertura de novos postos de trabalho.

Roizenblatt (2003) estima que haja uma geração de 40 a 60 novos empregos para cada pentajoule de energia economizada. Este autor destaca também a vantagem das indústrias em comercializarem produtos economizadores de energia, pois, o valor agregado ao mesmo pode ser cobrado dos consumidores e assim aumentar sua margem de lucro, ainda que o custo de produção possa não ter sido majorado em relação ao produto comum.

Jannuzzi (1992) também afirma que programas de eficiência energética podem ser importantes elementos de geração de novos empre-

gos. Eles criam uma demanda por serviços técnicos especializados, por exemplo, para a realização de auditorias, consultorias para elaboração de projetos, desenvolvimentos de *softwares* nacionais para auxiliar nos projetos, necessidade de contratação de técnicos para manutenção de equipamentos, entre outros. Segundo o referido autor é possível demonstrar, por exemplo, que a operação de uma fábrica de lâmpadas fluorescentes compactas é capaz de gerar o mesmo número de empregos fixos diretos por MWh/ano de energia conservada, que uma usina termelétrica de potência equivalente à conservada, com um investimento inicial 32 vezes menor.

A conservação de energia elétrica também comporta-se como uma fonte virtual de produção, ou seja, a energia não desperdiçada por um consumidor pode ser utilizada por outro. Esta é a fonte de produção de energia mais econômica e mais limpa que existe, pois não há nenhuma agressão ao meio ambiente (PROCOBRE, 2008).

De acordo com Rosa (2008), somente com medidas de eficiência energética, seria possível reduzir cerca de 20% do consumo de energia elétrica no Brasil, além de diminuir as emissões de CO₂ em 10%. Em países onde a principal fonte de energia está atrelada à utilização de combustíveis fósseis, esta redução se dá praticamente na mesma proporção, o que não acontece no Brasil, onde são utilizadas muitas fontes de energia renováveis. O PROCEL (2009a) alerta que nos países onde a principal fonte de energia elétrica é através da queima de combustíveis fósseis, para cada 1kWh de energia elétrica consumida, há a emissão de cerca de 0,5kg de CO₂ na atmosfera.

Uma outra alternativa, não menos importante, é o combate às perdas de energia no lado da oferta. Para se ter uma idéia do potencial desta opção, em 2007, a energia elétrica total produzida no Brasil foi de 483.415 TWh, entretanto o consumo foi de apenas 412.130 TWh, ou seja, cerca de 15% de perdas no sistema elétrico. Estas perdas estão distribuídas em 7% nas linhas de transmissão e 8% nas de distribuição. No mundo, em média, estas perdas são de 2% e 5%, respectivamente (BEN, 2008a; PROCEL, 2009b).

Segundo o PROCOBRE (2000), a simples troca de lâmpadas incandescentes de 60W por fluorescentes compactas de 9W, reduz a potência instalada em cerca de 50W, evitando a inundação de área equivalente a 30m². Estes 50W conservados evitam o investimento em geração hidroelétrica de US\$150 e preservam uma área onde cabem pelo menos sete árvores.

A consistência dos programas de conservação de energia elétrica apóia-se, além das questões anteriormente abordadas, no fato de que o

custo de produção de 1kWh é quase sempre maior que o custo para economizá-lo (JANNUZZI e SWISHER, 1997). Alvarez (1998) complementa informando que o custo médio da energia conservada é cerca de 0,024US\$/kWh, enquanto que custo para expansão do setor elétrico está situado entre 0,047 e 0,100US\$/kWh, ou seja, cerca de 2 a 4 vezes maior.

No Brasil, o setor público, em nível de consumo energético, tem alta dependência do setor elétrico. Para se ter uma idéia desta dependência, o primeiro diagrama da Figura 1, baseado em dados de 2007, mostra que mais de 81% do consumo energético deste setor está concentrado na eletricidade (BEN, 2008b). A desagregação por usos finais produz o perfil indicado no segundo diagrama figura, baseado em dados do ano de 2005 (ELETROBRAS, 2009).

De acordo com BEN (2009), o setor público é responsável por cerca de 8,1% de toda a energia elétrica consumida no Brasil.

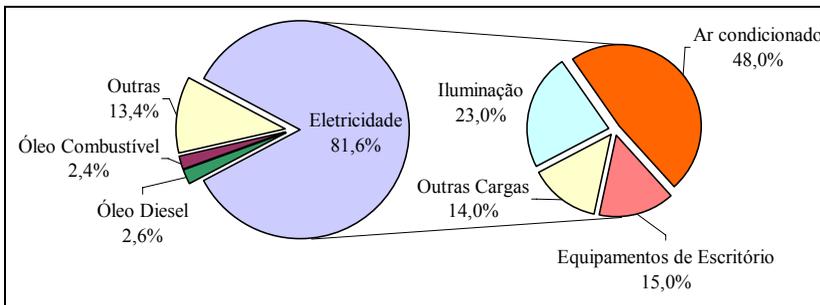


Figura 1. Consumo de energia do setor público no Brasil.

Fonte: BEN (2009).

Pode-se observar no segundo diagrama da Figura 1 que o segmento de iluminação tem uma grande representatividade em termos de consumo de energia elétrica no setor público, com 23%, sendo superado apenas pelos sistemas de condicionamento de ar.

O uso final com iluminação de hospitais públicos, assim como outros usos finais, têm valores bastante próximos aos do setor público de uma maneira geral, uma vez que os mesmos estão contidos dentro do conceito de prédios públicos. A Figura 2 mostra os usos finais desagregados de hospitais públicos como uma média que ocorre no Brasil, entretanto o autor não cita a localidade nem a quantidade de hospitais pesquisados.

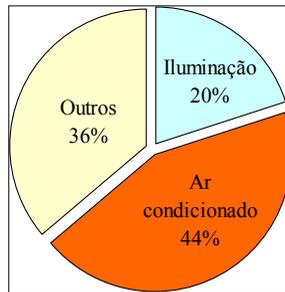


Figura 2. Usos finais de eletricidade no setor hospitalar público.

Fonte: Vargas Jr. (2006)

Dados da ELETROBRAS (2009) apontam para uma parcela de consumo de eletricidade com iluminação no Brasil de 14%, distribuídos em 6% para o setor industrial, 14% para o setor residencial, 22% para o setor de comercial, 23% para o setor público e 35% para outros setores. Entretanto, Costa (2006) e Regino (2002) apresentam a iluminação como responsável por 17% de toda a eletricidade consumida no país, enquanto Moreira (2007) afirma que este percentual é de 20%.

O setor de iluminação além de possuir os maiores potenciais de conservação de energia elétrica é também o segmento onde se pode perceber mais rapidamente os resultados da economia de energia, além de exigir os menores investimentos, resultando portanto, em retornos mais rápidos (COSTA, 2006; PROCEL, 2009c).

1.2 Justificativa

A literatura é rica em artigos que tratam do assunto de reformas em sistema de iluminação, porém a maioria limita-se ao estudo em ambientes escolares, talvez pela facilidade da disponibilidade das instalações para a realização de experiências e medições, ou pela facilidade espacial, uma vez que normalmente são utilizadas as próprias edificações onde os pesquisadores trabalham.

Dados animadores neste sentido podem ser observados em alguns trabalhos realizados, como por Ghisi (1997) que constatou a possibilidade de redução de 67% no consumo com iluminação da Universidade Federal de Santa Catarina, caso a reforma proposta fosse implantada. Esta redução permitiria uma economia mínima de 42% na conta de energia elétrica.

Poole e Geller (1997) apresentam o resultado obtido em um pré-

dio bancário em São Paulo, onde a reforma na iluminação resultou em uma economia de 78% na conta de energia elétrica.

No estudo realizado por Álvares (1998) na USP foi constatado um potencial de redução de 38% do consumo com iluminação naquela universidade.

Na pesquisa realizada por Regino (2002) na PUC-MG constatou-se o potencial de economia de até 42% da energia gasta na iluminação de salas de aula. Um dado importante deste estudo refere-se ao fato de terem sido encontrados nos ambientes, níveis de iluminação bastante inferiores aos previstos em norma. Desta forma, as medidas de eficiência energética propostas aumentariam a iluminância até os valores normalizados e ainda assim proporcionariam economia de energia.

Kruger et al. (2002) constataram a possibilidade de economia de 50% de energia na iluminação de salas de aula do CEFET-PR, através da substituição do sistema de iluminação existente por um sistema eficiente.

Ambientes hospitalares raramente são estudados sob o prisma da verificação do conforto luminoso dos usuários (pacientes, enfermeiras, médicos e demais ocupantes), do consumo de energia elétrica nos sistemas de iluminação e da possibilidade de conservação de energia nestes sistemas. Esta é uma possibilidade concreta e que se implementada sob a luz de estudos técnicos, como o que pretende este trabalho, poderá desonerar o orçamento da entidade, cuja economia poderá se reverter na melhoria da qualidade dos serviços oferecidos à população.

Segundo a Federação Brasileira de Hospitais - FBH (2008), a rede hospitalar pública na maioria dos casos opera de forma precária, faltando insumos básicos como, por exemplo, remédios. De acordo com o PROCEL (2006), este cenário ainda é mais agravado para os hospitais públicos pequenos, geralmente instalados em locais mais afastados e de baixa renda.

Ainda de acordo com a FBH (2008), em 2001, o endividamento dos hospitais brasileiros (abrangendo os públicos, privados, filantrópicos, universitários e santas casas) era cerca de 250 milhões de reais. Isto reforça a importância de implantação de uma política de conservação de energia neste tipo de estabelecimento, pois com esta medida seria possível a redução do consumo, com a consequente redução dos gastos com energia elétrica. Como resultado, haverá a diminuição da dívida, disponibilidade de mais recursos para compra de remédios e realização de forma mais eficaz da atividade fim deste tipo de estabelecimento.

A ELETROBRAS inaugurou em 2006 os novos sistemas de iluminação e climatização eficientes do Hospital Universitário de Mato

Grosso do Sul. Para a implementação dos novos sistemas foram substituídas lâmpadas, luminárias, reatores e aparelhos de ar condicionado ineficientes por equipamentos modernos e eficientes. Os servidores e funcionários do hospital, pacientes e seus acompanhantes receberam orientações sobre os conceitos de eficiência energética. As mudanças possibilitaram uma economia de 35% no sistema de iluminação e 38% no sistema de climatização, o que representa uma redução de 483,2 MWh/ano no consumo de energia. Isso equivale a uma diminuição dos gastos de até R\$ 240 mil por ano na conta de energia elétrica (ELE-TROBRAS, 2008a).

Como já mencionado anteriormente, a maioria dos trabalhos desenvolvidos no campo da eficiência energética em sistemas de iluminação retrata ambientes escolares. Espera-se que ambientes hospitalares, a exemplo do hospital de Mato Grosso do Sul, produzam dados também tão animadores quanto os supra citados, de forma que os mesmos possam justificar e convencer os gestores públicos a se empenharem na adoção de reformas destes sistemas.

Nesta linha, este trabalho busca também trazer contribuições para uma gestão de energia elétrica hospitalar mais eficiente, produzindo indicadores que possam auxiliar os gestores quanto à tomada de decisões a respeito de implantação de sistemas de iluminação energeticamente eficientes.

Embora todo o estudo seja voltado às instalações já existentes, os resultados obtidos poderão auxiliar os projetistas à tomadas de decisões desde a concepção, ainda na fase de projeto, até a efetiva implantação de sistemas de iluminação eficientes para edificações hospitalares novas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um método para a análise técnica e econômica da possibilidade de implantação de *retrofit* em sistemas de iluminação de hospitais públicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Outros objetivos secundários deverão ser alcançados tais como:

- Aplicar a metodologia proposta no Hospital Público Regional Professor Osvaldo Resende Franco, objeto do estudo de caso, mais conhecido como hospital regional de Betim-MG, de forma

a validá-la;

- Estimar o consumo por usos finais da eletricidade do referido hospital para os principais sistemas, como ar condicionado, caldeira, utilidades (ar comprimido, vácuo e oxigênio), exames clínicos, transporte vertical, lavanderia, iluminação e outros;
- Avaliar a possibilidade de aproveitamento de iluminação natural nos diversos ambientes do citado hospital.

1.4 Descrição do Objeto de Estudo de Caso

A metodologia proposta neste trabalho será aplicada no Hospital Público Regional de Betim (HPRB). Inaugurado em 1994, está situado à avenida Edméia Mattos Lazarotti, número 3.800, no bairro Jardim Brasília, na cidade de Betim, Minas Gerais, geograficamente posicionada a 19° 57' S e 44° 11' O. O bairro é localizado em uma região próxima do centro da cidade, de construções predominantemente residenciais unifamiliares e com poucos prédios.

Além do público local, o hospital, sendo referência para toda a região, atende oficialmente dezessete cidades vizinhas, além de dez outras que também utilizam os serviços do estabelecimento. O número total de funcionários, incluindo-se médicos, enfermeiros e pessoal de apoio é de cerca de 1.250 pessoas, distribuídas em 24 horas diárias de funcionamento.

1.4.1 A Edificação

O Hospital possui uma área construída de 18.907m². A linha vermelha da Figura 3 delimita a área total do hospital.



Figura 3. Vista aérea do hospital público regional de Betim.

Fonte: Google Maps (2009)

A área do pavimento térreo é de 11.508m^2 . Os demais pavimentos, no total de cinco, mais a cobertura, totalizam 5.446m^2 . Construções auxiliares montam 1.953m^2 de área construída, além do estacionamento cuja área é de 8.700m^2 .

A Figura 4(a) permite observar o acesso principal ao hospital que está voltado para a orientação oeste, enquanto que a Figura 4(b) permite obter uma vista mais ampla da edificação, com a fachada onde predomina a pintura na cor alaranjada voltada para a orientação norte.



(a) Oeste.



(b) Norte.

Figura 4. Hospital Público Regional de Betim. Vista das fachadas.

Do pavimento térreo emerge a edificação vertical com cinco pavimentos, além da cobertura, conforme pode ser observado no desenho esquemático da Figura 5.

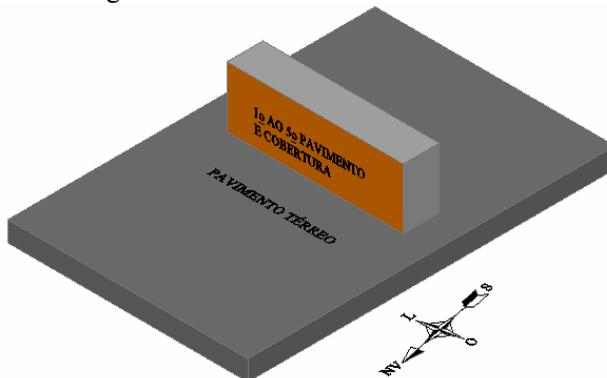


Figura 5. Desenho esquemático do pavimento térreo, dos pavimentos 1 ao 5 e cobertura.

1.4.2 O Sistema Energético

A energia elétrica é suprida pela concessionária local, CEMIG, que a entrega em média tensão (13.800V) a qual é faturada sob a tarifa-

ção horosazonal azul, subgrupo A4. O hospital é equipado com três subestações internas.

Na falta da energia da concessionária, automaticamente entra em operação um sistema de geração de emergência com potência de 320kVA, trifásico, saída 220/127V, movido por motor diesel. O sistema de emergência é composto por um painel de transferência, que alimenta com a energia do gerador, um barramento do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) existente na subestação principal, não permitindo que falte energia em áreas prioritárias do hospital.

1.4.3 O Sistema de Iluminação Artificial

O sistema de iluminação artificial utiliza predominantemente lâmpadas fluorescentes, bulbo T12. Em alguns ambientes, como nas enfermarias, banheiros, salas de exames clínicos, casa das caldeiras, interior da subestação principal, entre outros, utiliza-se também lâmpadas incandescentes, como pode ser observado nas fotos da Figura 6(a) e Figura 6(b). A iluminação externa é realizada através de lâmpadas a vapor de mercúrio.

Pode-se constatar que todas as luminárias fluorescentes são ineficientes energeticamente, pois, além da utilização sistemática de lâmpadas bulbo T12 e reatores eletromagnéticos, não possuem elementos para potencializar a reflexão da luz, como pode ser observado na Figura 6(c) e Figura 6(d). Em alguns ambientes, como nas salas de observação, as luminárias possuem um difusor de acrílico, que devido à má conservação, piora ainda mais os níveis de iluminação.



(a) Luminária incandescente nas salas de exames clínicos



(b) Luminária incandescente sobre os leitos

Figura 6. Sistemas de iluminação existentes no hospital regional de Betim.



(c) Luminária fluorescente com uma lâmpada



(d) Luminária fluorescente com duas lâmpadas

Figura 6. Sistemas de iluminação existentes no hospital regional de Betim (cont.).

1.4.4 Os Demais Sistemas de Apoio

O condicionamento ambiental é feito através do resfriamento do ar interno, por uma central composta por três *chillers* com capacidade individual de 50TR, que distribui água gelada para os *fan-coils* em alguns ambientes. A potência total instalada da central de ar condicionado é de aproximadamente 300kW. Nota-se também a presença de alguns poucos aparelhos de ar condicionado de janela.

O sistema de transporte vertical conta com a operação de quatro elevadores de potência 15cv. Todos aptos para o transporte de pessoas e/ou macas.

A lavanderia é composta por duas lavadoras de roupa de potência 7,5cv e uma de 10cv, uma secadora de 10cv, uma de 5cv e uma de 3cv e 2 passadoras de 1,5cv. Estas potências são dos acionamentos das máquinas, uma vez que todo o aquecimento de água para lavagem e passagem de roupas é suprido por vapor oriundo da caldeira. A média mensal de lavagem de roupa é de 190kg por leito.

Para a geração de água quente e vapor é utilizada uma caldeira por queima de óleo diesel e óleo BPF e um conjunto de *boilers* elétricos. A caldeira funciona todos os dias durante 12 horas consecutivas e atende a lavanderia, a esterilização de suprimentos cirúrgicos, o serviço de nutrição e dietética (SND) para cocção de alimentos, lavagem e desinfecção de panelas e o aquecimento dos *boilers* a vapor do SND e vestiários. Existem duas caldeiras disponíveis, sendo uma reserva da outra.

Existem instalados na cobertura quatro reservatórios de água quente (*boilers*), com capacidade de 1000 litros cada, acionados por bancos trifásicos de resistores elétricos. Estes reservatórios visam produzir água aquecida para banho dos funcionários e pacientes. Cada banco de resistores é controlado por termostatos e/ou por *timers*. Este últi-

mo tem a função de não permitir o funcionamento dos mesmos no horário de ponta¹.

1.4.5 As Cores dos Ambientes Internos

As cores adotadas pelo Hospital Regional de Betim nos ambientes internos são bastante variáveis, entretanto, nota-se como ponto comum entre todas elas, um tom suave. O piso adotado em todos os ambientes do hospital, sem exceção, é do mesmo material e cor, o qual pode ser visto através da Figura 7 (a).

As paredes de todos os corredores possuem três cores: na parte inferior, entre o piso e 0,90m deste, predominam cores variadas, como verde, amarelo, azul; na parte intermediária das paredes a cor predominante é a branca ou um tom mais claro da cor usada na parte inferior; na parte superior a cor predominante é cinza claro. A Figura 7 (b) mostra a foto de um corredor típico.



(a) Pisos



(b) Corredores

Figura 7. Cores típicas adotadas no hospital regional de Betim

Os tetos de todas as enfermarias são pintados com tinta de cor branca, enquanto que as paredes são verde-claras.

A maioria dos ambientes administrativos são desprovidos de tetos específicos, uma vez que nestes ambientes predomina o sistema de meia parede. Desta forma, o teto considerado é o mesmo teto que cobre todo o pavimento térreo e que tem a cor natural de concreto. A cor das paredes é variável, entretanto, predomina-se as cores brancas e amarelo-claras.

¹ O horário de ponta: Intervalo de três horas consecutivas, escolhidas de comum acordo entre a concessionária e o cliente, entre 17 e 21 horas, durante todos os dias do ano, exceto, sábados, domingos e feriados nacionais, conforme Resolução ANEEL 090/2001. Para o hospital Regional de Betim o horário de ponta está compreendido entre 18 e 21 horas.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, assim distribuídos:

- Capítulo 1: Introdução

Inicia-se evidenciando a relevância dos conceitos de eficiência energética nos dias atuais e da consistência dos programas desta área no âmbito da conservação de energia elétrica. São informados dados sobre o perfil de consumo de energia elétrica no setor público brasileiro e mais especificamente sobre hospitais. São discutidas algumas razões que justificam a elaboração deste trabalho e são apresentados os objetivos que se espera atingir. Finalmente apresentam-se as principais características da edificação tomada como estudo de caso.

- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é iniciada a revisão bibliográfica onde são introduzidos alguns conceitos sobre reformulação de sistemas de iluminação e resultados de alguns trabalhos similares já realizados. São apresentadas as classificações e dados energéticos de hospitais no Brasil e em alguns países do mundo. Aborda-se também a importância da iluminação natural para recuperação de pacientes, além de algumas propostas para limitação da densidade de potência instalada com iluminação. Apresenta-se uma revisão sobre o consumo de energia elétrica de diversos tipos de edificações com base em seus usos finais e sobre a potência instalada com base na área construída e/ou número de leitos, no caso de estabelecimentos de saúde.

- Capítulo 3: Materiais e Métodos

Este capítulo apresenta tanto os recursos materiais como a metodologia proposta que serão utilizados para a realização do estudo de *retrofit* de sistemas de iluminação hospitalares. Inicia-se apresentando os procedimentos para coleta de dados de campo, métodos para tratamento destes dados, métodos para a escolha dos equipamentos de iluminação eficientes, métodos para a elaboração do novo projeto luminotécnico e finaliza apresentando a metodologia para análise de viabilidade econômica da implantação do *retrofit*.

- Capítulo 4: Resultados e Discussões

Com base na aplicação da metodologia proposta, o capítulo 4 apresenta os resultados alcançados no Hospital Público Regional de Betim, estudo de caso desta dissertação, e estabelece discussões sobre os mesmos. Pode-se encontrar, por exemplo, a definição do porte do HPRB, o

comportamento do consumo de energia elétrica frente às variações sazonais de temperatura ambiente, bem como suas correlações matemáticas. Encontra-se também a desagregação do consumo do estabelecimento por seus usos finais e o cálculo dos valores de iluminâncias para os ambientes, assim como a arte gráfica de saída do *software* utilizado para os cálculos. O capítulo é finalizado com a determinação de alguns indicadores financeiros e com a análise da possibilidade de aproveitamento de iluminação natural.

- Capítulo 5: Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais, as limitações deste trabalho e algumas recomendações para futuros trabalhos.

Por fim, encontram-se a relação das referências bibliográficas em que o trabalho se baseou e os apêndices, os quais apresentam alguns formulários utilizados para o levantamento de dados, desenhos e tabelas que auxiliam a compreensão das informações relatadas ao longo da dissertação.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão geral da literatura sobre os benefícios da conservação de energia elétrica, em especial nos sistemas de iluminação. Mostra o cenário do consumo energético em estabelecimentos de saúde no Brasil e em alguns países do mundo. Aborda também os equipamentos recomendados e os critérios adotados para as boas práticas de iluminação nos ambientes hospitalares. Disserta sobre alguns trabalhos acadêmicos realizados sobre reformas nos sistemas de iluminação, bem como sobre os potenciais de conservação de energia nos mesmos.

O conteúdo servirá de base teórica para fundamentar o desenvolvimento da metodologia, objetivo principal deste trabalho.

2.1 Considerações Iniciais

Por simples observação do comportamento da maioria das pessoas no cotidiano, constata-se uma atitude de irresponsabilidade no uso da eletricidade, notadamente nos estabelecimentos públicos, onde normalmente, não existem gestores devidamente preparados para o gerenciamento energético.

Embora todos os contribuintes rateiem entre si os custos, aparentemente tem-se a ilusão de que, como é o governo quem paga a conta, poupar ou não energia não traz benefícios próprios para o usuário. Neste contexto acontece o relaxamento e conseqüentemente medidas simples, como desligar uma lâmpada, não são executadas. Este raciocínio simplório traz sérios problemas energéticos e econômicos ao país, visto que o custo para o suprimento de energia elétrica de um edifício é superior ao seu próprio custo de construção.

Segundo Moreira (2007), o custo médio do metro quadrado de construção de edifícios no Brasil é cerca de US\$250, enquanto que para suprir este mesmo edifício com energia elétrica, o setor energético, ou seja, a sociedade deve investir cerca de US\$400 por m². O custo poderia ser reduzido caso alguns cuidados fossem tomados, tanto a nível de concepção de projeto das edificações, como a nível de uso no cotidiano. Sistemas de iluminação ligados, mesmo em locais onde é abundante a luz natural, sistemas de ar condicionado mal dimensionados e ligados desnecessariamente e obsolescência de equipamentos, são alguns exemplos do desperdício de eletricidade, que resultam por sobrecarregar o setor elétrico, tornando a disponibilidade de energia mais cara.

O setor elétrico brasileiro passou pela criação de um modelo

chamado ‘modelo competitivo’, tendo como órgão regulador a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual instituiu o Mercado Atacadista de Energia (MAE), atualmente substituído pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), e o Operador Nacional do Sistema (ONS). O objetivo primordial deste modelo é atrair capitais de empresas privadas para o setor, como uma alternativa para atender o contínuo aumento na demanda por energia elétrica, que no Brasil, tem crescido a taxas médias em torno de 4,5% ao ano, após o período do apagão de 2001 (BEN, 2008b).

O PROCEL tem implementado diversas ações visando o combate ao desperdício, tanto no lado da oferta quanto no lado da demanda. Segundo as metas de longo prazo do programa, incluídas no Plano 2015 da ELETROBRAS, a redução do consumo deverá ser da ordem de 130TWh no ano de 2015, o que equivale a evitar a expansão do sistema elétrico em 25.000MW, com ganho líquido para o Brasil de R\$34 bilhões (ELETROBRAS, 2008b). Paralelamente, medidas de conscientização da comunidade acadêmica, que consiste basicamente na disseminação do conhecimento e educação formal nas unidades de ensino sobre o tema conservação de energia, devem ser implantadas. Isto é importante porque vem de encontro à velha cultura do desperdício, ou seja, crie-se uma cultura de uso racional de energia. Logo, além da substituição de equipamentos obsoletos por eficientes energeticamente, há uma justa preocupação em educar a população, começando pelas comunidades acadêmicas, no intuito de difundir o conhecimento dos conceitos básicos de eficiência energética.

A preocupação com a educação também é abordada por CADDET (1996), o qual afirma que para o sucesso da implantação de programas de eficiência energética, como em hospitais, é necessário que a direção do estabelecimento eduque e estimule todas as equipes, de forma que todos possam entender e conhecer os novos produtos e tecnologias energeticamente eficientes. As atividades de educação nestes ambientes visam informar a comunidade hospitalar sobre a importância da conservação de energia e discussão sobre os benefícios ambientais, elaborar planos de incentivos, mostrar que a energia é usada direta ou indiretamente por todos os ocupantes do hospital, incentivar a todos para desligar os equipamentos não utilizados e enfatizar a relação entre a energia usada no trabalho com aquela usada em casa.

Portanto, a educação e conseqüente conscientização dos usuários são ferramentas importantes para a eficiência no uso da eletricidade, entretanto, os resultados podem levar um certo tempo para aparecer. Resultados mais rápidos podem ser percebidos com a implantação de

reformas nos sistemas, especialmente nos de iluminação, onde, além da economia de energia propriamente dita, poderão gerar uma majoração do bem-estar nos usuários através do aumento do conforto luminoso.

2.2 Iluminação Elétrica

A partir da descoberta da primeira fonte de iluminação artificial, o fogo, o homem viu-se com seu horizonte ampliado, possibilitando-o realizar tarefas noturnas. Estas tarefas foram intensificadas após a descoberta da lâmpada elétrica e mais ainda após a revolução industrial.

A revolução industrial iniciada na Inglaterra no século XVIII oficializa as profissões e cria os ambientes fabris sistematizados. A substituição da fadiga dos músculos pela máquina, acarreta, como consequência, a fadiga da visão, obrigando o homem a iniciar cientificamente o estudo da iluminação. Se no início dos tempos a civilização preocupava-se com o fogo e como controlá-lo, hoje preocupa-se com a obtenção de mais luz com o menor consumo de energia. Desta forma, a iluminação artificial passa a ter um crescimento contínuo tanto a nível de desenvolvimento de produtos, como a nível de estudos técnicos, uma vez que o homem é um ser essencialmente visual.

Ramirez (2006) afirma que a visão humana é responsável por cerca de 80% das informações recebidas pelo cérebro referente ao mundo exterior e que cerca de 25% de toda energia gasta por um ser humano em condições normais é para o processo visual, ou seja, para movimentação dos músculos do globo ocular. Portanto, um sistema de iluminação adequado à tarefa visual não é apenas uma questão de estética, mas uma necessidade.

A engenharia de iluminação acrescenta fatores que não são comuns no ramo da engenharia convencional, como a subjetividade em decoração e a sua influência psicológica no convívio diário dos indivíduos. Em um sistema de iluminação convivem dois ramos da ciência que se completam: o primeiro está ligado com a produção de luz e o segundo com a sua utilização.

Com relação à produção de luz pode-se afirmar que a mesma passa por quatro fases técnicas. Na primeira, a preocupação do homem era de manter a chama acesa constantemente, tarefa que se iniciou na Idade da Pedra, culminando com o desenvolvimento da vela e da lâmpada à óleo, já no Império Romano. A segunda, deveu-se a Amié Argand (1750-1803), químico suíço, que em sua busca por sistemas energeticamente mais eficientes e mais econômicos, desenvolveu o lampião a gás com camisa, em 1784. A terceira fase começou quando Thomas Edison

(1847-1931), em 1879, obteve sucesso na produção de uma lâmpada incandescente usando filamento de carbono e a quarta fase são os dias atuais, onde sistemas de iluminação aliam sistemas óticos com altos rendimentos e boa reprodução de cores.

Portanto, o primeiro ramo da ciência para o projetista é o mais simples e está diretamente ligado aos equipamentos de iluminação produzidos pelos diversos fabricantes; o segundo, bem mais complexo, envolve o homem e sua percepção visual do ambiente que o cerca.

2.3 Eficiência Energética em Iluminação

O sistema iluminação mais frequentemente encontrado nas áreas internas dos prédios públicos brasileiros utiliza lâmpadas fluorescentes tubulares, com 88% das aplicações, segundo a ELETROBRAS (2009), e é também o sistema de iluminação artificial que mais tem tido evoluções tecnológicas nos últimos anos.

Embora estejam disponíveis atualmente no mercado nacional muitos equipamentos eficientes de iluminação fluorescente, a maior frequência encontrada nas instituições públicas é de ineficientes. A ineficiência dos equipamentos ou dos sistemas de iluminação, em geral, deve-se à presença frequente de lâmpadas fluorescentes de bulbo T12 com potência de 40W, reatores eletromagnéticos e luminárias ineficientes (LAMBERTS e WESTPHAL, 2000).

No caso das enfermarias hospitalares é bastante comum a prática da instalação de lâmpadas incandescentes nas paredes, próximas aos leitos, cuja eficiência luminosa é a mais deficitária entre todos os tipos de lâmpadas elétricas, elevando a densidade de potência instalada e consequentemente o consumo do estabelecimento. Embora seja o tipo de lâmpada mais vendida no mundo, com 79% do total, este montante produz apenas 8% de iluminação efetiva e consome 31% da energia gasta com iluminação (IEA, 2006a).

Com a simples substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos por eletrônicos, lâmpadas vapor de mercúrio por vapor de sódio, seria possível reduzir o consumo com iluminação no mundo em 40% (IEA, 2006a).

No Brasil, o estímulo governamental para redução de consumo com iluminação foi estabelecido pelo governo federal através da portaria INMETRO/MDIC nº 163 de 8 de junho de 2009. A portaria introduz o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2009), o qual determina, em caráter voluntário, a observância de índices

de eficiência energética dos sistemas de iluminação para edificações novas e existentes, passando a ter caráter obrigatório para edificações novas em prazo a definir.

A citada Portaria traz condições para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, em função da envoltória, da iluminação e do sistema de condicionamento de ar. No caso da iluminação, o edifício pode obter classificação de A (mais eficiente, equivalente a 5 pontos) até D (menos eficiente, equivalente a 2 pontos). A pontuação obtida pelo sistema de iluminação atribui-se um peso de 30% para composição do índice geral de eficiência energética do edifício.

A Tabela 1 informa os valores aceitáveis de densidade de potência para cada 100lux de iluminância. Para a edificação obter níveis de eficiência entre A e D, além de atendimento de algumas outras condições informadas na portaria, os sistemas de iluminação precisam atender aos valores indicados na citada tabela.

Tabela 1. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido.

Índice de ambiente	Densidade de potência em iluminação relativa [W/m ² /100lux]			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
0,80	2,50	3,86	4,32	5,57
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
1,25	2,12	3,00	3,34	4,31
1,50	1,95	2,75	3,00	3,90
2,00	1,88	2,53	2,77	3,57
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
3,00	1,76	2,27	2,46	3,17
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

Fonte: Brasil (2009)

Os códigos de obras de alguns países determinam parâmetros a serem atingidos. Por exemplo, o código de obras para edificações comerciais do estado de Massachussets nos Estados Unidos, válido desde 2001, determina um limite máximo de 17 W/m² de densidade de potência em iluminação para um estabelecimento hospitalar como um todo.

Para os espaços individualizados as exigências devem obedecer aos valores da Tabela 2.

Tabela 2. Valores limites de densidade de potência instalada em iluminação para hospitais em Massachussets - EUA.

Tipo de ambiente hospitalar	Densidade de potência [W/m²]
Sala de cirurgia	82
Emergência	34
Suprimentos médicos	32
Estoques ativos	31
Sala de recuperação	28
Farmácia	25
Fisioterapia	20
Postos de enfermagem	19
Corredores	17
Salas de espera	17
Sala de exame	17
Sala de tratamento	17
Quartos individuais para pacientes	13
Enfermarias	11
Lavanderia	8
Radiologia	4

Fonte: USA (2001)

A minimização da densidade de potência instalada é conseguida utilizando-se, além de componentes energeticamente eficientes, como lâmpadas de alta eficiência luminosa, luminárias refletivas e reatores eletrônicos, mantendo-se uma frequência adequada de manutenção do sistema. A escolha adequada das cores da pintura dos ambientes e a elaboração de um projeto luminotécnico criterioso, incluindo-se neste, o estudo da possibilidade de redução do tempo de utilização da iluminação, também contribuem para a diminuição da potência instalada. O aproveitamento da luz natural também pode contribuir para a diminuição da potência instalada em iluminação artificial.

A redução da potência instalada não deve comprometer de forma alguma a satisfação e conforto dos usuários nos ambientes, embora, segundo Veith e Hine (1993) é difícil propor um cenário luminoso que satisfaça a mais de 50% dos ocupantes. Laurentin et al. (1998) reforçam

este contexto, informando que as pessoas se dividem em dois grandes grupos quanto à iluminação: as fotofóbicas, que preferem ambientes mais escuros e as fotófilas, que preferem ambientes mais claros.

Em termos de eficiência energética, a nível global, os maiores valores médios dos sistemas de iluminação encontram-se no Japão e Coreia com cerca de 65 lumens/Watt, 54 lm/W na Europa, 50 lm/W nos Estados Unidos e 43 lm/W para os demais países do mundo (IEA, 2006b).

2.3.1 Conservação de Energia em Lâmpadas Fluorescentes

As vendas de lâmpadas fluorescentes, a nível mundial, correspondem a uma parcela de 20% em relação ao volume total de lâmpadas vendidas e consomem cerca de 45% da eletricidade despendida pelo segmento de iluminação (IEA, 2006a).

Embora com rendimento bastante superior às incandescentes, as lâmpadas fluorescentes, em média, convertem em luz apenas cerca de 23% da energia necessária para alimentar uma luminária, o restante é convertido em calor sob a forma de irradiação infravermelha (32%), convecção e condução (36%) e perdas no reator (9%) (MOREIRA, 2007).

Uma forma de melhorar a conservação de energia das lâmpadas fluorescentes é a redução do seu diâmetro, não que a redução em si traga maiores ganhos, mas sim a maior eficiência dos póls de cobertura utilizados nestes tipos de lâmpadas de diâmetro reduzido, além de serem um obstáculo menor à saída de luz das luminárias. Cerca de metade das lâmpadas bulbo T8 são fluorescentes tri-fósforo, enquanto que 100% das lâmpadas T5 o são. A geração mais antiga de lâmpadas fluorescentes T10 e T12, na sua maioria, utiliza póls comuns (ROIZENBLATT, 2003).

Os póls fluorescentes tri-fósforo ou fosfatos ativados por terra raras, dentre outros benefícios, provocam uma menor depreciação do fluxo luminoso, permitem uma melhor reprodução de cores e aumentam a eficiência das lâmpadas fluorescentes em até 20%. Estes benefícios tem resultado em uma gradativa substituição das lâmpadas com póls comuns ou halosfatos pelas lâmpadas à base de póls-trifósforo (ROIZENBLATT, 2003).

Coincidindo com o centenário do feito histórico de Thomas Alva Edson, surgiu no mercado mundial um novo conceito de iluminação elétrica a partir do efeito de fluorescência, as lâmpadas fluorescentes compactas de baixa pressão. Fruto da utilização de novos póls fluo-

centes que admitem trabalho com temperaturas mais altas que os pós comuns, com alta eficiência e reproduzindo com bastante fidelidade as cores naturais.

Uma redução de 70 a 80% no consumo em relação às tradicionais incandescentes e um desenho da mesma ordem, apontava que as lâmpadas fluorescentes compactas teriam larga aplicação no mercado. Ao contrário do pensamento inicial, devido ao seu alto custo de aquisição comparado às incandescentes, as lâmpadas fluorescentes compactas tiveram aceitação inicial apenas em instalações de alto poder aquisitivo, onde o retorno do capital era irrelevante (ROIZENBLATT, 2003).

A partir da crise energética atravessada pelo Brasil em 2001, o custo das lâmpadas fluorescentes compactas teve uma forte redução e que aliado aos constantes aumentos no custo da energia elétrica, impulsionaram a sua popularização.

2.3.2 Conservação de Energia em Reatores

A maioria dos reatores convencionais disponíveis hoje no mercado tem menos da metade, quando não, um terço das perdas que tinham a vinte ou trinta anos atrás. Este feito foi conseguido através de uma menor utilização de matérias primas e maior uso de componentes ativos, que possuem perdas significativamente menores que os passivos.

Os reatores mais utilizados no Brasil são os eletromagnéticos duplos de 40W, os quais possuem uma perda média de 22W (20 a 24W), contra apenas uma média de 7W (5 a 9W) dos eletrônicos (ROIZENBLATT, 2003).

O rendimento de um reator convencional é da ordem de 70 a 80%, enquanto que no eletrônico este valor situa-se na faixa de 85 a 99%. O rendimento máximo de um reator eletrônico é atingido quando o mesmo opera à frequência próxima de 30kHz (MOREIRA, 2007). Segundo CADDET (1995), os reatores eletrônicos são fabricados para operar em uma faixa de frequência entre 20 e 60kHz.

2.3.3 Conservação de Energia em Luminárias

As luminárias que são normalmente utilizadas nas instalações pelo mundo, absorvem cerca de 50% do fluxo luminoso produzido pelas lâmpadas, enquanto que as luminárias eficientes atualmente fabricadas reduzem este percentual para menos de 10% (IEA, 2006a).

Tem havido gradativo aperfeiçoamento do projeto ao longo dos anos, tendo como base as propostas inovadoras desenvolvidas em diver-

sas partes do mundo, em especial a Europa, onde as indústrias brasileiras tem tido como hábito o envio de profissionais para visitação de feiras, como a de Hannover na Alemanha.

Segundo Martini (2008), a combinação das lâmpadas fluorescentes, luminárias e reatores utilizados na década de 70 geravam uma densidade de potência média instalada da ordem de 25W/m². Hoje, estes valores não passam de 11W/m², nas áreas de escritórios, chegando a 3W/m² nos demais recintos de um edifício, utilizando-se equipamentos eficientes.

No Brasil, Moreira (2007) foi o pioneiro a desenvolver sistemas  ticos para luminárias de maior eficiência, cujos testes foram realizados pelo IEE na USP em 1985. Nestes testes foram utilizados vários tipos de materiais refletores para as luminárias, juntamente com reatores eletrônicos e lâmpadas com p s tri-fósforo. Por meio de um *retrofit* realizado, o edifício da CESP em São Paulo foi uma das primeiras instalações de porte no Brasil a dispor de um sistema de iluminação eficiente, utilizando as recém-desenvolvidas luminárias.

Segundo a *lighting designer* Neide Senzi (SENZI, 2006) em um artigo para a revista *Lumi re*, inexistente no Brasil uma linha de desenvolvimento de luminárias específicas para o segmento hospitalar. Os estabelecimentos acabam utilizando, então, peç s que foram projetadas sem qualquer critério técnico e de controle asséptico, sendo bastante comum o uso de luminárias com fechamento de acrílico leitoso, sem considerar e avaliar sua real eficiência, rendimento e eficácia na retenção de bactérias, resíduos e poeira.

2.3.4 Aproveitamento de Luz Natural

O PROCEL (2008a), com base em um estudo divulgado pela USP, afirma que a luz natural é pouco explorada no Brasil. Esta afirmação pôde ser feita ao se comparar o consumo de energia elétrica em iluminação de um prédio típico da cidade de São Paulo, que situa-se entre 30 e 40%, com o consumo de prédios das principais capitais europeias, onde o valor não passa de 14%. Alerta-se, entretanto, que o referido estudo não traz considerações sobre a influência do gasto de energia elétrica com calefação nos países europeus e nem sobre o consumo com condicionamento ambiental na cidade de São Paulo. O mesmo estudo aponta que o céu nublado de São Paulo fornece um nível médio de ilumina ncia de 14.000 lux, enquanto que no céu de Londres este valor não ultrapassa 7.000 lux. Ressalta ainda a importância do contato com a luz natural na prevenção de diversas doenç s, como o estresse e depressão.

A iluminação natural é especialmente importante em ambientes hospitalares, pois, além dos benefícios na economia de energia, segundo Corbella e Yannas (2003), ela traz benefícios para a saúde, porque dá a sensação psicológica do tempo, tanto cronológico, quanto climático, no qual se vive (ciclo circadiano). Além disto Costi (2001) afirma que a radiação solar higieniza os ambientes e anima os pacientes.

A utilização da luz natural nos ambientes hospitalares, de acordo Vasconcelos (2004), reduz ainda mais os custos operacionais, devido à diminuição do tempo de permanência do paciente, pela aceleração da recuperação e pela necessidade de menores doses de medicamentos. Quanto menor o tempo de internação, principalmente nas UTI, maior a economia do estabelecimento. Outro fator importante é que o desgaste da equipe médica e de enfermagem, também se reduz, aumentando a produtividade do trabalho.

Uma pesquisa realizada com 89 pacientes recém-passados por cirurgia de coluna em um hospital de Pitsburgo, Estados Unidos, apresentou como resultado uma redução de 22% no consumo de analgésicos dos pacientes que foram expostos a 46% mais de intensidade de luz natural, o que gerou uma economia de 20% no custo de medicação (WALSH et al., 2005).

Porém, considerando-se a grande variação da luz natural ao longo do dia, espaços onde a uniformidade da iluminação seja fundamental, como salas de cirurgia, laboratórios e radiologia, não devem utilizar a luz natural como a principal fonte de luz (IESNA, 1995). Exceção pode ser feita desde que o sistema de integração entre as duas fontes (natural e artificial) tenha dispositivo de controle automático e com resposta rápida às mudanças do nível de iluminação natural.

Em relação à quantidade de iluminação natural, as normas inglesas BSI 73/82 (BSI, 1982) e a BSI 8206/92 (BSI, 1992), recomendam porcentagens de CLD² para diversas atividades. Para enfermarias hospitalares a recomendação é de 1%.

A análise dos valores de iluminâncias provocadas pela iluminação natural com base nas faixas supra citadas, poderá determinar a necessidade ou não de complementação dos níveis de iluminação com luz artificial.

No passado desenvolveu-se um pensamento equivocado que limitava a utilização da luz natural, inferindo-se que a carga térmica que

² Coeficiente de luz diurna (CLD) é a razão entre a quantidade de iluminação natural recebida por um ponto em um plano horizontal de um ambiente interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste e a iluminação em um plano horizontal externo produzida pela abóbada completamente desobstruída em um dia de céu encoberto.

acompanha a radiação luminosa natural gera um aquecimento excessivo do ambiente, uma vez que, segundo Moore (1991) *apud* Cabús (1997), toda a energia que acompanha cada fonte luminosa é virtualmente convertida em calor dentro da edificação. Todavia, observando a Tabela 3 e a Tabela 4, conclui-se que a eficiência da luz natural, ou seja, a quantidade de Watt necessário para produzir um lúmen é significativamente menor que a iluminação artificial.

Tabela 3. Eficiência luminosa da iluminação artificial.

Lâmpadas	Eficiência luminosa [lm/W]
Fluorescente de 28W	86 a 104
Fluorescente de 30W	63 a 70
Fluorescente de 32W	66 a 92
Fluorescente de 35W	87 a 94
Fluorescente de 36W	69 a 80
Fluorescente de 40W	53 a 85
Fluorescente de 54W	74 a 82
Fluorescente de 58W	69 a 90
Fluorescente de 110W	69 a 90
Fluorescente compacta de 18W	60 a 69
Fluorescente compacta de 26W	46 a 70

Fonte: Baseado nos catálogos da Osram, Philips, Sylvania e GE.

Tabela 4. Eficiência luminosa da iluminação natural.

Condições de céu	Eficiência luminosa (lm/W)	
	Pereira (1992)	Souza (2004, 2005, 2006)
Sol direto (altitude solar 60°)	90 a 115	97 a 114
Radiação global com céu claro	95 a 125	96 a 122
Radiação difusa com céu claro	100 a 145	104 a 134
Céu encoberto	100 a 130	121 (valor médio)

Fonte: Pereira (1992), Souza (2004, 2005, 2006)

De acordo com a IEA (2006a), edificações projetadas para otimizar a luz natural podem ser supridas pela mesma em mais de 70% de sua

necessidade anual de iluminação diurna, enquanto que edificações comuns este percentual situa-se entre 20 e 25%.

Ghisi e Tinker (2003) afirmam que a densidade de potência instalada em iluminação e o consumo de energia são fortemente afetados pelas condições climáticas relativas à posição geográfica da edificação, pela quantidade de luz natural disponível e pela integração desta luz com o sistema de iluminação artificial.

Segundo CADDET (1995), em espaços iluminados de forma adequada através de iluminação natural conjugados com sistemas de controle de iluminação artificial, pode-se obter economia de energia em iluminação entre 30% e 70%. Economias semelhantes foram obtidas por Doulos et al. (2008), cujos valores variaram de 30 a 77%, em seus estudos sobre conservação de energia em escritórios comerciais na Grécia.

Roisin et al. (2007), baseados em medições, calcularam a economia de eletricidade utilizando a integração da luz natural com a artificial em três localidades na Europa, para as quatro orientações e obtiveram taxas entre 45 e 61%. Níveis semelhantes foram obtidos por Ihm et al. (2009) em espaços perimetrais altamente iluminados por luz natural, conforme constatado na pesquisa realizada em escritórios comerciais de pequeno porte no Colorado, EUA.

Medições nas condições de iluminação natural feitas em salas de aula do bloco B da UFSC por Ghisi e Lamberts (1997), apontam para uma economia de 7,5% no consumo de energia elétrica naquela universidade. Este potencial seria possível através da instalação de interruptores independentes, que permitam manter as lâmpadas próximas das janelas desligadas nos períodos em que a iluminação natural suprisse o nível de iluminância necessário.

A integração do sistema de iluminação artificial com a luz natural vinda de janelas consiste na forma mais simples e de menor custo para o aproveitamento de luz natural, conclusão induzida a partir da pesquisa de Ghisi e Tinker (2006), que experimentaram a captação da luz natural através de fibras óticas. Verificou-se que estas fibras até podem aumentar a economia de energia, entretanto, o investimento é pouco atrativo quando comparado com a integração do sistema de iluminação artificial com a luz natural vinda de janelas.

Escuyer e Fontoynt (2001), por ocasião de um projeto de larga escala em prédios de escritórios, verificaram que quando é dada aos ocupantes a possibilidade de dimerizar a iluminação do ambiente, eles tendem a fazê-lo, diminuindo a iluminância para menos de 300lux. A razão informada pelos usuários é que desta maneira eles poderiam perceber melhor a luz natural.

Vale ressaltar que a integração da luz natural com o sistema de iluminação artificial, além da economia de energia propriamente dita na iluminação artificial, proporciona também uma economia adicional no sistema de ar condicionado devido a uma menor carga térmica produzida por ela.

A integração da luz natural com a iluminação artificial pode ser implementada utilizando-se dispositivos de controle automáticos ou manuais.

O controle automático pode ser implementado utilizando-se sensores, os quais medem o nível de iluminação do ambiente e controlam automaticamente a iluminação artificial. Este controle pode ser do tipo tudo/nada (ligado/desligado), quando a iluminação é acionada por nível de iluminação pré-fixado ou progressivamente através da atuação de fotocélula sobre reatores dimerizáveis.

Li et al. (2006) verificaram uma economia de energia anual de 33% utilizando sensores do tipo fotocélula atuando sobre reatores dimerizáveis, em escritórios comerciais em Hong Kong, entretanto, os autores alertam que em virtude da dimerização não conseguir zerar o consumo de energia, em locais onde a disponibilidade de luz natural é abundante, sensores do tipo tudo/nada podem produzir uma maior economia de energia. Jennings et al. (1999) também utilizaram em suas pesquisas fotocélulas atuando sobre reatores dimerizáveis, em instalações de escritórios comerciais recém-reformadas em San Francisco, cujas medições apontaram para uma economia de 26% de energia com iluminação.

No caso de locais de acesso intermitente, os sensores de presença, conjugados ou não com temporizadores, são uma boa alternativa, os quais acionam a iluminação caso haja alguma movimentação de pessoas no ambiente. Estes sensores podem ser do tipo infravermelhos, ultrassônicos, microondas ou híbridos. O problema deles é que se uma pessoa ficar temporariamente estática no ambiente, a iluminação poderá ser desligada, causando grande desconforto. Segundo Onaygil e Güler (2003), este tipo de controle pode gerar uma economia de até 45% no verão e de 21% no inverno em escritórios de Istambul na Turquia.

Os *timers* também podem ser utilizados quando é possível o desligamento de toda a iluminação na mesma hora de cada dia, coincidindo com o tempo sem presença de pessoas, entretanto, é necessário que as mesmas se sintam livres para reacender as lâmpadas que considerem necessárias (CEI, 2001).

O controle manual pode ser implementado instalando-se interruptores exclusivos para as luminárias mais próximas do acesso da luz natu-

ral, como janelas, por exemplo. Jennings et al. (2002) afirmam que os interruptores manuais devem sempre fazer parte de todo sistema de controle de iluminação, mesmo nos automáticos.

CEI (2001) alerta que um simples interruptor é uma ferramenta poderosa para economia de energia, quando os usuários desligam a iluminação durante sua ausência do ambiente, entretanto, na prática esta é uma situação difícil de acontecer. Quando o primeiro ocupante entra em um ambiente, a possibilidade que ele acenda a lâmpada depende principalmente do nível de iluminação natural existente.

Os interruptores devem estar separados entre si de forma que o usuário não se sinta tentado a acionar várias teclas com um só movimento da mão. As luminárias devem estar divididas em vários circuitos, separando aquelas mais próximas de janelas, conforme já mencionado anteriormente. Recomenda-se que o número de interruptores manuais, no mínimo, satisfaça à Equação 1, arredondando o resultado para o próximo número inteiro.

$$NI = \sqrt{NL} \quad (1)$$

Onde:

NI= Número mínimo de interruptores;

NL= Número de luminárias.

Segundo CEI (2001) os sistemas de controle de iluminação bem projetados são responsáveis pela economia de até 65% de energia elétrica, enquanto que segundo a IEA (2006a), os mesmos produzem uma economia de energia entre 20 e 40%.

Se a tarefa visual é realizada apenas durante o período diurno e se as variações das condições de luminosidade do céu pouco a afetam, o posicionamento e dimensionamento adequado da potência das luminárias colocadas mais próximas aos locais de acesso da luz natural é também uma alternativa para diminuição da potência instalada.

2.3.5 Influências das Cores dos Ambientes

De acordo com Cunha (2004), a forma de percepção das cores pode criar ilusões, influenciar o espaço e criar diversos efeitos, como sensação de monotonia e movimento, diminuindo ou aumentando a capacidade de concentração e de atenção nos ambientes.

Crepaldi (2006) afirma que cores quentes, como o vermelho, laranja e amarelo, sobre as superfícies tendem a aproximar os objetos do

observador, enquanto que as cores frias, como o azul e verde, distanciam. Desta forma, tetos brancos provocam a sensação de espaço aumentado e pisos escuros passam a sensação de firmeza, de apoio.

Segundo Martins (2004) *apud* Figueiredo (2008), a cor branca não é indicada para tetos em enfermarias e corredores, que é o campo visual dos pacientes acamados ou em transporte sobre macas, pois pode lhes causar sensação de vazio ou abandono. Em salas de cirurgias, o uso monocromático da cor, pode atrapalhar os cirurgiões, pois causa cansaço visual.

Devido a facilidade que o ser humano tem de se adaptar às diversidades ambientais, geralmente as equipes médicas e pacientes tendem a aceitar inconscientemente as instalações, o que pode provocar queda na produtividade e aumento do tempo de recuperação de pacientes (CUNHA, 2004).

Goes (2004) *apud* Figueiredo (2008) relaciona as principais cores com as reações inconscientes médias nos seres humanos provocadas por elas:

- Vermelho: melhora o desempenho físico, facilita a corrente sanguínea e estimula a agressividade;
- Amarelo: estimula o sistema digestivo, aumenta a concentração e a criatividade;
- Alaranjado: estimula o apetite e aumenta a produção de leite materno. Deve ser usada em locais frequentados por pessoas mais jovens e alegres;
- Preto: anula os efeitos de outras cores, tem aspecto isolante;
- Verde: acalma, porém o uso excessivo leva à depressão. Tem ação cicatrizante e auxilia o tratamento de hipertensão;
- Azul: age como tranquilizante, aconselhável para alas psiquiátricas, mas possui o mesmo problema da cor verde, em excesso leva à depressão;
- Violeta: estimula a atividade cerebral, é bactericida e anti-séptica;
- Lilás: tem ação calmante e sedativa. Aconselhável para utilização em UTI;
- Branco: expõe o ambiente a todas as cores, logo possui os benefícios e os malefícios de todas.

Ghisi (1997) afirma que ao se usar cores claras com alta refletividade, além da redução direta da potência instalada em iluminação, também induz os ocupantes a reduzirem a utilização de iluminação artificial, devido ao fato de que o ambiente apresenta-se mais claro.

Segundo Ghisi e Lamberts (1998a), pode haver uma redução de até 30% na potência instalada com o aumento da refletância das paredes

de 10 para 50%, utilizando uma luminária com refletor branco e sem aletas.

Para IESNA (2006) as cores dos ambientes hospitalares devem ser tais que produzam valores de refletância dos tetos entre 70 e 80%, das paredes entre 40 e 60% e dos pisos entre 20 e 40%. Para a norma europeia EN 12464-1, as recomendações são de valores entre 60 e 90% para tetos, 30 e 80% para paredes e 10 e 50% para pisos (IEA, 2006b).

Além das questões subjetivas, as cores influenciam também fortemente o valor das refletâncias das superfícies internas, as quais têm uma contribuição significativa na quantidade de luz projetada sobre o plano de trabalho. Através da Tabela 63 do Apêndice 1 pode-se observar valores médios de refletância de algumas cores.

2.3.6 Influências da Qualidade de Cor das Fontes Luminosas

Variações na qualidade da cor de luz não têm praticamente nenhuma influência sobre a acuidade e qualidade da visão (SMIT, 1964), entretanto, em ambientes onde a observação da cor percebida é importante, como nas enfermarias hospitalares, onde os médicos podem tirar conclusões a partir do tom de pele de pacientes, a escolha criteriosa da cor da fonte luminosa é um fator relevante.

A qualidade da cor da luz pode ser descrita por duas propriedades independentes: temperatura de cor correlata (TCC) e índice de reprodução de cores (IRC) (PHILIPS, 1981). A temperatura de cor correlata representa a temperatura que um corpo negro ideal teria que atingir para emitir uma luz com a mesma tonalidade da fonte de luz em referência. Atribui-se para as baixas temperaturas de cor a denominação de cores quentes e para as temperaturas de cor mais altas a denominação de cores frias.

O índice de reprodução de cores refere-se à habilidade de uma fonte de luz com determinada TCC, em reproduzir com fidelidade as cores reais dos objetos. Ressalta-se que o IRC independe do TCC, uma vez que lâmpadas com mesma TCC podem ter composições espectrais distintas, e por conseguinte, produzir significativas diferenças na percepção de cores.

Em 1941, o engenheiro Arie Andries Kruithof, então trabalhando na Philips, ao fazer experiências sobre os efeitos psicológicos da variação da TCC em função do nível de iluminância dos ambientes, constatou que recintos iluminados por lâmpadas de altas TCC combinado com baixos valores de iluminância, produzem a sensação de ambientes frios e escuros. Por outro lado, lâmpadas com baixas TCC e altos níveis de

iluminância produzem a sensação de recintos artificiais e excessivamente coloridos (IESNA, 2000).

A Figura 8 mostra a curva obtida empiricamente que explicita as sensações psicológicas das pessoas em função da TCC e do nível de iluminância, o que ficou conhecido como efeito Kruithof. A área entre as curvas é a região de provável conforto luminoso, ou seja, é a região onde as pessoas têm uma sensação psicológica de maior bem-estar.

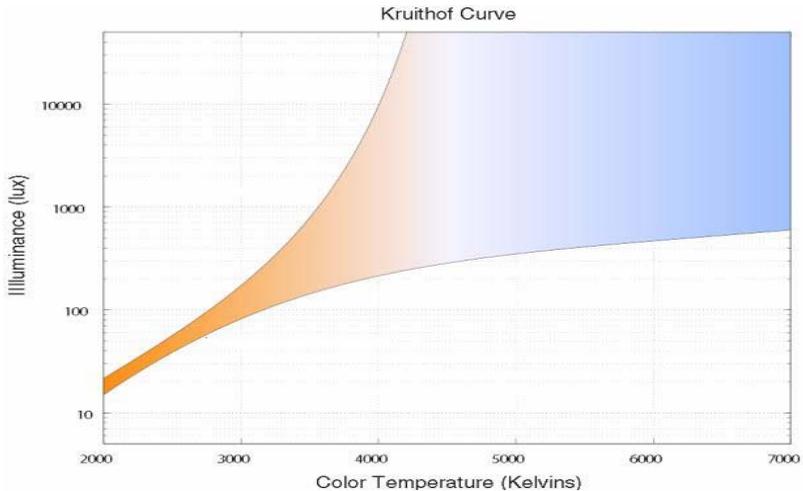


Figura 8. Diagrama de Kruithof.

Segundo Philips (1981), as lâmpadas podem ser divididas em três categorias de acordo com a TCC, conforme mostrado através da Tabela 5.

Apesar deste efeito ser amplamente conhecido e utilizado nos projetos, Davis e Ginthner (1990) informam que alguns pesquisadores não têm tido sucesso para evidenciar a correlação encontrada por Kruithof.

Em algumas pesquisas realizadas, observou-se que quando as pessoas são deixadas em um recinto por um tempo suficiente para a adaptação à cor da luz, a percepção confortável da iluminação no recinto foi dominada pelo nível de iluminância em detrimento da temperatura correlata de cor. Isto quer dizer que se for dado tempo suficiente para as pessoas se adaptarem à TCC da lâmpada, e não havendo possibilidade de comparação com lâmpadas de outras TCC, o conforto luminoso do usuário é regido apenas pelo nível de iluminância. Quando não há tempo suficiente para os olhos se adaptarem à TCC da lâmpada ou há condi-

ções para se comparar à TCC de outras lâmpadas, a TCC passa a ser mais determinante para o conforto luminoso que o nível de iluminância do ambiente (IESNA, 2000).

Tabela 5. Aparência de cor de lâmpadas.

Temperatura de Cor Correlata [K]	Aparência de Cor
>5000	fria (branca-azulada)
3300 - 5000	interdiária (branca)
<3300	quente (branca-avermelhada)

Fonte: Philips (1981).

Quanto ao índice de reprodução de cores, Philips (1981) recomenda para as aplicações práticas que se escolha os valores do IRC de um dos quatro grupos indicados na Tabela 6.

Tabela 6. Aparência e reprodução de cores.

Grupo de Reprodução de Cores	IRC Mínimo	TCC	Exemplos de Utilização
1	IRC ≥ 85	Fria	Indústrias têxteis, gráficas e de tinta
		Intermediária	Lojas, museus, hospitais
		Quente	Residências, restaurantes, hotéis
2	70 ≤ IRC < 85	Fria	Indústrias leves, escritórios, escolas, lojas (climas quentes)
		Intermediária	Indústrias leves, escritórios, escolas, lojas (climas moderados)
		Quente	Indústrias leves, escritórios, escolas, lojas (climas frios)

Tabela 6. Aparência e reprodução de cores (cont.).

Grupo de Reprodução de Cores	IRC Mínimo	TCC	Exemplos de Utilização
3	IRC < 70		Ambientes internos, onde a eficiência tem maior importância que a reprodução de cor
S (especial)	Lâmpadas com IRC fora do normal		Aplicações especiais

Fonte: Philips (1981).

2.3.7 Influências das Manutenções Periódicas

Um fator de alta relevância para a eficiência energética dos sistemas de iluminação é a manutenção periódica. Com o passar do tempo a sujeira vai se acumulando nas luminárias, janelas e demais superfícies do ambiente, diminuindo sensivelmente o nível de iluminação na tarefa visual, provocando rendimento insuficiente da instalação e aspecto de abandono da mesma. Com os devidos cuidados de manutenção, os valores iniciais podem ser restabelecidos. Os vidros das janelas e das aberturas de entrada de luz, as luminárias, as superfícies das paredes e teto devem ser limpos periodicamente para manter a transmissão de luz natural e as suas refletâncias.

Santamouris et al. (1995) afirmam que as luminárias precisam ser mantidas em boas condições de trabalho e com manutenção regular, sob pena de perda de até 30% do fluxo luminoso.

Segundo CEI (2001), a maior contribuição na diminuição dos níveis de iluminação de ambientes é proveniente de sujeira que se deposita nas luminárias e lâmpadas. Esta deposição é afetada pelo grau de ventilação, ângulo de inclinação, acabamento das superfícies que formam as luminárias e também pelo ambiente onde as mesmas são instaladas. As curvas da Figura 9 mostram a depreciação do fluxo luminoso, devido à sujeira acumulada, em quatro tipos de luminárias, em função do tempo transcorrido antes de uma manutenção.

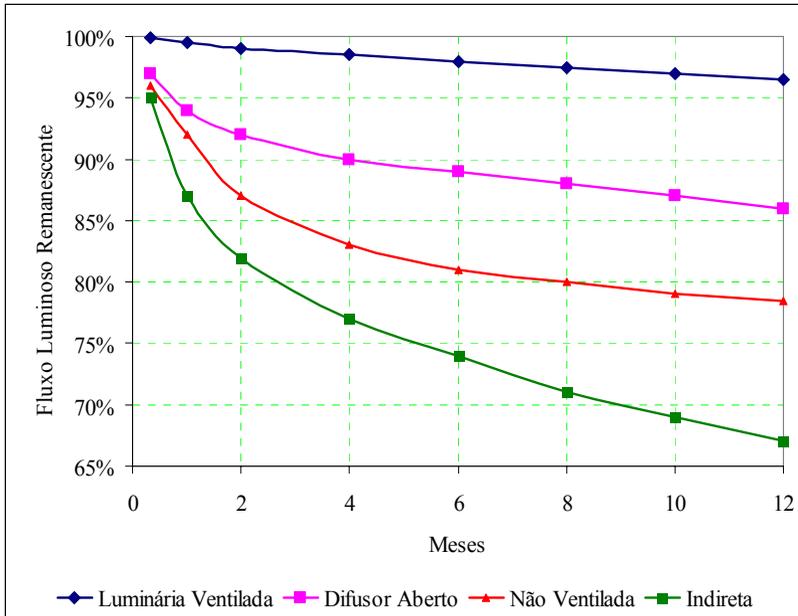


Figura 9. Depreciação do fluxo luminoso de luminárias.

Fonte: Adaptado de CEI (2001).

A realização de limpeza programada em intervalos regulares permite manter de forma mais constante os níveis de iluminação. Para a obtenção da máxima vantagem econômica, o intervalo de limpeza deverá ter uma relação com o intervalo de troca de lâmpadas. Recomenda-se, em hospitais, a troca de todas as lâmpadas de uma única vez, ao invés de trocá-las separadamente à medida que deixam de funcionar (PHILIPS, 1981).

O fluxo luminoso das lâmpadas diminui naturalmente com o tempo, porém varia de uma lâmpada para outra. Algumas lâmpadas, apesar de acesas, possuem uma relação muito baixa entre a emissão luminosa e o consumo, sugerindo a sua substituição (PHILIPS, 1981). A Figura 10 mostra o percentual de fluxo luminoso remanescente em função da porcentagem de tempo transcorrido de vida útil³ informada pelos fabricantes.

³ Vida útil: Número de horas de funcionamento, após o qual o nível de iluminação de uma lâmpada cai para 75% do valor inicial. (PHILIPS, 2008).

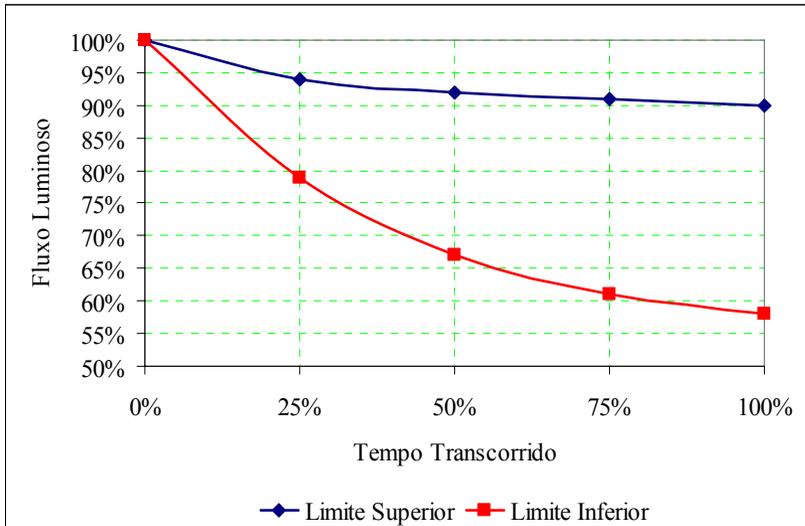


Figura 10. Depreciação do fluxo luminoso de lâmpadas fluorescentes.
Fonte: Adaptado de CEI (2001).

Moreira (2007) afirma que a partir de transcorridos 70% de sua vida mediana⁴, as lâmpadas começam a apresentar falhas mais frequentes. Desta forma o autor recomenda a substituição das mesmas em grupo, quando atingem entre 65 e 75% de sua vida mediana.

Para se manter ao longo do tempo o nível de iluminação adequado à tarefa, ao realizar o projeto deve-se calcular um nível de iluminância superior. A relação entre a iluminância mínima exigida e a iluminação inicial denomina-se fator de perda de luz, ou coeficiente de depreciação, cujo valor dependerá da periodicidade da manutenção. Philips (1981) propõe os valores informados na Tabela 7 para um período de manutenção de 12 meses.

Para a implementação de um programa eficiente de manutenção em um ambiente hospitalar, a figura do gestor energético é muito importante. Este deve manter por escrito uma série de instruções relativas à instalação e manutenção do sistema, tais como a elaboração de programas de limpeza para lâmpadas e luminárias, de troca de lâmpadas e de manutenção e limpeza das superfícies. Com base nestas instruções o gestor deverá cumprir e fazer cumprir os planos de manutenção, contro-

⁴ Vida Mediana: Tempo transcorrido de utilização, em horas, onde 50% das lâmpadas de um grupo representativo, testadas sob condições controladas de operação, deixam de funcionar (PHILIPS, 2008).

lar os horários de funcionamento do sistema e controlar os valores de consumo e custos.

Tabela 7. Fatores de perda de luz.

Ilumi- nância reco- mendada com base Sobre:	Fluxo lumi- noso da lâmpada utilizada	Fator de depre- ciação	Ambien- te	Fator de deprecia- ção da luminária e das superfí- cies	Fator final de perda de luz
Valor Mínimo da Ilumi- nância	Valor Inicial		Limpo	0,9	0,7
	Nominal (100h)	0,9	Normal	0,8	0,6
	Valor no Final da Vida Útil (2000h)		Sujo	0,7	0,6
		0,9	Limpo	0,9	0,8
Valor de Serviço da Ilumi- nância	Valor Inicial		Limpo	0,9	0,8
	Nominal (100h)	0,9	Normal	0,8	0,7
	Valor No- minal do Projeto (2000h)		Sujo	0,7	0,6
		0,9	Limpo	0,9	0,9
			Normal	0,8	0,8
			Sujo	0,7	0,7

Fonte: Philips (1981).

2.4 Iluminação nos Ambientes Hospitalares

A luz é uma necessidade humana elementar, e como tal, uma boa iluminação é essencial para o bem-estar e para a manutenção da saúde em qualquer tipo de ambiente, principalmente nos estabelecimentos hospitalares. Nestes locais, a luz é de suma importância para realização de diagnósticos corretos e também para prover um ambiente com maior conforto luminoso, diminuindo o estresse da equipe de saúde e acelerando o tempo de recuperação de pacientes.

É comum os ambientes hospitalares denotarem um clima de tristeza, corredores enormes e mobiliário frio e monótono. A adequada iluminação pode produzir um efeito psicológico positivo, alterando o

estado de ânimo de todos os ocupantes do estabelecimento e combinada com outros fatores como uma visão confortável e proteção à infecção (efeito bactericida da luz), pode contribuir significativamente na recuperação de pacientes (BARROSO e PORTO, 1999).

Nesta linha, Miller et al. (1995), estudaram o comportamento da recuperação de bebês prematuros internados em hospitais nos Estados Unidos e concluíram que o restabelecimento dos padrões normais de atividade do organismo é altamente afetado pelo nível de iluminação das enfermarias. Os autores verificaram que os bebês que estiveram submetidos a ciclos de iluminação (dia/noite) menos intensos que o natural, ao deixarem o hospital, apresentavam uma evolução mais rápida de recuperação. Resultado semelhante foi obtido por Rivkess et al. (2004).

Entretanto, nota-se que não há total convergência entre os pesquisadores, como Kennedy et al. (2001), que afirmam não haver diferença significativa entre a recuperação de bebês prematuros, com ou sem variação de iluminação, após pesquisa realizada com 409 bebês.

Não obstante a influência psicológica da iluminação sobre as pessoas e seus efeitos bactericidas, CEI (2001), aponta que a iluminação de ambientes hospitalares deve ter dois objetivos principais: (i) garantir condições ótimas para desenvolvimento das atividades correspondentes e (ii) contribuir para uma atmosfera em que os pacientes e equipe de saúde se sintam confortáveis. Tudo isto garantindo a máxima eficiência energética possível.

Além disso, segundo Dalke et al. (2006), o ambiente hospitalar com uma boa iluminação artificial conjugada com a natural e a escolha da cor adequada da pintura das paredes, inspira confiança e segurança tanto para os pacientes e seus familiares, como para a equipe de saúde, resultando em uma sinergia que propiciará maior rapidez na cura do enfermo.

Segundo CEI (2001), para se implantar um sistema de iluminação de qualidade elevada nos espaços hospitalares, o sistema de iluminação deve prover uma boa uniformidade da distribuição da luz e a quantidade de iluminação deve estar condicionada ao tipo de tarefa a se realizar e sua acuidade visual, às condições ambientais e à duração da atividade. Deve haver um controle de ofuscamento eficiente produzido pelas lâmpadas, luminárias, janelas ou por reflexão produzida por alta refletância de objetos no campo de visão do observador. O ofuscamento diretamente das lâmpadas elimina-se através da escolha adequada de luminárias, cujo controle pode ser feito conforme mostrado na seção 3.7.5.

Ainda segundo CEI (2001), o sistema de iluminação deve produzir uma boa reprodução de cores, pois a mesma pode ajudar a realizar

diagnósticos mais corretos, determinar, por exemplo, o estado de feridas ou partes enfermas e predispor positivamente o paciente. Em locais onde existam espelhos é importante que o paciente se veja com aspecto natural, principalmente em relação à cor natural da pele. Recomenda-se a utilização de lâmpadas fluorescentes com TCC da ordem de 4000K (neutras) e IRC superior a 80.

Nos ambientes onde os médicos possam ter contatos visuais com os pacientes, as normas AS/NZS (1997) recomendam o uso de lâmpadas com TCC entre 3300 e 5300K, de forma a oferecer condições propícias para o reconhecimento de doenças, por exemplo, da cianose⁵ e da icterícia⁶. Esta faixa de temperatura de cor correlata também é recomendada para ambientes onde são aplicadas sedações intravenosas e aplicações anestésicas.

A temperatura de cor correlata isoladamente não garante boa reprodução de cores, haja vista que uma lâmpada de vapor de mercúrio que tem uma TCC da ordem de 5000K, devido à baixa proporção do vermelho em seu espectro, dificulta a visualização correta do tom de pele.

Da mesma forma a baixa proporção de azul nas lâmpadas incandescentes acarretam tons cinzas na percepção desta cor. Esta é uma das principais razões porquê lâmpadas de TCC inferiores a 3000K não devem ser usados nos ambientes hospitalares (IESNA, 1995), embora sejam importantes aliadas na humanização dos ambientes devido ao seu frequente uso nas residências.

2.4.1 Aspectos Normativos

Na esfera federal brasileira, o Ministério da Saúde e a ABNT são os dois principais órgãos que elaboram normas relacionadas aos ambientes hospitalares. Outras normas também podem ser encontradas, a nível municipal e estadual, nos códigos de obras e nos planos diretores, bem como nas secretarias de saúde.

A resolução da diretoria colegiada, RDC número 50 de 21 de fevereiro de 2002, intitulada ‘Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde’ (BRASIL, 2002), modificada pelas porta-

⁵ Cianose: “Coloração azulada, difusa, da pele e membranas mucosas, devida à presença de alto teor de hemoglobina reduzida no plexo venoso subpapilar da pele” Ferreira (2004).

⁶ Icterícia: “Síndrome caracterizada por excesso de bilirrubina no sangue e deposição de pigmento biliar na pele e membranas mucosas, do que resulta a coloração amarela apresentada pelo paciente” Ferreira (2004).

rias número 307 de 14 de novembro de 2002 e número 189 de 18 de julho de 2003, é a principal diretriz oficial de projetos de estabelecimentos hospitalares. Embora não seja voltada especificamente para o tema iluminação, esta portaria traz algumas recomendações a este respeito para os ambientes hospitalares.

Ela instrui sobre os locais onde a iluminação natural é desejável (atendimento imediato, salas de observação, internação, quartos e enfermarias, UTI, queimados, apoio ao diagnóstico e terapia e salas de diálise). Instrui também sobre quais locais necessitam de iluminação artificial especial no campo de trabalho (consultórios, salas de exame e terapia, quartos e enfermarias e salas de observação). No aspecto quantitativo a portaria sugere que sejam seguidas as diretrizes contidas na Norma Regulamentadora NR-15, anexo 4, portaria de 08/06/78 do Ministério do Trabalho. Porém ressalta-se que o anexo 4 da citada portaria foi revogado pela Portaria MTPS nº 3.751, em 23.11.90 e substituído pela norma NBR 5413 (ABNT, 1992).

Com relação à iluminação artificial existem algumas recomendações do tipo e posicionamento de luminárias para os quartos e enfermarias, UTI, salas de cirurgia e partos, consultórios e salas de exame clínico. Estas recomendações objetivam o conforto luminoso dos pacientes e atendimento às necessidades da equipe de saúde, sugerindo, por exemplo, que a iluminação das salas de exames clínicos e dos consultórios deva ser tal que não altere a cor da pele dos pacientes.

O código de obras do município de Betim-MG, instituído pelo decreto-lei 233/1969, não traz nenhuma regulamentação específica a respeito de estabelecimentos de saúde. Apenas estabelece de forma genérica, através do artigo 122, que todos os cômodos devam ter aberturas para o exterior na razão de 1/6 da área de piso e conforme o artigo 107, que os pés-direitos devam ser no mínimo de 2,80m.

A norma brasileira que estabelece os valores quantitativos de iluminação para os ambientes internos é a NBR 5413 (ABNT, 1992). Esta norma recomenda valores de iluminâncias divididas em três faixas, escolhidas segundo os critérios de dificuldade da tarefa visual, da idade do usuário e da refletância do fundo da tarefa. Nesta norma há recomendações de níveis de iluminação de diversos tipos de ambientes, inclusive o hospitalar, porém neste segmento a diversidade de ambientes internos típicos é incompleta. Destaque deve ser dado à norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005), a qual estabelece critérios para se avaliar através de medição, o nível de iluminação natural de ambientes internos. Da mesma forma a norma NBR 5382 (ABNT, 1985) estabelece critérios para medição de iluminância artificial de ambientes internos.

A nível internacional, citam-se importantes normas, como a alemã DIN 5034 (DIN, 1979) e as inglesas BSI 73 (BSI, 1982) e BSI 8206 (BSI, 1992). Estas normas estabelecem critérios para projetos lumino-técnicos de ambientes utilizando luz natural. A norma europeia EN 12464-1 traz recomendações de níveis de iluminância para diversas áreas de instalações hospitalares, a qual é base para normas particulares de diversos países europeus. O IESNA através da RP29 (IESNA, 2006) e a norma australiana / neo-zelandeza AS/NZS 1680.2.5 (AS/NZS, 1997) são importantes aliados no projeto de iluminação de hospitais.

De forma geral nota-se que entre os países não há consenso sobre os níveis recomendados de iluminação dos ambientes e os valores de iluminâncias encontrados superam os recomendados pelas normas respectivas normas (IEA, 2006a). Em uma pesquisa realizada por Mills e Borg (1999), em 19 normas internacionais, constatou-se uma grande discrepância entre os valores de iluminância recomendados. As normas do Brasil, Bélgica e Japão apresentaram os maiores valores, enquanto que as da Austrália, China, Dinamarca, Rússia e Suécia, os menores. Os valores intermediários foram encontrados nas normas norte-americanas.

A Tabela 8 mostra os valores mínimos e máximos das recomendações oficiais sobre os níveis de iluminação em ambientes hospitalares de 18 países (Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Brasil, China, Cazaquistão, Dinamarca, Estados Unidos, Finlândia, França, Japão, México, Holanda, Suécia, Suíça, Reino Unido e Rússia), além da União Europeia.

Tabela 8. Variação do nível de iluminação recomendado em normas de diversos países.

Ambiente	Menor valor [lux]	Maior valor [lux]	Variação
Áreas comuns	50	300	1:6
Quartos de recuperação de pacientes	30	300	1:10
Sala de operação	300	2000	1:7
Mesa de operação	2000	500000	1:250

Fonte: Adaptado de Mills e Borg (1999).

Segundo Mills e Borg (1999), a grande variação dos valores entre os países pode ser explicado pela tendência à redução dos níveis de iluminação a partir da década de 70, motivado pela crise do petróleo. Alguns países reduziram drasticamente os valores e outros conservaram

ainda os valores antigos.

O fator econômico também tem um papel importante, pois em países que tem um alto custo da energia elétrica, como a França, a sensação de bem-estar luminoso se dá com níveis de iluminância mais baixos. Apesar dos autores não terem mencionado nada a este respeito, infere-se também que a sensação de conforto luminoso pode estar relacionado com a disponibilidade de luz natural de cada país.

2.4.2 Parâmetros de Conforto e Economia de Energia

Para que os ocupantes do ambiente hospitalar, sejam eles médicos, enfermeiros ou pacientes possam se sentir confortáveis, são necessárias algumas diretrizes que além de promover o bem-estar visual, permitem uma economia substancial de energia elétrica. Nesta linha, Cunha (2004), afirma que deve-se sempre evitar contrastes superiores a 1:5, pois eles provocam diminuição da visão na mesma proporção que a redução da iluminância de 1000 para 30lux.

Segundo CEI (2001), para o projeto de um sistema de iluminação eficiente não deverão ser utilizadas lâmpadas com eficiência inferior a 80 lm/W, luminárias devem ter rendimento superior a 60% para as do tipo abertas e 50% para as fechadas e coeficiente de utilização superior a 0,45.

Para o conforto visual em enfermarias, IESNA (2006) sugere como limite de taxas de luminância, os seguintes valores: entre a tarefa visual e seu entorno: 1 para 1/3 (tais como, um livro e a mesa); ente a tarefa visual e pontos mais escuros e distantes: 1 para 1/5 (tais como, um livro e o piso); entre a tarefa visual e as mais distantes superfícies luminosas: 1 para 5 (tais como um livro e o teto).

CEI (2001) afirma que tetos de enfermarias com reflexão superior a 75%, paredes com refletância entre 60 e 80%, pisos entre 20 e 40% e mobiliário entre 40 e 60%, produzem padrões adequados para um projeto luminotécnico eficiente e confortável. Valores bastante similares são sugeridos por IESNA (2006), a qual recomenda que a refletância de tetos esteja entre 70 e 80%, paredes entre 40 e 60% e pisos também entre 20 e 40%. Valores médios e altos de refletância das paredes e tetos propiciam além do aumento da iluminância e da luminância interna, uma sensação de leveza do ambiente (CIBSE, 1989).

Quanto aos níveis de iluminância das enfermarias, a Tabela 9 mostra as recomendações de algumas entidades. Philips (1981) sugere ainda que a luz tenha temperatura de cor quente e as luminárias tenham classe de qualidade muito elevada (classe A), quanto ao controle de

ofuscamento, conforme definido na seção 3.7.5. Os valores propostos pela ABNT não retratam enfermarias, apenas quartos particulares. Para iluminação noturna de vigilância, a recomendação de CEI (2001) e da norma EN 12464-1 (ES, 2002) é de 5 lux, também com luz de temperatura de cor quente, porém admite-se luminária com classe de qualidade B (qualidade elevada). Entretanto, Philips (1981) sugere um valor entre 5 e 20 lux, de forma que os pacientes possam ser observados pela equipe de saúde, além de promover uma condição visual mínima para locomoção com segurança.

Tabela 9. Iluminâncias recomendadas para enfermarias e quartos particulares.

Entidade	Iluminância [lux]
Philips (1981)	100 a 200
ABNT (1992)	100 a 200
IESNA (1995)	50 a 100
CEI (2001)	100
ES (2002)	100

A iluminação dos corredores deve ser tal que não provoque desconforto visual ao se transitar de ou para outro ambiente. A distribuição assimétrica das luminárias ao longo do corredor é recomendada, pois causa menos perturbação aos pacientes que são transportados através dele (PHILIPS, 1981).

Philips (1981) recomenda uma iluminância nos corredores entre 100 e 200 lux durante o dia, reduzindo este nível para 3 a 5 lux à noite, para corredores que tenham ligação direta com os quartos, e 5 a 10 lux para corredores com outras finalidades. IESNA (1995) também recomenda valores variando de 100 a 200 lux durante o dia, porém à noite a recomendação é de 50 a 100 lux. A norma EN 12464-1 sugere valores fixos de 200 lux durante o dia e 50 lux à noite.

A iluminação para o exame de pacientes deve ser devidamente planejada de forma a possibilitar uma grande variedade de tarefas visuais. Esta condição normalmente é satisfeita utilizando-se uma combinação entre a iluminação geral e a local. Ambas deverão ter temperatura de cor semelhantes. Philips (1981) recomenda uma temperatura de cor de 4000K e uma iluminância entre 500 e 1000 lux, valores idênticos aos encontrados na norma EN 12464-1.

Segundo Philips (1981) a iluminação geral das salas de cirurgia deve ser de pelo menos 1000 lux e não deve causar dificuldades de a-

daptação ao passar para outro ambiente, o qual deverá ter uma iluminância de pelo menos a metade e com temperatura de cor semelhante. Para a norma brasileira NBR 5413 (ABNT, 1992), este ambiente deve ter iluminância compreendida entre 300 e 750lux.

Para as Unidades de Tratamento Intensivo a iluminância recomendada por Philips (1981) é de no máximo 300 lux, enquanto que a norma EN 12464-1 sugere uma iluminância geral de 100 lux, reduzindo este nível para 50 lux à noite.

Para o correto posicionamento do paciente e para a manutenção do ambiente, Philips (1981) recomenda um valor de 100 lux de iluminância, para os ambientes onde sejam realizados exames de raios-x e tomografia computadorizada.

Em um hospital existem diversos outros tipos de ambientes, tais como laboratórios, escritórios, cozinhas, refeitórios, oficinas, salas de espera, salas de recepção, entre outros. Os níveis de iluminação destes locais seguem as recomendações normativas gerais para estes mesmos ambientes em edificações comuns.

2.5 *Retrofit* de Sistemas de Iluminação

A implantação de sistemas de iluminação eficientes em edificações existentes necessariamente passa pela necessidade de modificações ou reformas nas instalações. Estas reformas têm recebido diversos outros nomes, por exemplo, *retrofit* (GHISI, 1997), eficientização (POOLE e GELLER, 1997); readequação (REGINO, 2002); otimização (KRUGER et al., 2002) e revitalização (PROCEL, 2008b).

Todos estes termos têm um significado único, referem-se a reformas visando a eficiência energética dos sistemas de iluminação, mantendo ou melhorando o conforto luminoso do ambiente. Isto é conseguido seja pela substituição de componentes obsoletos por outros energeticamente mais eficientes, seja pela intervenção física integrando a iluminação natural com a artificial ou ainda pela modificação da forma de comando dos sistemas, incorporando sensores, reposicionando interruptores e redistribuindo circuitos.

Este autor utilizará o termo *retrofit*, conforme definido por Ghisi (1997), em detrimento dos demais, por considerar sua força apelativa no cenário atual de mercado e por considerar também mais adequado para transmitir a idéia de renovação, seja pela substituição de equipamentos ineficientes por outros eficientes, seja pela substituição de hábitos equivocados de consumo de energia por novos conceitos energética e ambientalmente corretos.

Grasso et al. (1998), definem de forma geral, que o *retrofit* consiste no estudo de otimização energética de um prédio e na implementação das medidas de conservação por ele determinadas.

Ghisi e Lamberts (1998a) afirmam que o *retrofit* nos sistemas de iluminação devem sempre objetivar a economia de energia, sem, entretanto, comprometer o conforto e satisfação dos usuários. Os autores ainda comentam que estão sendo realizados *retrofits* em todo o mundo, porém a metodologia empregada não é clara, o que leva a deduzir que os pesquisadores somente se interessam em apresentar os resultados da economia de energia, sem se importarem com os processos para obtê-la. Eles alertam que fazer o *retrofit* de um sistema de iluminação é muito mais que simplesmente trocar lâmpadas ineficientes por eficientes.

Para Ghisi (1997), as medidas a serem adotadas na reforma do sistema de iluminação são determinadas pela iluminância necessária para a realização da tarefa visual, pelo nível desejado de melhoria e pelas metas de redução de consumo de energia elétrica.

A instalação de sensores de presença também é fundamental para as metas de economia. Nos edifícios comerciais da Suécia, a iluminação é responsável por aproximadamente 30% do total de energia elétrica consumida, sendo que 2/3 deste consumo poderiam ser economizados com a substituição dos atuais sistemas por sistemas eficientes. Isto representaria cerca de 20% de economia final no consumo, incluindo-se aí a instalação de sensores de presença para controle de iluminação (CADETT, 1995).

Medições feitas durante cinco dias pós-*retrofit* em um edifício com 330 escritórios, mostraram que a troca dos equipamentos de iluminação, correspondeu a 9% da redução do consumo de energia elétrica e que os sensores foram responsáveis pela economia de 24%. A economia final do gasto com energia foi ainda reforçada pela redução em 40% do pico de demanda (CADETT, 1997a).

É importante salientar que além do ganho próprio devido a diminuição do consumo, os sistemas de iluminação eficientes contribuem pela inserção de uma menor carga térmica no ambiente que resulta numa economia suplementar no consumo do sistema de ar condicionado.

Os ocupantes de um hospital (equipes médicas, funcionários, pacientes e visitantes) geram calor que circula por convecção e radiação. Em média uma pessoa dissipa uma potência de 100W. Sendo a média de visitantes da ordem de 3 a 4 pessoas por dia, somada ao quadro fixo, haverá uma importante quantidade de calor que juntamente com o calor produzido pelo funcionamento dos equipamentos terá que ser removido do ambiente pelo sistema de ar condicionado (CADETT, 1996).

Segundo IESNA (1995), a carga térmica gerada pelo sistema de iluminação artificial, genericamente, é responsável por 15 a 20% da carga total do sistema de condicionamento ambiental de um edifício. Neste sentido, CADDET (1995) afirma que em um edifício, para cada 2kW de carga térmica de iluminação é necessário uma potência adicional do sistema de condicionamento de ar de 1kW.

Um estudo de simulação energética do edifício sede da FIESC, após o *retrofit* no sistema de iluminação, elaborado por Westphal et al. (1998), aponta para uma redução de consumo de 14% em refrigeração, como consequência da diminuição da carga térmica na iluminação. Esta economia adicional representa 3% na redução da conta total de energia.

2.6 O Cenário da Pesquisa

A rede hospitalar brasileira apresenta-se bastante heterogênea quanto às suas características de consumo energético, o que torna difícil de se traçar um perfil exato sobre o comportamento deste segmento. Procura-se aqui mostrar dados sobre os hospitais do Brasil e de alguns países no mundo, de forma que se possa reuni-los em grupos de características semelhantes e que através destas características, os gestores públicos possam dentro de suas estratégias administrativas, priorizar a questão da implantação e da gestão da eficiência energética.

Uma pesquisa realizada pela Sociedade Norte-americana dos Serviços de Saúde (ASHE, 2008), em conjunto com uma empresa de soluções ambientais sustentáveis e inteligentes, revelou que os executivos deste setor são os que mais priorizam a eficiência. Eles também são os que mais estão dispostos a realizar medidas de melhoria, a curto prazo. Das 335 pessoas entrevistadas, responsáveis pelas tomadas de decisões nos estabelecimentos de saúde, 65% consideram extremamente ou muito importante a eficiência energética, contra 1.150 executivos de outros setores, onde apenas 57% tiveram a mesma opinião.

Nos Estados Unidos, uma outra pesquisa realizada por ASHE (2008), revela que cerca de dois terços dos estabelecimentos de saúde têm planos de investimento a curto prazo em eficiência energética. Além disto as organizações de saúde irão tolerar um período maior de compensação dos investimentos, em média de 4,2 anos. As modificações nas instalações físicas, modernização e instalação de aparelhos energeticamente eficientes foram apontadas como as principais prioridades de investimento, para 88% dos entrevistados, seguido da atuação sobre os sistemas de iluminação, com 87%.

2.6.1 No Brasil

Dados de 2005 mostram o Brasil com 77 mil Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) em atividade total ou parcial, sendo que a maioria, 59%, pertence ao setor público. Apesar da maioria dos estabelecimentos serem públicos, a disponibilidade de leitos para internação é maior no setor privado com 66% do total, contra apenas 34% do setor público (AMS, 2005).

Entende-se por EAS, as clínicas (odontológicas, reabilitação, radiológicas), postos de saúde, prontos socorros, ambulatórios, laboratório de análise clínicas e hospitais. Hospital é um tipo específico, diferenciado dos demais por oferecer leitos para internação de pacientes.

Segundo a AMS (2005), os hospitais representam em 2005, 9,3% dos estabelecimentos assistenciais de saúde. A partir de meados da década de 1980 observa-se um declínio na quantidade de hospitais privados em contraposição a uma elevação na quantidade de hospitais públicos, embora estes últimos representem apenas 38% do total.

De acordo com Szklo et al. (2003a), o consumo de energia do setor hospitalar brasileiro tem um peso significativo dentro do setor comercial e de serviços, respondendo por 8,9% do consumo de eletricidade, 18,9% do consumo de combustíveis e 10,6% do consumo total de energia deste segmento, com referência ao ano de 1999.

Segundo Vargas Jr. (2006), a eletricidade é responsável por cerca de 50% do consumo de energia do setor hospitalar, quando existe caldeira a vapor, até 100% na sua ausência, e sua participação vem crescendo sistematicamente demonstrando estar havendo a substituição de outras formas de energia, como óleo diesel e gás liquefeito de petróleo, por energia elétrica.

Apesar da heterogeneidade das instalações hospitalares brasileiras, o consumo de energia elétrica para condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água, respondem juntos, em média, por mais de 70% do consumo total de energia elétrica destes estabelecimentos (SZKLO et al., 2003a).

Dados do PROCEL *apud* Vargas Jr. (2006), indicam que em hospitais, de forma geral, os sistemas de iluminação e climatização juntos correspondem a cerca de 64% do consumo com energia elétrica, sendo a iluminação responsável pela parcela de 20% e o sistema de ar condicionado responsável por 44%.

O sistema de iluminação em hospitais de médio porte, em geral, tem uma participação de 20% no consumo total de energia elétrica (VARGAS Jr, 2006). Szklo et al. (2003b) acrescentam que esta partici-

pação pode chegar até 30% em hospitais menores.

Dependendo do porte do EAS, os indicadores de consumo energético variam drasticamente, por exemplo, enquanto que nos hospitais de pequeno porte o consumo de energia elétrica é cerca de 977 kWh/leito/mês, nos hospitais de grande porte, este valor chega a 3.301 kWh/leito/mês, ou 3,4 vezes superior (SZKLO, 2003a).

Szklo et al. (2003a), baseados em confronto de dados físicos fornecidos pela AMS com diagnósticos energéticos completos realizados, classificam os hospitais brasileiros, segundo critérios físicos e de consumo de energia elétrica, em seis categorias:

1. Hospitais grandes (HG);
2. Hospitais médios com alto nível de conforto (HMANC);
3. Hospitais médios com moderados ou baixos níveis de conforto (HMBNC);
4. Hospitais pequenos (HP);
5. Hospitais com menos de 50 leitos (<50);
6. Hospitais que atendem apenas no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS).

São considerados hospitais grandes aqueles com a quantidade de leitos superior a 450 unidades, que atendem pelo SUS ou não. Estes hospitais caracterizam-se por terem sempre UTI, geradores de energia elétrica de emergência e equipamentos médicos relativamente completos. Possuem serviços de lavanderia próprios e cerca de 55% tem sistemas centrais de condicionamento de ar. Geralmente a área construída é maior de 100.000 m². A média de consumo mensal de energia elétrica tem um peso cerca de 64% no consumo total de energia.

Hospitais médios com alto nível de conforto são aqueles cuja capacidade está entre 150 e 450 leitos e cujo atendimento pode ser pelo SUS ou não. Possuem UTI e gerador de emergência. Sistemas de condicionamento central de ar ocorrem na razão de 57%. Para que o hospital seja considerado pertencente a esta categoria, baseado nos indicadores da AMS, Szklo (2003a), arbitrariamente assumiu que o padrão de conforto depende também da quantidade de leitos disponíveis por quarto. Assim, para que o hospital seja considerado de tamanho médio e com alto nível de conforto, é necessário que ele atenda também à Equação 2.

$$\frac{\text{quarto com 2 leitos} \times 2 + \text{quarto com pelo menos 3 leitos} \times 3}{\text{total de leitos do hospital}} \leq \frac{1}{2} \quad (2)$$

Hospitais médios com moderados ou baixos níveis de conforto

são aqueles cuja capacidade está também entre 150 e 450 leitos e cujo atendimento também pode ser pelo SUS ou não. Geralmente não possuem UTI, nem gerador de emergência e nem plantas de O₂. Sistemas de condicionamento central de ar ocorrem na razão de aproximadamente 10%, porém o consumo total com condicionamento de ar representa cerca de 24% do total consumido com energia elétrica, justificado pelo emprego mais acentuado de aparelhos individuais. O consumo de eletricidade representa 74% do total da energia consumida pelo estabelecimento. De forma idêntica ao caso anterior, vale também a mesma expressão, porém nesta situação o resultado tem que ser superior a 1/2.

Hospitais pequenos são aqueles cuja capacidade está entre 50 e 150 leitos e cujo atendimento também pode ser pelo SUS ou não. Devido à natureza ainda mais heterogênea deste grupo não é possível afirmar se possuem ou não UTI. O consumo de eletricidade representa 76% do consumo total de energéticos.

Hospitais com menos de 50 leitos são aqueles que da mesma forma que os anteriores prestam assistência não somente no âmbito do SUS. Em geral poucos hospitais têm sistema de ar condicionado central, na maioria dos casos são utilizados aparelhos de ar condicionado de janela e muitos não têm serviços próprios de lavanderia. O consumo de eletricidade representa 85% do consumo total de energia.

Hospitais que prestam assistência apenas no âmbito do SUS são aqueles que não prestam nenhuma assistência fora deste sistema.

A Tabela 10 consolida os dados informados acima e traz também outros indicadores da rede hospitalar brasileira.

Tabela 10. Indicadores de energia dos hospitais brasileiros.

Indicadores	HG	HMANC	HMBNC	HP	<50	SUS
Densidade de leitos [leitos/m ²]	0,0048	0,0143	0,0155	0,0191	0,0310	0,0300
Consumo de energia [kWh/leito/mês]	3301	2682	952	977	619	248

Tabela 10. Indicadores de energia dos hospitais brasileiros (cont.).

Indicadores	HG	HMANC	HMBNC	HP	<50	SUS
Eletricidade						
Consumo em relação ao total de energia [%]	63,6	57,0	74,4	75,7	85,4	71,5
Fator de carga típico	0,62	0,62	0,52	0,52	0,40	0,40
Uso final de eletricidade						
Iluminação [%]	26,0	23,5	21,9	21,8	30,4	30,0
Ar condicionado [%]	41,0	27,2	23,9	24,8	51,2	15,4
Aquecimento de água [%]	4,8	8,6	12,4	13,0	15,3	25,8
Total [%]	71,8	59,3	58,1	59,7	96,9	71,2
Indicadores físicos						
Iluminação [W/m ²]	5,8	11,7	5,1	9,9	11,1	3,3
Ar condicionado [TR/100m ²]	1,6	1,7	0,5	1,5	1,5	0,3
Aquecimento de água para banho [m ³ /leito/mês]	2,3	2,3	2,0	2,2	1,4	0,9

Fonte: Adaptado de Szklo et al. (2003a)

A divisão dos hospitais nas categorias que prestam somente assistência pelo SUS com aqueles que prestam assistência não somente pelo SUS, deve-se a algumas observações feitas aos primeiros, tais como ao fato de terem uma quantidade maior de leitos por área construída, independente da capacidade do hospital que o aproxima da categoria de hospitais com menos de 50 leitos. Terem poucos leitos de UTI que os

fazem aproximarem-se dos hospitais com menos de 50 leitos. Terem severas restrições orçamentárias, devido a política governamental para o setor da saúde, entre outras.

2.6.2 Em Outros Países

Na Alemanha, de acordo com CADDET (1996), o potencial de conservação de energia elétrica em hospitais é da ordem de 20%, enquanto que na Holanda este percentual pode chegar a 44%, na França a 25% e no Reino Unido a 30%.

Ainda segundo CADDET (1996), 40% de toda a eletricidade consumida em um hospital do hemisfério norte é destinada à iluminação. Dados de 1992 mostram um consumo médio anual com iluminação na Suécia de 37kWh/m², enquanto que na Holanda este valor aproxima de 60kWh/m² e de acordo com Sliepenbeek e Van Broekhoven *apud* Ghisi (1997) o consumo de energia elétrica com iluminação em centros de saúde atinge 50% do consumo total de eletricidade.

Para efeito de comparação, EPRI (1993), aponta que o consumo com iluminação em prédios comerciais nos Estados Unidos representa mais da metade de toda a energia elétrica consumida. A média anual de consumo em iluminação atinge 43kWh/m² e é necessário um adicional de 7,5kWh/m² por ano para retirar o calor produzido pelo sistema de iluminação artificial.

Segundo CEI (2001), a iluminação em hospitais da Espanha tem um peso entre 20 e 30% do consumo total de energia elétrica, cujo montante pode chegar a cerca de 1000GWh por ano que corresponde a cerca de 0,6% de todo o consumo de energia do país. Estima-se que estes estabelecimentos têm um potencial de conservação de energia pelo aumento da eficiência energética na iluminação em torno de 30%.

De acordo com CADDET (1997b), o aquecimento do ambiente, aquecimento de água, iluminação e ventilação respondem juntos por cerca de 75% do consumo de energia em hospitais do hemisfério norte. A iluminação e ventilação juntos correspondem entre 50 e 60% do consumo de energia elétrica.

A Figura 11 mostra a média do consumo anual de energia elétrica e térmica, por leito, para hospitais típicos em seis países. Observa-se que hospitais australianos consomem quase seis vezes mais eletricidade que os italianos, isto pode ser devido às diferenças climáticas, ao grau de sofisticação e idade dos sistemas de energia. Os altos níveis de consumo na Suíça e Canadá podem ser devidos ao baixo custo da energia (CADDET, 1997b).

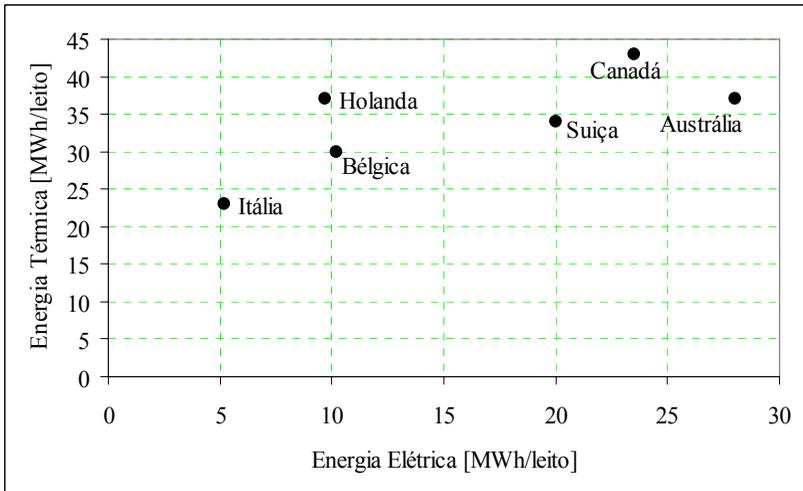


Figura 11. Consumo de energia em hospitais no mundo.

Fonte: CADDET (1997b)

De acordo com CADDET (1996), para os hospitais do hemisfério norte, as lavanderias são responsáveis pelo consumo entre 10 e 15% do total de energia elétrica, com uma média de 3kg de lavagem de roupa, por leito, por dia. Anualmente o consumo nesta atividade é da ordem de 2.000 kWh/leito. Nas cozinhas, a média de consumo situa-se em torno de 1.400 kWh/leito. Os equipamentos de esterilização têm consumo anual relativamente baixo, da ordem de 500 kWh/leito. O aquecimento de água baseado em um consumo médio anual de 100 a 200 litros, por leito, por dia, representa em média 5.300 kWh/leito.

2.7 Considerações finais

Existem poucas pesquisas a respeito de economia de energia nos ambientes hospitalares, menos ainda quando se foca apenas nos sistemas de iluminação. O potencial de conservação de energia nestes sistemas apresenta-se promissor, em face da obsolescência que se observa nos equipamentos e nas instalações, aliada aos maus hábitos do uso da eletricidade.

A maioria dos trabalhos sobre conservação de energia em sistemas de iluminação concentra-se nos estabelecimentos de ensino ou escritórios comerciais, nos quais da mesma forma que nos poucos traba-

lhos encontrados no âmbito hospitalar, observa-se uma variação muito grande de taxas de economia atingidas e/ou projetadas, não obstante, em todas as pesquisas, as taxas apresentam-se com números animadores.

Da mesma forma, pela subjetividade do conceito de conforto luminoso, raramente se consegue atingir percentuais de satisfação dos usuários acima de 50%, sejam eles pacientes, equipe médica e outros, conforme Veith et al. (1993).

Muitos dos trabalhos abordam também, com ênfase, a integração da luz do dia com a iluminação artificial, como uma das principais estratégias responsáveis pelo aumento da eficiência energética nos sistema de iluminação, seguido fortemente pela mudança da estratégia de controle do sistema de iluminação. Entretanto, poucos autores abordam a questão da conservação de energia através da substituição dos equipamentos antigos por outros eficientes energeticamente.

As maiores âncoras dos projetistas dos sistemas de iluminação hospitalares são as referências, a nível quantitativo, encontradas em normas internacionais e com certa limitação nas normas da ABNT. A nível qualitativo destacam-se as recomendações de IESNA (1995), CEI (2001) e Philips (1981).

Alguns trabalhos importantes sobre *retrofit* dos sistemas de iluminação já elaborados, todos tendo como estudo de caso os ambientes escolares, apontam para excelentes projeções de ganhos em conservação de energia com os sistemas de iluminação.

Estudos indicam uma participação em torno de 20% do uso final de eletricidade em iluminação em hospitais brasileiros, sendo que nos países desenvolvidos este percentual pode atingir até 50%. Países do hemisfério norte tem um potencial de economia em iluminação entre 20% e 44%.

Pode-se vislumbrar, portanto, uma condição bastante otimista sobre a viabilidade de implantação de *retrofit* nos sistemas de iluminação de hospitais.

3 Materiais e Métodos

O objetivo principal do capítulo 3 é detalhar a metodologia e apresentar os recursos materiais necessários para que se possa elaborar o estudo da viabilidade de implantação de *retrofit* em hospitais públicos. A subseção 3.1 consiste em mostrar a metodologia de forma genérica de sorte que possa ser aplicada em qualquer hospital. A partir da subseção 3.2 a citada metodologia é detalhada e são enfatizadas algumas situações particulares para o Hospital Público Regional de Betim, objeto do estudo de caso.

3.1 Metodologia Genérica

A Figura 12, distribuída nas próximas quatro páginas, mostra esquematicamente e de forma genérica o fluxograma para elaboração de *retrofit* em sistemas de iluminação hospitalares.

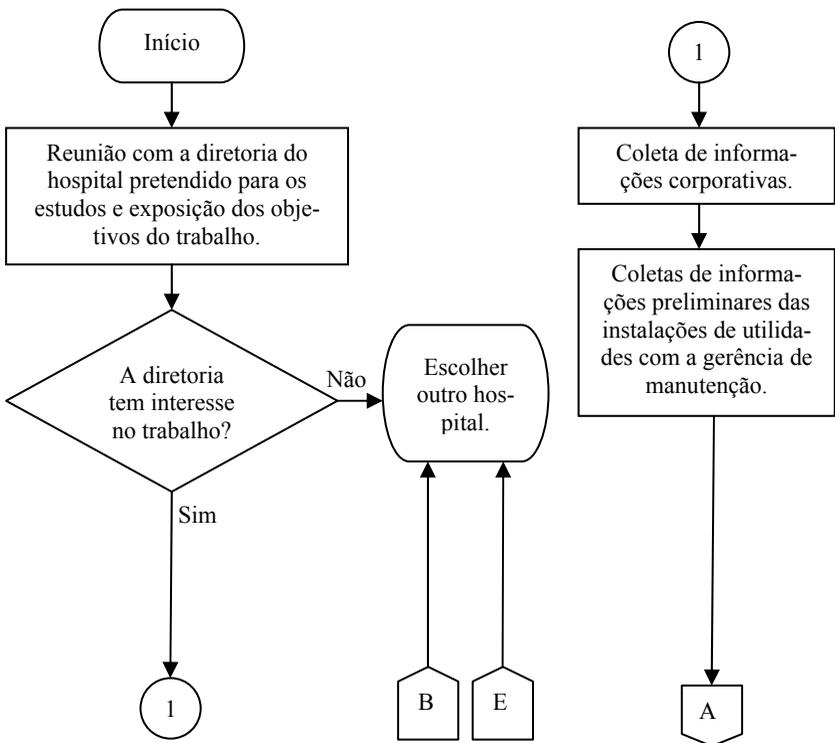


Figura 12. Fluxograma para elaboração de *retrofit* em hospitais.

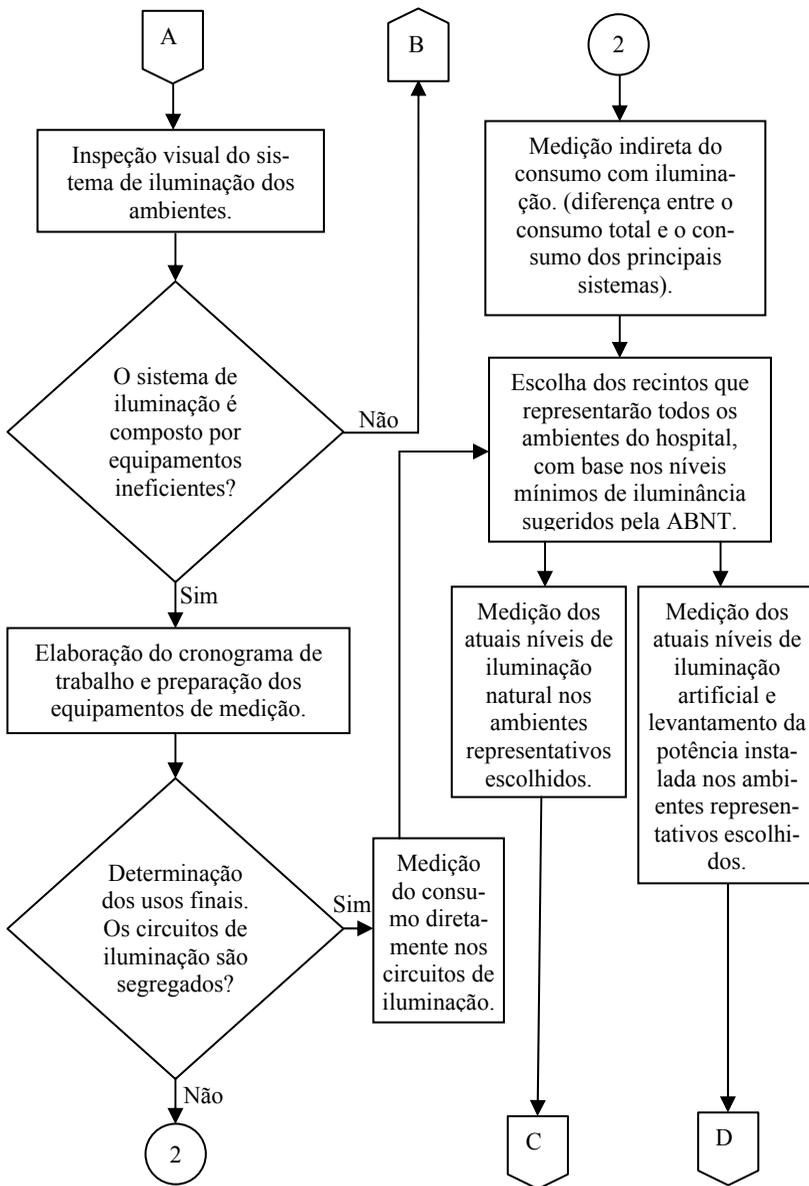


Figura 12. Fluxograma para elaboração de *retrofit* em hospitais (cont.).

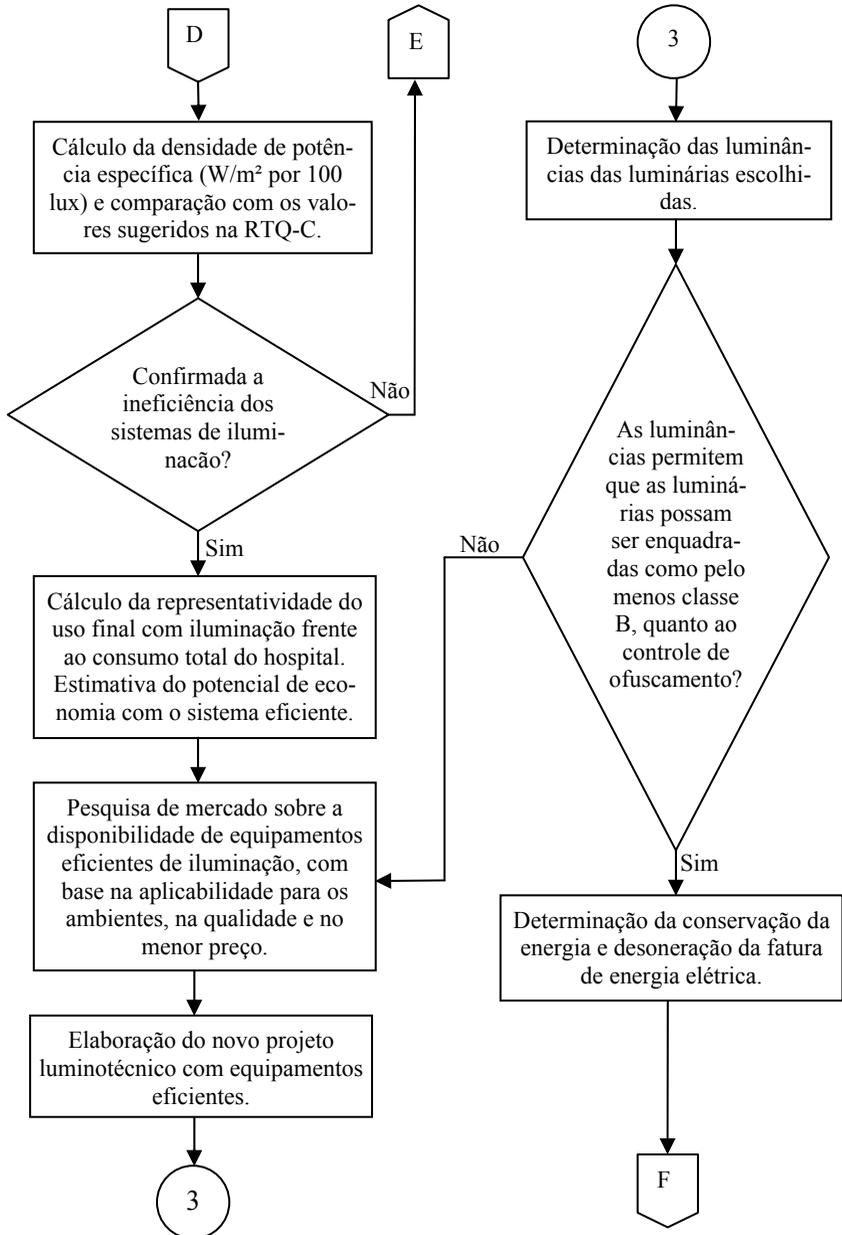


Figura 12. Fluxograma para elaboração de *retrofit* em hospitais (cont.).

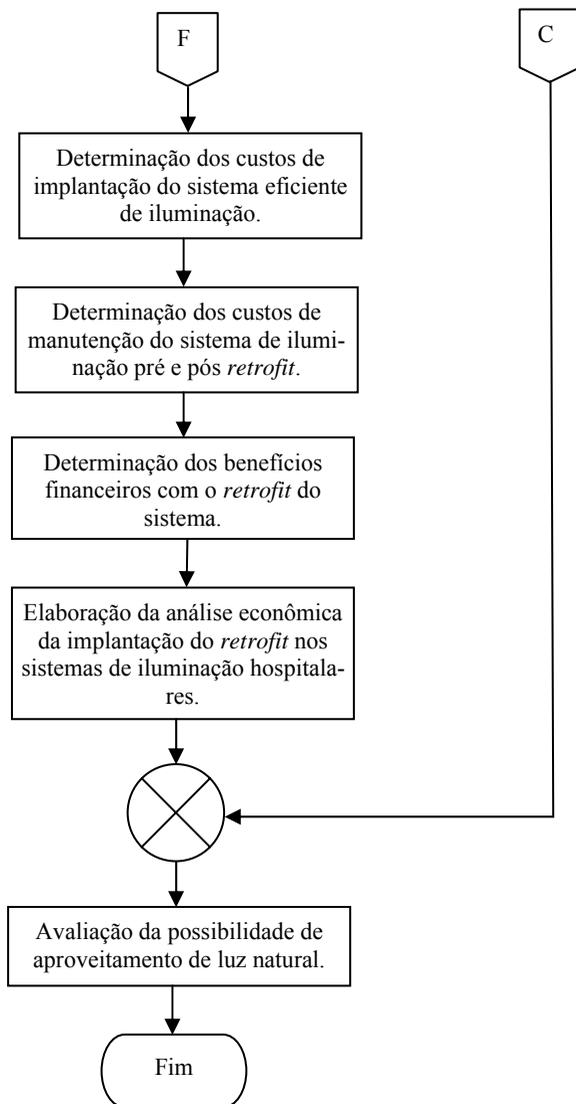


Figura 12. Fluxograma para elaboração de *retrofit* em hospitais (cont.).

A metodologia aqui proposta e apresentada no fluxograma da Figura 12 para a análise da implementação de *retrofit* em sistemas de iluminação de hospitais públicos pode ser detalhada da seguinte forma:

Inicialmente deve ser realizada uma visita ao hospital de interesse, agendada de preferência com a diretoria do estabelecimento, de forma a expor os principais conceitos no campo da eficiência energética e os objetivos do trabalho que se pretende realizar. Caso a diretoria do hospital manifeste interesse, deve-se iniciar a coleta de informações, neste primeiro momento, mais ligadas à rotina de funcionamento e sobre as condições de acessibilidade aos diversos ambientes.

Uma nova visita deve ser agendada, desta feita com o setor de manutenção, de forma a coletar dados preliminares, especialmente relativos às condições de acesso para executar medições nos circuitos elétricos de iluminação, bem como em outros circuitos, caso necessário. Nesta estada é preciso também visitar diversos ambientes de forma a se consolidar a obsolescência do sistema de iluminação e a real necessidade de *retrofit*.

Uma vez constatado que os sistemas de iluminação são obsoletos e que a diretoria do hospital tem interesse em colaborar com informações para o trabalho, deve ser identificado o porte do hospital. A determinação do porte é feita através de informações fornecidas pela administração e/ou setor de estatística hospitalar.

Com base nas informações recebidas, devem ser feitos cálculos de alguns parâmetros, tais como: densidade de leitos, consumo de energia por leito, capacidade de refrigeração dos sistemas de condicionamento de ar, entre outros, e comparados com valores informados na literatura, de forma que se possa enquadrar o hospital em um dos diversos portes.

Embora não seja obrigatória, a definição do porte é importante, pois permite avaliar com antecedência os valores esperados das grandezas durante os levantamentos. Permite também elaborar o cronograma de trabalho com maior precisão, em função da maior ou menor quantidade de circuitos existentes a serem monitorados.

Com o cronograma de trabalho preparado e com os instrumentos necessários para as medições à disposição, inicia-se a determinação do consumo atual com o sistema de iluminação, com vistas a se quantificar sua relevância em face do consumo total do estabelecimento.

Caso o hospital tenha os circuitos de iluminação segregados⁷, a determinação se dá de forma rápida e direta. A partir das informações obtidas e dos dados coletados diretamente nos circuitos que alimentam as luminárias, poder-se-á estimar o uso final com iluminação e sua re-

⁷ Circuitos de iluminação segregados: Refere-se à metodologia adotada para alimentação dos circuitos de iluminação, consistindo de quadros elétricos exclusivos para esta finalidade.

presentatividade em relação ao consumo global do estabelecimento. O consumo global deve ser determinado a partir da análise das contas de energia fornecidas pela instituição.

Caso os circuitos de iluminação não sejam segregados, é necessário determinar o seu uso final de forma indireta, a partir da diferença entre o consumo total do hospital e a soma da estimativa dos principais usos finais de energia elétrica existentes. Estas estimativas devem ser feitas com base em amostras de medições de consumo e levantamentos de tempo de utilização dos principais sistemas e equipamentos.

A determinação do uso final com iluminação será fundamental nos cálculos de viabilidade econômica do investimento, pois permitirá desagregar da conta de energia, aquela parte relativa aos gastos com iluminação.

Paralelamente às medições de consumo, devem ser levantados os níveis de iluminância produzidos pelo atual sistema de iluminação artificial. As informações coletadas deverão evidenciar a ineficiência dos sistemas atuais e conseqüentemente permitirão a avaliação do potencial de economia de energia, referendando, portanto, a necessidade ou não de implantação de *retrofit*, utilizando-se equipamentos energeticamente eficientes. A avaliação da ineficiência pode ser feita ao se comparar os valores calculados da densidade de potência instalada específica (W/m^2 para cada 100 lux) com aqueles recomendados pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL, 2009) e o potencial de economia pode ser estimado em função da densidade de potência instalada e das áreas dos recintos.

Uma vez definida a necessidade de implantação de *retrofit*, deve-se iniciar a elaboração do novo projeto luminotécnico. Devido à boa qualidade e gratuidade de alguns *softwares* luminotécnicos oferecidos atualmente, bem como ao fácil acesso dos profissionais da área aos computadores, recomenda-se a utilização dos mesmos, de forma a agilizar a determinação da quantidade de luminárias necessárias. Os *softwares* também permitem facilmente efetuar-se simulações com diversas situações diferentes, como mudanças de valores de reflexão das superfícies, troca de equipamentos de iluminação, entre outras.

Antes, porém, uma ampla pesquisa de mercado deve ser feita sobre a disponibilidade de equipamentos eficientes de iluminação, quer seja luminárias, lâmpadas ou reatores.

De forma a se realizar uma avaliação qualitativa do sistema a ser implantado, o projeto luminotécnico deve conter também a análise de iluminâncias, temperatura de cor correlata e índice de reprodução de

cores das lâmpadas a serem utilizadas. A análise de luminância, objetiva evitar problemas de ofuscamento aos usuários, as análises da TCC e do IRC objetivam evitar perturbações nas cores reais, importante, por exemplo, na análise do tom de pele de pacientes.

Concluído o projeto luminotécnico será possível estimar a conservação de energia produzida pelo novo sistema eficiente e a consequente desoneração da fatura de energia elétrica do hospital.

Finalmente, deve ser elaborada a análise econômica. De um lado devem ser estimados os benefícios do investimento, entre eles, o valor da desoneração da conta de energia elétrica. De outro lado devem ser apurados os custos para a implantação, tais como as despesas com aquisição dos novos equipamentos eficientes, os custos de intervenções na infraestrutura para reposicionamento das luminárias e interruptores, custos para realização do diagnóstico energético, entre outros.

Com todos os benefícios e custos apurados, será possível, através de matemática financeira, estimar a relação benefício-custo do investimento e outros indicadores financeiros, como o período de retorno do investimento. Com estes indicadores poder-se-á proceder a avaliação final da possibilidade de implantação de *retrofit* no hospital.

A metodologia é concluída com a avaliação das condições de iluminação natural. Consiste na medição dos níveis de iluminância natural de alguns ambientes típicos e comparados com os valores mínimos de iluminância recomendados pelas normas. A partir dos níveis encontrados deve ser avaliada a possibilidade de integração com a iluminação artificial, podendo produzir economias adicionais de energia.

A metodologia acima resumida é baseada em Ghisi (1997) e será detalhada ao longo deste trabalho, utilizando como estudo-base, o Hospital Público Regional de Betim.

3.2 Porte do Hospital

Não existe por parte dos governos uma metodologia para a determinação e classificação de hospitais quanto ao seu porte. Assim, o procedimento adotado neste trabalho, será o mesmo apresentado por Szklo et al. (2003a).

3.3 Estimativas dos Usos Finais de Energia Elétrica

O potencial de economia de energia em sistemas de iluminação é obtido conhecendo-se o uso final com iluminação. Caso se pudesse fazer medições dos principais usos finais de energia elétrica ao longo de todo

o ano, o consumo anual com iluminação seria facilmente determinado, por exclusão, ao subtrair do consumo total do estabelecimento, o consumo das principais cargas. Porém, em geral, isto não é possível, devido principalmente ao elevado custo da mão-de-obra para tal. Assim sendo, os usos finais devem ser estimados. Para uma maior confiabilidade e precisão, as estimativas devem ser baseadas em amostras de medições. Estas amostras devem ser coletadas durante um período que seja suficiente para avaliar o perfil de consumo de cada uso final.

Neste trabalho, as medições serão realizadas utilizando-se dois analisadores de energia. O primeiro, cujo fabricante é Sultech, tipo ST9600R, mede diversas grandezas elétricas trifásicas, através de três sensores flexíveis que suportam correntes de 3 a 3.000A. A classe de exatidão das medições de potência e de corrente é menor que 1%. O certificado de calibração do equipamento é válido até maio de 2010. Os dados são armazenados na memória de massa do aparelho e descarregados em um computador para o devido tratamento. A Figura 13(a) mostra a foto do analisador.

Para a medição de cargas monofásicas, de menor potência, normalmente ligadas nas tomadas, será utilizado outro analisador de energia, tipo CVM-144 de fabricação Circuitur, cuja foto é mostrada pela Figura 13(b) e cuja classe de exatidão da leitura em potência é de 1% e de corrente 0,5%. A validação das indicações de potência, energia, corrente e tensão, será feita a partir de algumas medições simultâneas com o analisador ST9600 - Sultech, tomado como padrão.



(a) Marca Sultech.



(b) Marca Circuitur

Figura 13. Analisadores de energia.

Em algumas situações será necessário avaliar a potência individualmente absorvida por equipamentos. Não sendo possível a medição de potência diretamente com os analisadores de energia anteriormente citados, deve-se conhecer o fator de carga individual. O fator de carga multiplicado pela potência de placa do equipamento em análise fornece a potência absorvida.

O fator de carga individual é a razão entre a corrente medida por um amperímetro e a corrente de placa do equipamento, estando o mesmo em seu regime nominal de funcionamento. Para as medições de corrente utilizar-se-á um amperímetro alicate, conforme mostrado na Figura 14(a), o qual possui classe de exatidão de $\pm 2\%$ e seu certificado de calibração expira em março de 2010.

O Hospital Regional de Betim tem a maioria de seus circuitos segregados, permitindo com certa facilidade que os principais usos finais sejam medidos. Tem também arquivadas diversas contas de energia, possibilitando uma análise do consumo anual.

Será necessária também a determinação da área de alguns ambientes. Para o cálculo destas áreas, as dimensões dos recintos podem ser obtidas através do projeto arquitetônico, porém alguns deles devem ser efetivamente medidos de forma a se atestar a confiabilidade das informações do projeto. Neste trabalho, para agilizar as medições, principalmente em áreas de acesso restrito, será usada uma trena eletrônica marca Black&Decker, tipo Marksman BDSM100 com alcance de 0,61 a 12m, classe de exatidão de $\pm 0,5\%$. A Figura 14(b) mostra a foto da trena eletrônica.

De forma a se verificar a exatidão das medições da trena eletrônica, foram tomadas algumas amostras de ambientes e medidas também com uma trena física de 5m, marca Stanley, não se verificando desvios superiores a $\pm 0,5\%$ em relação à trena física.



(a) Amperímetro alicate.



(b) Trena eletrônica

Figura 14. Instrumentos de medição.

Os ambientes típicos que serão tomados como amostras, devem ter algumas informações levantadas. Nos levantamentos devem ser utilizadas planilhas, nas quais deve-se anotar o tipo dos equipamentos instalados, por exemplo, lâmpadas fluorescentes, incandescentes, reatores, luminárias, computadores, aparelhos de fax, bebedouros, bem como suas referências comerciais, fabricantes, quantidade, potência, tensão e

outras informações disponíveis.

Dados complementares do recinto também devem ser anotados na planilha, tais como a localização dos ambientes na edificação, a finalidade de cada ambiente, suas dimensões, a altura entre o piso e a luminária, a altura do plano de trabalho e o horário de funcionamento.

Algumas informações, se não forem óbvias, devem ser obtidas com a chefia do setor responsável pelo ambiente em análise.

3.3.1 Sistema de Iluminação

Esta seção apresenta a metodologia para realização de estimativa do uso final com iluminação para hospitais que tenham circuitos de iluminação não segregados. Infere-se que a estimativa para hospitais que tenham circuitos segregados possa ser considerado um caso particular do primeiro, ficando esta comprovação como sugestão para futuros trabalhos.

Caso os Quadros de Distribuição de Luz (QDL) tenham compartilhados nos mesmos disjuntores de saída, circuitos de iluminação e outros, como tomadas, por exemplo, ou mesmo que tenham disjuntores de saída específicos para os circuitos de iluminação, porém, devido à dificuldade de acesso, seja impossível a instalação dos medidores, considera-se, para efeito deste estudo, que os circuitos de iluminação não são segregados.

Por outro lado, considera-se que os circuitos são segregados, casos os QDL tenham como única finalidade a alimentação de circuitos de iluminação. Alternativamente, para efeito deste estudo, também será considerado como tendo circuitos segregados aqueles QDL que apesar de terem disjuntores alimentando circuitos com outras finalidades, permitam a fácil ligação de instrumentos de medição nos circuitos que alimentam a iluminação.

Para os hospitais que tenham circuitos de iluminação não segregados, opta-se pela determinação do uso final com iluminação de maneira indireta. Para tal é necessário estimar-se os principais usos finais existentes, tais como condicionamento de ar, aquecimento de água, ar comprimido, produção de oxigênio e vácuo, equipamentos de apoio aos exames clínicos, como tomógrafos e aparelhos de raios-x, transporte vertical, lavanderia e outros. Em geral, estes usos finais têm circuitos exclusivos, não sendo alimentados a partir de QDL.

A diferença entre o consumo anual do hospital e o somatório do consumo estimado para um ano de todos os demais usos finais, com base em amostras de medições realizadas, fornecerá o consumo anual

com iluminação e com os aparelhos ligados nas tomadas. Esta forma de cálculo, aqui denominada arbitrariamente de ‘método 1’, é resumida através da Equação 3.

$$C_{IT} = C_{12m} - \sum_{j=1}^n C_{DUF_n} \quad (3)$$

Onde:

C_{IT} =	Uso final anual estimado com iluminação e tomadas do hospital [kWh];
C_{12m} =	Consumo anual de energia elétrica do hospital, calculado pela soma dos consumos mensais com energia elétrica dos últimos 12 meses anteriores à pesquisa [kWh];
C_{DUF} =	Consumo anual estimado dos demais usos finais de energia elétrica do hospital nos últimos 12 meses anteriores à pesquisa, calculado conforme as equações apresentadas nas seções subsequentes [kWh];
n =	Valor numérico que relaciona os outros usos finais de energia elétrica, que não iluminação e tomadas, existentes no hospital. Por exemplo: $n=1$: sistema de ar condicionado central, $n=2$: sistema de transporte vertical.

O consumo com iluminação e tomadas calculado pelo método 1, precisa ser desagregado, de maneira que apenas o uso final com iluminação seja conhecido.

O valor calculado através do método 1 deve representar com exatidão os usos finais com iluminação e tomadas. Para esta certificação é necessário que o valor da soma dos consumos estimados de todos os aparelhos ligados nas tomadas adicionado à estimativa de consumo com a iluminação, para um ano, seja coincidente com o valor calculado pelo método 1. Havendo diferenças não toleradas, conforme exposto no Apêndice 2, significa que deva existir algum uso final que não fora computado no cálculo das estimativas de consumo.

A metodologia para a desagregação dos usos finais de iluminação e tomadas, aqui denominada de ‘método 2’, consiste em se realizar uma auditoria energética em todo o estabelecimento. O modelo de planilha a ser utilizada para o diagnóstico energético encontra-se no Apêndice 4.

A estimativa do consumo com iluminação dos ambientes é feita conhecendo-se a potência instalada e o tempo em que a mesma perma-

nece ligada ao longo do ano. A potência instalada é calculada pelo somatório da potência de todas as luminárias existentes, cujo valor é composto pela potência específica das lâmpadas, adicionado às perdas dos reatores, quando presentes.

A potência das lâmpadas pode ser lida diretamente nas mesmas. Se for possível o acesso aos reatores, deve ser feita a leitura do valor das perdas diretamente. Caso não seja possível, pode-se estimá-las como 26% da soma da potência das lâmpadas, para reatores eletromagnéticos ou 8% para reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes e 17% para reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de mercúrio ou vapor de sódio. Estes valores foram adotados por serem uma média das faixas observadas na revisão bibliográfica (ROIZENBLATT, 2003; MOREIRA, 2007) ou valores encontrados em catálogos de alguns fabricantes.

O tempo que o sistema de iluminação fica ligado deve ser determinado a partir de entrevistas com os gestores e/ou funcionários de cada ambiente. No caso de enfermarias e demais ambientes frequentados pelas equipes médicas, a principal fonte de informação é a chefia de enfermagem. Nos outros ambientes de apoio, onde se desenvolvem trabalhos, por exemplo, de contabilidade hospitalar, de compras, de manutenções, enfim, de natureza burocrática, devem ser entrevistados os ocupantes de cada recinto.

Caso a estimativa de consumo com iluminação e tomadas do estabelecimento, calculada através do método 2, coincida com o valor do consumo calculado pelo método 1, pode-se assumir que os valores de consumo estimados com iluminação represente o uso final com iluminação do hospital. Para referendar o método 2, ou seja, para que se tenha certeza, dos percentuais atribuídos à iluminação e aos equipamentos ligados nas tomadas, deve-se arbitrariamente escolher pelo menos dois quadros de distribuição de luz onde se tenha condições de medir os seus consumos totais.

As projeções de consumo de iluminação e tomadas elaboradas a partir do diagnóstico energético nos ambientes atendidos por cada um dos quadros de distribuição de luz (QDL) escolhidos devem coincidir com a medição de consumo geral do mesmo, confirmando a precisão da metodologia. Caso haja discrepâncias superiores a 10%, os motivos devem ser investigados e ajustes devem ser feitos, principalmente nos tempos de funcionamento dos aparelhos. Na seção 3.5 pode-se encontrar as explicações sobre os percentuais de erros tolerados.

Após a realização das estimativas deve-se calcular a densidade anual de consumo global com iluminação e com aparelhos ligados nas tomadas, em kWh/m². Os valores resultantes podem ser usados para

estimar o consumo em outras situações similares, ou seja, em edificações que tenham atividades semelhantes.

A determinação do percentual de representatividade do uso final com iluminação em relação ao consumo total do hospital pode ser calculado através da Equação 4.

$$PC_I = \frac{C_I}{C_{12m}} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

PC_I =	Percentual de representatividade do uso final com iluminação em relação ao consumo total do hospital [%];
C_I =	Uso final anual estimado com iluminação do hospital [kWh];
CA_{12m} =	Consumo anual de energia elétrica do hospital, calculado pela soma dos consumos mensais com energia elétrica dos últimos 12 meses anteriores à pesquisa [kWh].

A metodologia acima descrita será aplicada ao estudo de caso deste trabalho. Nas seções subsequentes encontra-se a metodologia que deve ser utilizada para a determinação dos usos finais dos diversos sistemas que compõem um ambiente hospitalar.

3.3.2 Condicionamento Ambiental

Antes de se iniciar efetivamente a estimativa do consumo anual com os sistemas de ar condicionado, devem ser observadas as variações no consumo de energia do hospital, a partir da análise das contas de energia elétrica. Após padronizar-se os consumos registrados nas contas para um período de 30 dias, conforme explanado na seção 3.4, deve-se verificar a existência de correlações entre os consumos médios e as temperaturas médias de cada estação, para os anos em análise.

Havendo boas correlações, conclusões podem ser tiradas, as quais podem facilitar sobremaneira a estimativa do uso final com condicionamento ambiental. Admite-se aqui como boas correlações aquelas em que R^2 apresente-se superior 0,60, ou seja, que pelo menos 60% das variações nos consumos médios sejam explicadas pelas variações das temperaturas médias. Pode-se admitir, por exemplo, que as variações de consumo do estabelecimento são decorrentes das variações de consumo do

sistema de ar condicionado, uma vez que o mesmo tenha um peso significativo na composição do consumo de um hospital e a maioria dos demais sistemas consumidores de energia não dependam diretamente da temperatura. Esta admissão pode ser feita desde que não existam outros motivos que causem variações sazonais do consumo, como ligação sistemática de máquinas e equipamentos em determinadas estações do ano e desde que também não haja alterações significativas na quantidade de leitos ocupados ao longo do ano.

Satisfeitas as condições supra citadas, o consumo médio no inverno deve ser comparado com o consumo médio no outono. Da mesma forma, deve ser feita a comparação entre os consumos médios no verão e na primavera.

Não havendo diferenças significativas, ou mesmo que haja, mas que possam ser justificadas, por exemplo, por aumento de consumo devido à integração ao sistema elétrico de novas máquinas ou equipamentos, ao aumento de área construída, ou a situações que causariam uma majoração temporária no consumo, o valor do consumo típico no verão pode ser admitido também como o consumo na primavera. Da mesma forma, o consumo no inverno pode ser admitido também como o consumo no outono. Este procedimento reduz o tempo de pesquisa e consequentemente os custos.

Aceita-se como tolerável uma diferença de consumo dentro das estações quentes (verão e primavera) ou das estações frias (inverno e outono) de até 10%, pois este valor provocaria, no máximo, erros de estimativa de 2,2% em relação ao consumo total do estabelecimento. Valor este, inferior aos 2,22% de máxima incerteza provável de medição⁸ para medidores existentes, permitido pela ANEEL (BRASIL, 2005a). Este valor de incerteza é válido para medidores instalados em consumidores enquadrados no subgrupo A4, que segundo PROCEL (2008c), representa o subgrupo de tensão utilizado pela grande maioria dos hospitais. O erro de estimativa supra citado baseia-se na expectativa de representatividade dos sistemas de ar condicionado, em face do consumo total do hospital, de 44% (VARGAS Jr., 2006).

Uma vez constatado que as diferenças não superam o valor acima proposto, devem ser iniciadas as medições no sistema de condicionamento ambiental, as quais devem ser feitas ao longo das 24 horas do dia, durante uma semana que compreenda as datas dos solstícios de verão e

⁸ Incerteza provável de medição: Refere-se à raiz quadrada da soma dos quadrados das classes de exatidão dos transformadores de corrente (TC), potencial (TP) e do próprio medidor de energia, adicionando ao resultado, o valor de 0,05% referente ao erro imposto pelos cabos dos TP (BRASIL, 2006).

inverno. As medições durante uma semana completa, objetiva verificar se existem variações de consumo ao longo dos dias da semana. As datas dos solstícios de verão e inverno foram adotadas por representar os dias mais prováveis de maiores e menores temperaturas médias, respectivamente. As medições deverão confirmar a existência de correlação entre o consumo e a temperatura ambiente. Servirão também para se calcular o consumo médio de um dia típico da respectiva estação.

Os sistemas de ar condicionado central geralmente não são desligados intencionalmente em nenhum momento ao longo do ano, inclusive no inverno, logo, caso tenha sido confirmada a correlação entre o consumo e a temperatura ambiente, o consumo nesta estação pode ser assumido como o consumo mínimo que ocorre durante o ano.

Sistemas de condicionamento de ar central geralmente são constituídos pelo sistema de geração de água gelada e pelo sistema de climatização, este último alocado próximo aos ambientes onde se deseja o condicionamento ambiental. O sistema de água gelada é composto por *chillers*, por bombas de recirculação de água entre o tanque de termoacumulação e os *chillers* e por bombas de pressurização da rede de água de alimentação dos climatizadores. O sistema de climatização normalmente é constituído por climatizadores tipo *fan coil*.

Assim, a estimativa do consumo com o sistema de ar condicionado central deve ser calculada conforme Equação 5.

$$C_{acc} = C_{saginv} \times NDA + (C_{sagver} - C_{saginv}) \times NDVP + C_{climat} \quad (5)$$

Onde:

C_{acc} = Consumo anual estimado com ar condicionado central [kWh];

C_{saginv} = Consumo médio diário com o sistema de geração de água gelada no inverno [kWh];

C_{sagver} = Consumo médio diário com o sistema de geração de água gelada no verão [kWh];

NDA = Número de dias dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito, no ano [dia].

$NDVP$ = Número que representa a soma dos dias que compõem o verão e a primavera dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito, nestas estações [dia].

C_{climat} = Consumo do sistema de climatização, calculado conforme Equação 6 [kWh].

Geralmente a quantidade de climatizadores é grande e a potência total dos mesmos, comparada com a do sistema de geração de água gelada, é pequena. Logo, com vistas a agilizar os levantamentos, pode-se admitir que o tempo médio diário de funcionamento dos climatizadores seja o mesmo obtido no sistema de geração de água gelada. Isto é coerente, pois, o acionamento dos *chillers* e bombas por períodos maiores ou menores dependem diretamente da temperatura da água de alimentação dos climatizadores, cujo acionamento é feito através de termostatos instalados nos dutos de retorno do ar dos ambientes condicionados.

$$C_{\text{climat}} = P_{\text{absorv}} \times (\text{NDIO} \times T_{\text{mfdi}} + \text{NDVP} \times T_{\text{mfdv}}) \quad (6)$$

Onde:

C_{climat} = Consumo anual estimado com os climatizadores [kWh];
 P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos, calculada através da Equação 7 [kW];

NDIO = Número de dias que compõem o inverno e o outono, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nestas estações [dia];

NDVP = Número de dias que compõem o verão e a primavera, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nestas estações [dia];

T_{mfdi} = Tempo médio de funcionamento em um dia de inverno, calculado através da Equação 9 [h/dia];

T_{mfdv} = Tempo médio de funcionamento em um dia de verão, calculado através da Equação 9 [h/dia].

A potência absorvida pelos equipamentos deve ser calculada como o somatório da razão entre o produto da potência de placa de cada equipamento pelo seu fator de carga, e o rendimento, conforme Equação 7. Na falta dos dados de placa deve ser feita a medição de potência, com o equipamento em regime normal de funcionamento, conforme já explicado na seção 3.3, sendo o valor registrado, a própria potência absorvida.

$$P_{\text{absorv}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{\text{placa } n}}{\eta_n} \times F_{c_n} \quad (7)$$

Onde:

- P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos [kW];
 P_{placa} = Potência de placa de cada equipamento [kW];
 F_c = Fator de carga, calculado através da Equação 8;
 η = Rendimento de cada equipamento;
 n = Número que identifica cada equipamento considerado.

O fator de carga deve ser obtido através da razão entre a corrente absorvida pelo equipamento em condições normais de funcionamento, lida através de um amperímetro alicate, e sua corrente nominal de placa, conforme Equação 8.

$$F_{c_n} = \frac{I_{\text{medida } n}}{I_{\text{placa } n}} \quad (8)$$

Onde:

- F_c = Fator de carga;
 I_{medida} = Corrente absorvida pelo equipamento em condições nominais [A];
 I_{placa} = Corrente lida diretamente na placa de características técnicas do equipamento [A];
 n = Número que identifica cada equipamento considerado.

O tempo médio de funcionamento dos sistemas na estação de interesse deve ser calculado, através da Equação 9.

$$T_{\text{mfd}} = \frac{C_{\text{md}}}{P_{\text{absorv}}} \quad (9)$$

Onde:

- T_{mfd} = Tempo médio de funcionamento em um dia na estação de interesse [h];
 C_{md} = Consumo médio em um dia de funcionamento do sistema na estação de interesse, calculado com base na quantidade de dias de medição [kWh];
 P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos que compõem o sistema em análise, calculada através da Equação 7

[kW];

n= Estação do ano, sob interesse.

Obs: Conhecendo-se o tempo médio de funcionamento dos sistemas ou equipamentos, obtidos através de entrevistas, a referida equação pode ser dispensada.

Havendo diferenças significativas de consumo entre as estações (verão e primavera; inverno e outono), quer seja, maiores que 10%, é necessária que seja realizada uma estimativa, com base em amostras de medições, para cada estação do ano. Neste caso, recomenda-se que as medições sejam realizadas, além dos períodos já citados anteriormente, também durante sete dias que compreendam as datas de equinócio de primavera e outono, por representar os dias de maior probabilidade que a temperatura média mantenha-se mais estável. Nesta situação deve ser empregada a Equação 10 para o cálculo da estimativa do consumo com o sistema de ar condicionado central.

$$C_{acc} = C_{saginv} \times NDI + C_{sagver} \times NDV + C_{sagpri} \times NDP + C_{sagout} \times NDO + C_{climat} \quad (10)$$

Onde:

C_{acc} = Consumo anual estimado com ar condicionado central [kWh];

C_{saginv} = Consumo médio diário com o sistema de geração de água gelada no inverno [kWh];

C_{sagver} = Consumo médio diário com ar o sistema de geração de água gelada no verão [kWh];

C_{sagpri} = Consumo médio diário com ar o sistema de geração de água gelada na primavera [kWh];

C_{sagout} = Consumo médio diário com ar o sistema de geração de água gelada no outono [kWh];

NDI = Número que representa os dias do inverno dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];

NDV = Número que representa os dias do verão dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];

NDP = Número que representa os dias da primavera dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];

- NDO= Número que representa os dias do outono dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];
- C_{climat} = Consumo do sistema de climatização, calculado conforme Equação 11 [kWh].

O consumo anual do sistema de climatização deve ser calculado conforme Equação 11.

$$C_{\text{climat}} = P_{\text{absorv}} \times (\text{NDI} \times T_{\text{mfdi}} + \text{NDO} \times T_{\text{mfdo}} + \text{NDP} \times T_{\text{mfdp}} + \text{NDV} \times T_{\text{mfdv}}) \quad (11)$$

Onde:

- C_{climat} = Consumo anual estimado com os climatizadores [kWh];
- P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos, calculada através da Equação 7 [kW];
- NDI= Número de dias que compõem o inverno, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];
- NDO= Número de dias que compõem o outono, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];
- NDP= Número de dias que compõem a primavera, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];
- NDV= Número de dias que compõem o verão, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nesta estação [dia];
- T_{mfdi} = Tempo médio de funcionamento de um dia de inverno, calculado através da Equação 9 [h/dia];
- T_{mfdo} = Tempo médio de funcionamento de um dia de outono, calculado através da Equação 9 [h/dia];
- T_{mfdp} = Tempo médio de funcionamento de um dia de primavera, calculado através da Equação 9 [h/dia];
- T_{mfdv} = Tempo médio de funcionamento de um dia de verão, calculado através da Equação 9 [h/dia].

Caso não se verifique correlação entre o consumo de energia elétrica com a temperatura ambiente média das estações, infere-se que se deva efetuar medições ao longo das 24 horas do dia, durante uma semana, em qualquer época do ano. Entretanto, a metodologia para esta con-

dição extrapola o escopo desta dissertação e fica como sugestão para trabalhos futuros.

Os aparelhos de ar condicionado de janela, eventualmente existentes, devem ter seus consumos estimados a partir da potência instalada, da estimativa do tempo médio de funcionamento por dia e do número de dias de funcionamento por ano. A potência instalada deve ser obtida com base em medições a serem realizadas em pelo menos um aparelho de cada capacidade de refrigeração.

Para a determinação do tempo médio de funcionamento por dia e do número de dias de funcionamento por ano, deve-se entrevistar os funcionários dos ambientes onde os ar condicionados estão instalados, de forma a se conhecer a rotina do expediente a cada dia da semana e dos dias ao longo de um ano. Desta forma, o consumo anual com ar condicionado de janela deve ser calculado por meio da Equação 12.

$$C_{acj} = \sum_{j=1}^n P_{inst_n} \cdot T_{mfd_n} \cdot N_{dfa_n} \quad (12)$$

Onde:

C_{acj} =	Consumo anual estimado com ar condicionado de janela [kWh];
P_{inst} =	Potência instalada de cada aparelho de ar condicionado de janela [kW];
T_{mfd} =	Tempo médio de funcionamento por dia [h];
N_{dfa} =	Número de dias de funcionamento por ano [dia];
n =	Número que representa cada ar condicionado de janela existente.

O consumo geral anual estimado do sistema de ar condicionado deve ser calculado, portanto, pela equação 13.

$$C_{ac} = C_{acc} + C_{acj} \quad (13)$$

Onde:

C_{ac} =	Consumo anual geral estimado do sistema de ar condicionado [kWh];
C_{acc} =	Consumo anual estimado com ar condicionado central [kWh];
C_{acj} =	Consumo anual estimado com ar condicionado de janela [kWh].

3.3.3 Ar Comprimido e Fábrica de Oxigênio

O sistema de ar comprimido conjuntamente com a fábrica de oxigênio, geralmente fornece ar seco e filtrado como meio auxiliar para operação dos aparelhos de respiração controlada para as salas de cirurgia e parto, salas de recuperação pós-operatória, salas de cuidado intensivo e para a pediatria. Nos laboratórios é usado para secagem de materiais.

O consumo anual da central de ar comprimido deverá ser estimado através da Equação 14. Baseia-se na potência absorvida pelos equipamentos, no tempo médio de funcionamento diário e no número de dias de funcionamento por ano. O tempo médio de funcionamento diário deverá ser obtido por cálculo, ao se dividir o consumo registrado durante 24 horas de medição, pela potência absorvida pelos equipamentos. A quantidade de dias de funcionamento por ano deve ser obtida com a gerência de manutenção.

Deverão ser feitas medições de forma a aferir os cálculos com o consumo real, entre quatro e sete dias consecutivos. A determinação da quantidade exata de dias a serem adotados para o monitoramento deve ser definida após a verificação do comportamento da variação do consumo dos quatro primeiros dias. Caso o consumo seja homogêneo, quatro medições bastam, caso se verifique variações mais intensas de consumo entre os dias monitorados, deve-se efetuar a monitoração dos demais dias. As medições durante estes dias servirão para referendar o tempo de funcionamento diário obtido e verificar eventuais mudanças de comportamento nos dias da semana.

$$C_a = P_{\text{absorv}} \times T_{\text{mfd}} \times N_{\text{dfa}} \quad (14)$$

Onde:

C_a = Consumo anual estimado [kWh];

P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos, calculada pela Equação 7 [kW];

T_{mfd} = Tempo médio de um dia de funcionamento, calculado pela Equação 9 [h/dia].

N_{dfa} = Tempo de dias de funcionamento por ano [dia].

3.3.4 Produção de Vácuo

O vácuo tem aplicação em hospitais para fins de drenagem, aten-

dendo as salas de operação, partos, salas de recuperação pós-operatória, cuidados intensivos, emergência, berçários e pediatria. O consumo anual da central de vácuo deverá ser estimado utilizando-se a Equação 14, de forma idêntica à seção 3.3.3, porém, não são necessárias medições durante vários dias, uma vez que o funcionamento desta central, em geral, é mais uniforme em todos os dias da semana. Bastando, portanto, que seja realizada medições apenas durante um dia.

3.3.5 Exaustão e Ventilação Mecânica

O sistema de ventilação objetiva insuflar ar da área externa para alguns ambientes, com vistas à renovação permanente do volume de ar no interior. O sistema de exaustão funciona de forma semelhante, porém a principal finalidade deste é exaurir para o meio externo o ar poluído de certos ambientes, como cozinha, laboratórios, banheiros, entre outros.

O consumo anual do sistema de ventilação e exaustão deverá ser estimado através da Equação 14. Baseia-se na potência absorvida pelos equipamentos, no tempo médio de funcionamento diário e no número de dias de funcionamento por ano. O tempo médio de funcionamento diário e a quantidade de dias de funcionamento por ano deverão ser obtidos através de entrevista com a gerência de manutenção.

3.3.6 Geração de Água Quente e Vapor

O sistema de geração de água aquecida e vapor em instalações hospitalares tem o objetivo fornecer estes fluidos para vários setores. Entre eles, para a lavanderia, para a esterilização de suprimentos cirúrgicos, para banho de pacientes e funcionários e para cocção de alimentos. Existem, em geral, dois equipamentos para esta finalidade: as caldeiras, que fornecem vapor em grande volume e os *boilers* que funcionam como retaguarda, para aquecimento de água, em caso de defeito no sistema de caldeiras ou como meio auxiliar adicional para suprimento de água aquecida.

Os equipamentos consumidores de energia elétrica, nas caldeiras, são basicamente os motores elétricos para bombeamento de água e combustível. O consumo anual das caldeiras deve ser estimado conforme a Equação 14, utilizando-se a mesma metodologia informada em 3.3.3, entretanto, devem ser feitas medições de forma a aferir as estimativas com o consumo real, durante dois dias consecutivos. As medições durante dois dias servirão também para referendar o tempo de funcionamento diário informado.

Os chamados *boilers* são reservatórios de água, aquecidos através de resistores elétricos e controlados por termostatos e/ou *timers*. O consumo dos *boilers* normalmente é de fácil determinação. Uma vez ligados, drenam uma potência constante da rede elétrica. O consumo anual deve ser estimado conforme a Equação 15, utilizando-se a mesma metodologia informada em 3.3.3. Baseia-se na potência absorvida pelos resistores, no tempo médio de funcionamento por dia e no número de dias de funcionamento por ano. O tempo médio de funcionamento diário deve ser obtido por cálculo, através da razão entre o consumo registrado, durante 24 horas consecutivas de consumo, no verão e no inverno, pela potência absorvida pelos resistores.

A medição durante 24 horas visa contemplar os momentos que os resistores são ligados e desligados pelos termostatos e/ou *timers*, gerando, portanto, o consumo médio diário. A medição no verão e no inverno objetiva verificar se as variações de consumo nestas duas estações, uma vez que o acionamento pelos termostatos pode ter influência da temperatura ambiente média. Preferencialmente, as medições devem ser realizadas em dias próximos aos solstícios de verão e inverno, pelos motivos já expostos na seção 3.3.2. A quantidade de dias de funcionamento por ano deve ser obtida com a gerência de manutenção.

$$C_{\text{boiler}} = P_{\text{absorv}} \times (T_{\text{mfdi}} \times N_{\text{dio}} + T_{\text{mfdv}} \times N_{\text{dpv}}) \quad (15)$$

Onde:

C_{boiler}	Consumo anual estimado dos <i>boilers</i> [kWh];
P_{absorv}	Potência total absorvida pelos equipamentos, calculada pela Equação 7 [kW];
T_{mfdi}	Tempo médio de funcionamento de um dia de inverno [h/dia];
T_{mfdv}	Tempo médio de funcionamento de um dia de verão [h/dia];
N_{dio}	Número de dias que compõem o inverno e o outono, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nestas estações [dia];
N_{dpv}	Número de dias que compõem a primavera e o verão, subtraído da fração que representa em dias a quantidade de horas paradas para manutenção e/ou defeito nestas estações [dia].

Admitiu-se que o consumo de um dia de verão represente o con-

sumo médio das estações quentes (primavera e verão) e que um dia de inverno represente o consumo médio das estações frias (inverno e outono).

3.3.7 Exames Clínicos

Os exames clínicos são realizados em hospitais utilizando-se equipamentos para auxílio à diagnose, tais como tomógrafos, aparelhos de raios-x, aparelhos de ecocardiografia, aparelhos de ultrassonografia, dentre outros. Diversos dos citados equipamentos são conectados diretamente às tomadas, tendo seus consumos avaliados conforme metodologia descrita na seção 3.3.1. Nesta seção dar-se-á ênfase apenas aos equipamentos que têm circuitos exclusivos de alimentação e por conseguinte têm um consumo individual mais representativo no sistema elétrico, quais sejam, os tomógrafos e os aparelhos de raios-x.

O consumo anual dos tomógrafos e aparelhos de raios-x deve ser estimado através da Equação 16. Baseia-se na potência absorvida pelos equipamentos, no tempo médio de funcionamento por exame e no número de exames realizados por ano. O tempo médio de funcionamento por exame deve ser obtido através de entrevista com os operadores dos aparelhos. O número de exames realizados por ano deve ser obtido com o setor de estatística hospitalar. A medição da potência absorvida segue o mesmo método informado na seção 3.3.3.

Devem ser feitas medições de forma a aferir os cálculos com o consumo real, durante pelo menos dez exames de tomografia e dez de raios-x.

$$C_{ex} = P_{absorv-rx} \cdot T_{mfe-rx} \cdot N_{era-rx} + P_{absorv-t} \cdot T_{mfe-t} \cdot N_{era-t} \quad (16)$$

Onde:

C_{ex} = Consumo anual estimado dos tomógrafos e aparelhos de raios-x [kWh];

$P_{absorv-rx}$ = Potência total absorvida pelos equipamentos de raio-x, calculada através da Equação 7 [kW];

T_{mfe-rx} = Tempo médio de funcionamento por exame de raio-x [h];

N_{era-rx} = Número de exames de raio-x realizados por ano;

$P_{absorv-t}$ = Potência total absorvida pelos equipamentos de tomografia, calculada através da Equação 7 [kW];

T_{mfe-t} = Tempo médio de funcionamento por exame de tomografia [h];

N_{era-t} = Número de exames de tomografia realizados por ano.

Caso existam vários equipamentos com potências diferentes entre si, deve-se calcular a média aritmética das mesmas, sendo esta considerada como a potência absorvida.

3.3.8 Transporte Vertical

O consumo anual do sistema de transporte vertical (elevadores) deve ser calculado conforme a Equação 17. Baseia-se na potência média absorvida pelos motores quando em movimento (subindo ou descendo), no tempo médio de funcionamento por dia e na quantidade de dias de funcionamento por ano. O tempo médio de funcionamento diário deve ser obtido por cálculo, ao se dividir o consumo registrado durante sete dias consecutivos pela potência média absorvida pelos motores durante as viagens.

A obtenção da potência absorvida não é uma tarefa fácil, uma vez que os motores trabalham sob um regime de funcionamento muito variável. Ora eles estão arrancando os elevadores na subida, ora estão freando-os na descida, ora estão acelerando no trajeto, ora estão parados. Para efeito de obtenção da potência média absorvida, recomenda-se calcular o fator de carga, conforme Equação 8, durante a viagem de subida e de descida. A média entre a potência absorvida na subida e na descida, pode ser considerada como a potência média absorvida pelo elevador, quando em movimento, obviamente.

Esta recomendação é tão somente para que se tenha tempo hábil de medir as correntes nominais, o que é inviável durante os ciclos de partidas/paradas. A quantidade de dias de funcionamento por ano deve ser obtida com a gerência de manutenção, a partir do histórico de tempo parado para manutenções.

As medições durante sete dias servirão para referendar o tempo de funcionamento diário obtido e verificar se há mudanças de comportamento do uso deste tipo de transporte ao longo dos dias da semana. A medição da potência absorvida segue o mesmo método informado na seção 3.3.3.

$$C_{\text{elev}} = P_{\text{absorv}} \times T_{\text{mfd}} \times N_{\text{dfa}} \quad (17)$$

Onde:

C_{elev} = Consumo anual estimado dos elevadores [kWh];

P_{absorv} = Potência média absorvida pelos motores, durante as viagens, calculada a partir da Equação 7 [kW];

T_{mfd}	Tempo médio de um dia de funcionamento, em condições nominais, calculado através da Equação 9 [h/dia];
N_{dfa}	Número de dias de funcionamento por ano.

3.3.9 Lavanderia

O consumo anual com a lavanderia deve ser estimado conforme a Equação 14, utilizando-se a mesma metodologia informada em 3.3.3. O tempo médio de funcionamento diário deve ser obtido por cálculo, ao se dividir o consumo registrado durante 24 horas de medição, pela potência absorvida pelos equipamentos.

Devem ser feitas medições de forma a aferir os cálculos com o consumo real, durante sete dias consecutivos. As medições durante sete dias servirão para referendar o tempo de funcionamento diário obtido e verificar se há mudanças de comportamento do consumo ao longo dos dias da semana.

3.3.10 Cocção de Alimentos

O consumo anual da cozinha com o preparo e cocção de alimentos, deve ser estimado conforme a Equação 14, utilizando-se a mesma metodologia informada em 3.3.3. O tempo médio de funcionamento diário e o número de dias de funcionamento por ano devem ser obtidos a partir de entrevista com a chefia do setor.

Como auxílio à cozinha, a câmara frigorífica, armazena sob baixas temperaturas, carnes, peixes, legumes e outros tipos de alimentos. O consumo anual também deve ser estimado conforme a Equação 14. O tempo médio de funcionamento diário deve ser obtido por cálculo, após se estabelecer a média aritmética do consumo durante 24 horas consecutivas no verão e no inverno. A razão entre o valor da média obtida e a potência absorvida pelos equipamentos, fornecerá o tempo médio de funcionamento diário.

A medição durante 24 horas visa contemplar os momentos que as câmaras são desligadas pelos termostatos, gerando, portanto, o consumo médio diário. A medição no verão e no inverno objetiva calcular a média de consumo nestas duas estações, uma vez que o acionamento dos termostatos pode ter influência da temperatura ambiente média. Preferencialmente, as medições devem ser realizadas em dias próximos aos solstícios de verão e inverno, pelos motivos já expostos na seção 3.3.2. A quantidade de dias de funcionamento por ano deve ser obtida com a gerência de manutenção, em função do tempo parado para manutenção.

3.3.11 Esterilização de Instrumentos e Equipamentos

A esterilização de instrumentos cirúrgicos e outros equipamentos é feita nas autoclaves. O consumo anual deve ser estimado conforme a Equação 14, utilizando-se a mesma metodologia informada em 3.3.3. A quantidade de dias de funcionamento e o tempo médio de funcionamento diário devem ser obtidos a partir de entrevista com os operadores, de forma a conhecer a duração média de um ciclo de funcionamento das máquinas, da quantidade de ciclos por hora e da quantidade de horas de funcionamento por dia.

3.3.12 Hemodiálise

O setor de hemodiálise geralmente possui diversas máquinas, responsáveis por fazer a diálise sanguínea de pacientes com problemas renais crônicos. O consumo anual deve ser estimado conforme a Equação 18, o qual baseia-se na potência total absorvida pelos equipamentos, que deve ser calculada utilizando-se a Equação 7, descrita na seção 3.3.2. O tempo médio de funcionamento diário de cada máquina, o número médio de diálises por dia e a quantidade de dias de funcionamento por ano devem ser obtidos a partir de entrevista com a chefia do setor.

Alerta-se que em domingos, normalmente, a quantidade de diálises diminui consideravelmente, portanto, pode ser necessário que seja calculado o consumo com o sistema de hemodiálise para dias úteis e para domingos, ao longo de um ano. Como o tempo de diálise geralmente é fixo e a potência durante o funcionamento não tem variações significativas, não é necessária a execução de medições de consumo.

$$C_{\text{hemo}} = P_{\text{absorv}} \times T_{\text{mfd}} \times N_{\text{mdd}} \times N_{\text{dfa}} \quad (18)$$

Onde:

C_{hemo} = Consumo anual estimado das máquina de hemodiálise [kWh];

P_{absorv} = Potência total absorvida pelos equipamentos, calculada pela Equação 7 [kW];

T_{mfd} = Tempo médio de funcionamento por diálise [h];

N_{mdd} = Número médio de diálise por dia, por máquina;

N_{dfa} = Número de dias de funcionamento por ano.

3.4 Consumo Anual de Energia Elétrica

A determinação do consumo anual deve ser feita a partir da análise das contas de energia elétrica fornecidas pelo hospital. A partir desta análise é possível também avaliar a evolução do consumo, para tal devem ser disponibilizados o maior número de contas de energia possível. Recomenda-se a análise das contas de pelo menos dos últimos cinco anos. Este período proposto vai ao encontro da determinação do Código Civil Brasileiro, que entrou em vigor em janeiro de 2003, instituído pela lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002, da obrigatoriedade de guarda deste tipo de documento por pelo menos cinco anos para efeitos legais.

A partir da análise será verificada a existência de correlação entre o consumo total de energia e as variações sazonais de temperatura ambiente e entre o consumo e a quantidade de leitos ocupados. Havendo correlações será possível estabelecer indicadores que podem facilitar uma análise rápida a respeito de intervenções nos sistemas. A quantidade de leitos ocupados deve ser obtida com o setor de estatística do hospital, na falta deste com a administração hospitalar. Os valores de temperatura ambiente média devem ser obtidos com os órgãos oficiais, como anteriormente citado.

A análise das contas de energia permitirá também acompanhar a evolução da demanda registrada da instalação. As contas de energia geralmente informam, entre outros dados, o consumo de energia ativa [kWh], a demanda registrada [kW] e a demanda contratada [kW]. Caso a demanda registrada supere o valor contratado em mais de 10%, resulta em cobrança do valor ultrapassado sob uma tarifa majorada em 200%. Portanto, a redução do consumo de energia do sistema de iluminação pode contribuir para evitar ultrapassagens de demanda contratada, desonerando ainda mais os gastos com a conta de energia elétrica.

Raramente as leituras de consumo feitas pela concessionária são efetuadas rigorosamente de 30 em 30 dias. Neste caso é necessário que seja realizada a padronização para 30 dias. Esta padronização é feita calculando-se o consumo médio diário do mês de interesse, multiplicando o resultado por 30. Caso a leitura tenha sido efetuada dentro da primeira quinzena do mês, deve-se utilizar o valor calculado para o consumo padronizado, como equivalente ao mês anterior ao mês-referência da conta de energia, devido ao fato de que o mês anterior teria um peso maior nos valores de consumo. Ao contrário, caso a leitura ocorra na segunda quinzena do mês, o consumo resultante do cálculo da padronização para os 30 dias deve refletir o consumo do mês-referência da conta, devido ao maior peso deste mês no consumo.

Para se estabelecer correlações entre consumo de energia elétrica e variações de temperatura ambiente externa, é necessária a obtenção dos valores médios diários desta última, durante todo o ano. Havendo dificuldades de monitoramento da temperatura ambiente externa durante o ano inteiro no local da pesquisa, seus valores podem ser obtidos através estações oficiais de medição.

No estudo de caso deste trabalho, por não existir uma estação meteorológica na cidade de Betim, optar-se-á por utilizar os valores de temperatura ambiente informados pela CEMIG, com base nas medições feitas na estação climatológica existente em uma de suas subestações elétricas, designada Subestação Barreiro. Esta subestação está localizada no bairro Barreiro, em Belo Horizonte, local mais próximo do ambiente da pesquisa, distante aproximadamente 30km e com características ambientais semelhantes à cidade de Betim.

A citada estação climatológica da CEMIG, coleta as informações de temperatura ambiente através de um termômetro eletrônico com sensor de resistência de platina (Pt-100), faixa de medição -40 a +60 graus Celsius, erro de linearidade menor que $\pm 0,5\%$ graus Celsius, estabilidade com desvio anual menor que 1% e fabricação Vaiasala. As informações são automaticamente gravadas em computadores e geradas planilhas eletrônicas com os valores. Valores estes que serão diretamente empregados nos estudos deste trabalho.

3.5 Ajustes Entre Valores Estimados e Medidos das Grandezas Elétricas

Quando houver necessidade de confronto entre valores estimados e medidos, pode-se tolerar pequenas divergências, entretanto, caso haja discrepâncias significativas, a causa deve ser investigada. Se necessário, devem ser feitos os devidos ajustes, principalmente nos tempos de funcionamento informados pelos entrevistados, pois, segundo Lee (2000), as informações passadas por eles podem conter erros relevantes. Estes erros podem gerar diferenças de até 30% nos resultados, e em última análise, até tornar o projeto economicamente inviável, por exemplo, por subestimar o potencial de economia.

Neste trabalho aceitar-se-á diferenças entre os valores estimados e os medidos de -1,00% a +3,60% para comparação que envolvam medições realizadas com os analisadores já citados neste trabalho e as medições da concessionária, -2,02% a +4,60% para comparações que envolvam medições entre os próprios analisadores e 10% para comparações entre valores obtidos através de diagnóstico energético e medições

efetivas de consumo. Estes valores devem ser adotados por se tratar da possibilidade máxima de erros sistemáticos, próprios dos instrumentos de medição usados, adicionados ao impacto das flutuações de tensão sobre as medições e aos erros na obtenção de tempo de funcionamento de equipamentos, conforme demonstrado no Apêndice 2.

3.6 Avaliação dos Atuais Níveis de Iluminância Artificial

De forma a se avaliar as condições atuais de iluminância e para que se possa estabelecer indicadores que permitam comparações antes e depois do *retrofit*, devem ser medidos os atuais níveis de iluminação. As medições devem ser realizadas em um ambiente típico, escolhido dentre aqueles que tenham necessidades visuais semelhantes. A determinação dos ambientes com necessidades visuais semelhantes deve ser feita com base na norma NBR 5413 (ABNT, 1992). Os valores medidos devem ser comparados com os índices recomendados pela citada norma. As medições devem ser realizadas durante a noite de forma que não sofram influência da luz natural.

As medições de iluminância deverão ser feitas utilizando-se um fotômetro com sensor (fotocélula) com correção ótica. No estudo de caso deste trabalho, será utilizado um luxímetro digital marca Icel, tipo LD500, 3 ½ dígitos, com exatidão de $\pm 2\%$ e resolução de 1 lux para medições até 2.000 lux, inclusive; $\pm 2\%$ e resolução de 10 lux para medições de 2.000 a 20.000 lux, inclusive e $\pm 5\%$ e resolução de 100 lux para medição até 50.000 lux. Estas exatidões são válidas para medições efetuadas na faixa de temperatura de 18 a 28 graus Celsius e umidade relativa do ar não superior a 80%. O laudo de aferição do mesmo é válido até maio de 2010 e sua foto é mostrada na Figura 15(a).

Recomenda-se a monitoração das medições de forma que os valores de temperatura indicados acima não sejam ultrapassados. Neste trabalho a monitoração será feita através de um relógio termo-higrômetro digital, marca Minipa, tipo MT-242, mostrado através da Figura 15(b).



(a) Luxímetro.



(b) Relógio termo-higrômetro.

Figura 15. Equipamentos de medição.

3.6.1 Metodologia de Medição

Caso o hospital em análise tenha ambientes que se enquadrem no padrão regular definido pela norma pela NBR 5382 (ABNT, 1985), ou seja, que dentre outras características, tenham formatos retangulares e sejam iluminados com fonte de luz em padrão regular, deve-se utilizar os procedimentos de medição da citada norma.

Ressalta-se entretanto, que a referida norma não sugere critérios para medição de iluminância para ambientes cuja iluminação não seja oriunda do teto. Como em hospitais esta situação ocorre com frequência, por exemplo, na iluminação instalada na parede, sobre os leitos, sugere-se a adoção do mesmo procedimento de medição de iluminâncias originadas por luminárias instaladas nos tetos, devido à falta de outros procedimentos oficiais.

Em ambientes, onde o padrão regular inexistente, como ocorre com a maioria dos ambientes do HPRB, objeto do estudo de caso, a quantidade mínima de pontos a serem medidos deve obedecer à Tabela 11.

Tabela 11. Quantidade mínima de pontos a serem medidos.

K	Número de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K > 3$	36

Fonte: NBR 15215-4 (ABNT, 2005)

O valor de K é o índice de ambiente, que deve ser calculado através da Equação 19. A média aritmética das medições nos pontos deve

ser considerada como a iluminância média do recinto. Esta forma alternativa de determinação da iluminância média será denominada arbitrariamente de ‘medição de iluminância pela NBR 15215-4’.

$$K = \frac{C.L}{H_m.(C + L)} \quad (19)$$

Onde:

K = índice do ambiente;

C = maior comprimento do ambiente [m];

L = maior largura do ambiente [m];

H_m = distância vertical entre a superfície de trabalho e a luminária [m].

O procedimento supra citado é parte da metodologia para determinação de iluminância natural média, estabelecido pela norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005), a qual sugere também que o recinto seja dividido em polígonos de formato o quanto mais próximo de um quadrado, de sorte que a medição da iluminância ocorra no centro do mesmo. No estudo de caso desta dissertação, além de obedecer à quantidade mínima de pontos, conforme Tabela 11, os polígonos terão formato retangular, onde a relação do comprimento pela largura, não supere a razão de 2:1. A Figura 16(a) mostra, como exemplo, a divisão de um ambiente para as medições de iluminância, com dimensões de 8,7 x 7,2m, tendo cada célula de medição, dimensões de aproximadamente 2,2 x 1,8m. Os pontos indicados como P1 a P16 na Figura 16(a) referem-se ao valor da iluminância obtida no centro de cada célula.

Para validar esta forma de medição devem ser feitas medições de alguns ambientes que se enquadrem nos formatos regulares definidos pela NBR 5382 (ABNT, 1985), se existirem, através dos dois métodos (método da NBR 15215-4 e método da NBR 5382). Para os valores resultantes deverá ser feito um estudo estatístico de prova de hipóteses com respeito a duas médias, de forma a se determinar se as médias são semelhantes e com qual significância os são.

Através da Figura 16(b) pode-se observar o mesmo ambiente hipotético mostrado na Figura 16(a), porém indicando por meio dos pontos coloridos (P1 a P18) a posição do luxímetro para a medição das iluminâncias em consonância com a norma NBR 5382.

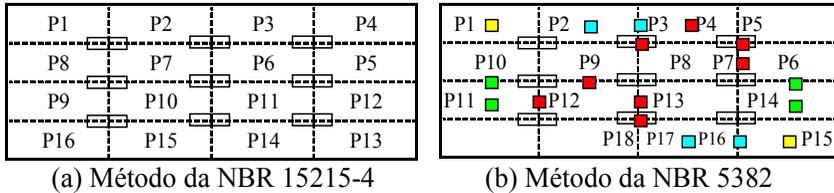


Figura 16. Medição de iluminância em um ambiente típico.

3.6.2 Escolha dos Ambientes de Medição

Geralmente nos hospitais existe uma quantidade muito grande de ambientes, tornando muito oneroso, em função do tempo necessário, a medição dos atuais níveis de iluminância artificial em todos eles.

A metodologia aqui proposta para escolha dos ambientes a serem monitorados, consiste em agrupá-los segundo a necessidade de iluminação, para seis faixas de índice de ambiente (K), duas a mais que a sugerida pela norma de iluminação natural NBR 15215-4 (ABNT, 2005) de forma que uma diversidade maior de ambientes possa ser contemplada (ver Tabela 12). O critério para determinação da necessidade de iluminação, baseia-se na norma NBR 5413 (ABNT, 1992), a qual em suas especificações divide o tipo de atividade visual em três classes (A, B e C). Cada classe é dividida em categorias, segundo o tipo de atividade a ser exercida, denominadas por este autor de sub-classes A1 a A4; B1 a B2 e C1 a C3.

Desta forma deve-se agrupar os ambientes do hospital, segundo o nível de iluminância requerido. Para cada nível de iluminância requerido, deve-se encontrar ambientes típicos que atendam aos índices de ambiente indicados na Tabela 12.

Tabela 12. Índices de ambiente adotados para seleção dos ambientes a serem monitorados.

$$K \leq 0,5$$

$$0,5 < K \leq 1,0$$

$$1,0 < K \leq 1,5$$

$$1,5 < K \leq 2,0$$

$$2,0 < K \leq 3,0$$

$$K > 3,0$$

Propõe-se também que sejam tomadas medições em alguns pontos da iluminação externa de forma a se verificar se os atuais níveis de

iluminância são suficientes para garantir o trânsito de pessoas com segurança. Caso as luminárias, lâmpadas e reatores existentes sejam de baixa eficiência energética, pode-se propor a substituição de todo o conjunto por equipamentos mais modernos e eficientes. Entretanto, devido à dificuldade e custo elevado para substituição das luminárias externas, pode ser realizado um estudo luminotécnico mantendo-se as luminárias existentes e substituindo apenas as lâmpadas e reatores. Neste caso, obviamente, as luminárias devem permitir que as novas lâmpadas possam ser instaladas normalmente e que a redução da potência instalada produzam níveis de iluminâncias maiores ou no mínimo iguais à atual situação.

No estudo de caso deste trabalho, serão utilizados o estacionamento e uma rua existente na fachada leste do estabelecimento como referências para as medições. A escolha dos dois ambientes é devido ao primeiro ser iluminado por lâmpadas instaladas em postes de 25m de altura e ao segundo em postes de 9m que devido à altura elevada dificultam a iluminação do solo. Os pontos de medição devem ser escolhidos de tal sorte que contemple os locais onde há o maior movimento de pessoas.

3.6.3 Ambientes Especiais de Medição

Pelo fato de serem ambientes de acesso restrito, as enfermarias e as salas de cirurgias são consideradas aqui como ambientes especiais para medição de iluminâncias.

Nas enfermarias é necessário que exista iluminação suficiente sobre o leito de forma que os enfermeiros e médicos possam medicar e examinar os pacientes. A norma NBR 5413 (ABNT, 1992) sugere que sobre o leito haja uma iluminância entre 150 e 300 lux e que a iluminação geral produza iluminâncias entre 100 e 200 lux, alerta-se porém, que a mesma somente referencia quartos particulares. Observa-se também que na citada norma não há especificação sobre níveis de iluminação que devem ser mantidos durante o período noturno.

Normalmente as enfermarias possuem mais de um leito e obviamente mais de um paciente por quarto. Este autor considera que uma iluminação geral mais alta possa incomodar um ou outro paciente, pois, conforme visto na revisão bibliográfica, as pessoas tendem a se dividir em fotofóbicas e fotófilas, portanto, será considerado como a iluminância adequada, o menor nível de iluminação apresentado pela ABNT para quartos particulares, quer seja 100 lux. Caso algum paciente se sinta desconfortável com tal nível iluminação tem-se a opção de complementá-la, para o seu melhor conforto, com a luz de seu próprio leito.

Além disto, raramente em uma enfermaria hospitalar há alguma atividade que demande alta velocidade e precisão na sua execução, o que torna o valor do peso para determinação da iluminação adequada, conforme tabela 2 da citada norma da ABNT, situar-se entre -2 e -3, implicando na possibilidade de utilização do menor valor da faixa proposta de níveis de iluminância, supondo que a refletância do fundo da tarefa não seja inferior a 30%.

Naturalmente os trabalhos da equipe médica e de enfermagem dentro de uma enfermaria exigem maior precisão em sua execução, entretanto, a iluminação nestas ocasiões pode ser suplementada pela luminária do próprio leito do paciente sob exame.

Como não há especificações de iluminação noturna para circulação em hospitais, considerar-se-á necessário também que o ponto de luz de cada leito adicionado ao ponto auxiliar (iluminação geral) produzam uma quantidade de iluminação adequada em todo o ambiente, para que o paciente possa se locomover no recinto com segurança, por exemplo, para acessar o banheiro.

Desta forma, para o hospital, objeto do estudo de caso deste trabalho, deseja-se que qualquer ponto de iluminação existente (p1, p2, p3 ou p4) adicionado ao ponto p5, promova um nível mínimo de iluminação no local A1, indicado na Figura 17, entre 5 e 20 lux, conforme recomendado por Philips (1981).

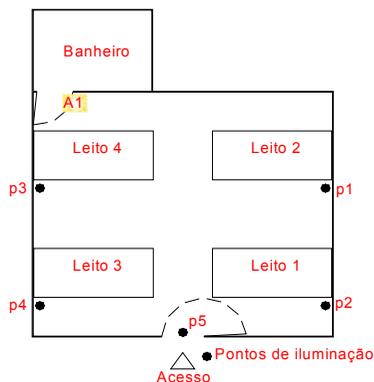


Figura 17. Arranjo típico de uma enfermaria com a indicação dos pontos de iluminação.

O local A1 foi escolhido por representar o ponto mais distante em relação às lâmpadas mais remotas. Neste ponto o paciente deverá enxer-

gar com facilidade a maçaneta da porta de acesso ao banheiro.

Devido às dificuldades de acesso e permanência em salas de cirurgia, o nível de iluminância destes ambientes não precisa necessariamente ser medido. Pode-se calculá-lo com base no sistema de iluminação atualmente existente. Deve-se fazer uma comparação entre os valores calculados e os níveis mínimos de iluminação recomendados pela ABNT, respeitadas suas determinações ou critérios especificados, a qual propõe iluminâncias que variam de 300 a 750lux.

Constatando-se que os valores calculados superam os valores mínimos, existe a possibilidade de redução dos atuais níveis de iluminação. Para tal é necessário que seja feita uma pesquisa com os médicos e enfermeiros sobre suas percepções com relação ao conforto luminoso deste ambiente. Eles devem preencher um questionário sobre como se sentem em relação ao nível de iluminação do ambiente: iluminação excessiva, iluminação alta, iluminação confortável, iluminação baixa e iluminação insuficiente. O modelo de planilha utilizado para a realização da pesquisa encontra-se no Apêndice 3.

Se a pesquisa indicar que a iluminação atual está alta ou excessiva e o cálculo da mesma apontar para valores superiores ao mínimo recomendado pela ABNT, pode ser feito o cálculo da nova iluminação considerando-se uma redução para o valor mínimo recomendado pela norma, respeitadas os critérios por ela estabelecidos. Se for indicado iluminação confortável, deve ser feito o novo cálculo, utilizando-se equipamentos eficientes, mantendo-se o mesmo valor obtido para o sistema atual desde que não inferior à recomendação da NBR 5413 (ABNT, 1992).

Por outro lado, se a pesquisa apontar que a iluminação atual está baixa ou insuficiente e os cálculos indicarem que os atuais níveis de iluminância atendem às determinações normativas, deve-se discutir com a direção do estabelecimento de forma a se proceder ou não os novos cálculos utilizando-se equipamentos energeticamente eficientes, considerando-se uma majoração dos valores sobre aqueles medidos.

3.7 Elaboração do Novo Projeto Luminotécnico

Após a avaliação da condição atual do sistema de iluminação e da necessidade de realização do *retrofit*, deve ser feito um novo projeto luminotécnico, cujo método de cálculo utilizado poderá ser o do ponto-a-ponto e/ou dos lumens, cada um aplicado conforme as características e necessidades de cálculo de cada ambiente. Recomenda-se que os cálculos sejam auxiliados por ferramentas computacionais.

Para a utilização dos *softwares* de cálculo luminotécnico é necessário possuir o arquivo fotométrico digital da luminária a ser utilizada, o qual contém dados como dimensões e intensidades luminosas em várias direções. Estes dados são utilizados pelos *softwares* no cálculo da iluminância ponto-a-ponto. Os arquivos fotométricos digitais são padronizados em alguns formatos, sendo que os mais conhecidos e internacionalmente aceitos são o IES, de origem norte-americana e o formato EULUMDAT, mais usado na Europa.

A maioria dos fabricantes nacionais de luminárias não dispõe de arquivos digitais de seus produtos, entretanto, este fato, a princípio, não é impeditivo para a não realização dos cálculos de iluminâncias. Desde que se disponha dos dados fotométricos e das dimensões da luminária, que podem ser obtidos em catálogos ou diretamente com os fabricantes, pode-se construir o arquivo digital.

Alerta-se, contudo, que alguns fabricantes não disponibilizam dados fotométricos suficientes para a elaboração de forma consistente de cálculos luminotécnicos, nem mesmo através do método dos lumens. O uso de catálogos de modelos similares, como sugerido por alguns fabricantes, não é aconselhável, pois cada luminária de cada fabricante pode possuir características particulares. Outros fabricantes possuem os dados digitais de seus produtos, porém os mesmos estão incorporados a *softwares* exclusivos.

Dentre alguns *softwares* avaliados, foram escolhidos dois para utilização neste trabalho, quais sejam, o Lumdat, disponibilizado pela companhia inglesa Peters Research, utilizado para a construção de arquivos fotométricos e o Dialux®, utilizado para realizar os cálculos de iluminância. O arquivo fotométrico é um arquivo de texto com informações sobre a luminária. A utilização do *software* Lumdat permite sua construção nos formatos do IES, EULUMDAT ou CIBSE, em uma interface gráfica. No estudo de caso deste trabalho será usada a versão 2.10, obtida gratuitamente em Lumdat (2009).

O *software* Dialux® foi desenvolvido na Alemanha com o patrocínio de um grupo de 35 empresas do setor de iluminação e é considerado referência para cálculo de iluminância (TEIXEIRA, 2003). Este programa, obtido gratuitamente em Dialux (2009), permite o uso de luminárias de qualquer fabricante desde que estejam disponíveis suas informações fotométricas nos formatos normalizados. Apresenta uma série de vantagens, entre elas o cálculo de iluminâncias de áreas irregulares e a determinação de iluminâncias em qualquer plano, que possibilita, por exemplo, determinar o valor das iluminâncias sobre um leito hospitalar ou sobre quadros de aviso afixados em paredes.

Deve ser abordada também a questão do posicionamento das luminárias quanto ao seu sentido de instalação (transversal ou longitudinal), mediante a análise do posicionamento dos usuários no recinto e da curva de distribuição do fluxo luminoso das luminárias.

Devem ser realizadas medições de iluminação natural e caso as medições apontem para o seu aproveitamento, tanto a potência das luminárias mais próximas à fonte de luz natural quanto a divisão de circuitos devem ser analisados. Esta última é importante, no sentido que se possa prever condições para desligar as lâmpadas de determinadas fileiras, quando a iluminação natural supra total ou parcialmente os níveis necessários. É também um requisito mínimo para que o estabelecimento possa ser classificado como A ou B, quanto à eficiência energética, segundo o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).

O objetivo do projeto luminotécnico é a elaboração de reengenharia sobre o sistema de iluminação, desta feita empregando-se componentes eficientes energeticamente e enquadrando cada ambiente nos níveis mínimos de iluminância recomendados pela norma NBR 5413 (ABNT, 1992) ou no caso de omissões desta, por recomendações de entidades como a Philips, CEI e outras já citadas nesta dissertação. Para a elaboração do projeto luminotécnico de forma bastante criteriosa e específica para os ambientes de interesse são necessários alguns outros levantamentos, abordados nas próximas seções.

3.7.1 Escolha dos Ambientes Representativos para os Cálculos Luminotécnicos

Para a escolha dos ambientes que serão usados como referência para o cálculo dos níveis de iluminância, baseado em equipamentos eficientes, utilizar-se-á os mesmos critérios definidos na seção 3.6.2, que trata da seleção dos ambientes representativos para medição da atual iluminância, pelos mesmos motivos lá colocados, resumido nos próximos parágrafos. Isto permitirá que possam ser feitas comparações entre os níveis de iluminância antes da realização do *retrofit* e os níveis pós-*retrofit*.

Pelos mesmos motivos apresentados na seção 3.6.2, torna-se muito oneroso, em função do tempo necessário, a elaboração do cálculo luminotécnico individual para cada ambiente. Da mesma forma que na seção supra citada, propõe-se que os ambientes sejam agrupados segundo a necessidade de iluminação, para seis faixas de índice de ambiente (K).

O critério para determinação da necessidade de iluminação, baseia-se na norma NBR 5413 (ABNT, 1992), de forma idêntica àquela exposta na seção 3.6.2. Entretanto, ressalta-se que na citada norma já existe uma série de ambientes hospitalares com os valores mínimos de iluminâncias sugeridos. Outros ambientes hospitalares, mesmo que não constem na ABNT como ambiente hospitalar, podem ter os níveis mínimos de iluminâncias selecionados baseados em ambientes com atividades visuais semelhantes.

3.7.2 Medição das Refletâncias das Superfícies dos Ambientes

Para uma maior precisão dos cálculos luminotécnicos, ao invés de se utilizar valores médios de refletância tabelados, sugere-se que sejam realizadas medições, utilizando-se por exemplo, um espectrofotômetro ou o método do papel branco, conforme descrito por Ghisi (1997). A vantagem deste último em relação ao uso do espectrofotômetro está na utilização dos próprios luxímetros utilizados para as medições de iluminâncias. Pelo citado método, as medições devem ser realizadas utilizando-se um luxímetro e uma folha de papel branco. Mede-se a iluminância refletida pela superfície, posicionando-se a fotocélula do luxímetro a 10 cm da mesma. Em seguida repete-se a operação, porém cobrindo a superfície com o papel branco. Admitindo-se a refletância do papel branco de 90%, a refletância da superfície pode ser calculada utilizando-se a Equação 20.

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{90 \cdot E_{\text{sup}}}{E_{\text{pb}}} \quad (20)$$

Onde:

ρ_{sup} = refletância da superfície [%];

E_{sup} = iluminância da superfície [lux];

E_{pb} = iluminância da superfície coberta pelo papel branco [lux].

No estudo de caso deste trabalho, serão realizadas pelo menos cinco medições para cada superfície. Para a medição nas paredes, deve-se escolher a menos obstruída por móveis, armários ou outros objetos. Caso haja paredes com cores ou tonalidades distintas, deve-se efetuar as medições em todas elas. Preferencialmente as medições devem ser feitas próximo aos cantos superiores e inferiores esquerdo e direito, além de uma medição no centro da parede, de sorte que sejam tomados pontos sobre toda a superfície.

Para a medição nos tetos, deve-se escolher os pontos de forma que sejam feitas também medições em toda a superfície, embora esta seja uma situação prática difícil de ocorrer, devido à interferência dos móveis e objetos para posicionamento de escada. De forma similar à medição dos tetos, deve-se efetuar a medição nos pisos, de maneira a contemplar toda a superfície, quando possível.

Os pontos de medição devem ser cuidadosamente escolhidos, para que se evite a ocorrência de valores espúrios. Finalmente, deve ser calculada a média aritmética dos valores obtidos para cada superfície, cujo resultado representará a refletância média das mesmas.

3.7.3 Escolha dos Equipamentos de Iluminação

No mercado brasileiro existe uma enorme diversidade de modelos de equipamentos (luminárias, lâmpadas, reatores) eficientes para iluminação. Embora haja também uma quantidade de fornecedores relativamente grande, alguns produtos fabricados por eles têm qualidade duvidosa, haja vista a falta de informações suficientes para uma análise técnica adequada.

Embora deseje-se que os equipamentos de iluminação tenham qualidade máxima, o que é encontrada em determinado produto de um fabricante específico, há um fator limitador para aquisição do mesmo pelo setor público. A aquisição deste tipo produto por órgãos públicos, como é o caso do hospital público regional de Betim, deve ser realizada de acordo com a lei 8.666/93, conhecida como 'lei das concorrências públicas'. Esta lei proíbe a especificação de referências e marcas, de forma que toda compra deve ser feita através concorrência e cuja documentação deve conter apenas as características técnicas desejadas. O vencedor da concorrência é aquele fornecedor que ofereça produtos que atendam na íntegra as especificações técnicas e que tenha o menor preço.

Para estar em consonância com a regulamentação governamental, deve-se, portanto, reunir as características desejáveis dos equipamentos de iluminação. A partir destas características, busca-se no mercado, através de catálogos, equipamentos que as atendam integralmente.

Com os equipamentos pré-definidos deve-se fazer uma cotação de preços. O fabricante que apresentar o menor preço para os equipamentos de iluminação especificados, deve ter as características de seus equipamentos usados nos cálculos luminotécnicos. Não procedendo-se desta maneira, pode ocorrer de se fazer um projeto luminotécnico com o estado da arte em termos de equipamentos de iluminação e os resultados

após a implantação podem ser muito aquém dos esperados.

Logo, nas próximas seções, serão estabelecidas as características mínimas desejáveis dos equipamentos e com base nela deve ser feita a seleção dos equipamentos de iluminação.

3.7.3.1 Escolha das Lâmpadas

As lâmpadas devem ser escolhidas principalmente em função de sua eficiência luminosa e da vida útil. De forma a produzirem iluminação adequada a cada tipo de ambiente, a temperatura de cor correlata (TCC) e o índice de reprodução de cores (IRC) também devem ser considerados. Não obstante as características supra citadas, as lâmpadas devem ser encontradas com facilidade no mercado nacional.

Utilizando-se das recomendações de CEI (2001), para iluminação eficiente, as lâmpadas fluorescentes tubulares a serem utilizadas devem ter a eficiência mínima de 80 lm/W, enquanto que para as compactas aceita-se eficiência mínima de 65 lm/W.

Nota-se que a maioria dos catálogos não trazem dados de vida útil das lâmpadas, apenas de vida mediana. Outros trazem dados de vida útil e não mencionam nada sobre vida mediana. Embora sejam conceitos diferentes, dá-se a impressão que os fabricantes não têm o conhecimento nítido da diferença entre ambos, pois em páginas distintas dos catálogos, alguns fabricantes relatam a mesma grandeza, ora definindo-a como vida útil, ora como vida mediana. Embora fosse importante que se conhecesse as duas grandezas para a comparação entre os produtos, para efeito de cálculo de viabilidade econômica, este trabalho considerará a grandeza informada como sendo vida útil, exceto quando o catálogo trouxer informações das mesmas distintamente.

De forma a terem uma duração razoável, dar-se-á preferência às lâmpadas que tenham vida mediana mínima, a princípio, de 7.500 horas. Dar-se-á preferência às lâmpadas de temperatura de cor correlata entre 4000 e 5300K e índice de reprodução de cores não inferior a 80, conforme recomendado por AS/NZS (1997) e CEI (2001), pois estes valores permitem que os pacientes se vejam com aspecto natural, além de favorecer o reconhecimento de doenças através dos tons de pele pela equipe médica.

A partir das características acima citadas, deve-se fazer uma pré-seleção das lâmpadas, utilizando-se como parâmetro de pesquisa aqueles fabricantes que tiveram suas marcas mais lembradas quanto à qualidade e ao mesmo tempo foram as mais vendidas no ano anterior à pesquisa. No estudo de caso deste trabalho, optar-se-á por utilizar fabricantes que

reúnem as características supra citadas para o ano de 2009, segundo a revista Eletricidade Moderna (2009, 2010). Portanto, a pré-seleção deve ocorrer com base nos parâmetros concatenados na Tabela 13.

Tabela 13. Características desejadas para a pré-seleção das lâmpadas.

	Florescentes Tubulares	Florescentes Compactas
Eficiência	≥ 80 lm/W	≥ 65 lm/W
Vida mediana	≥ 7.500h	≥ 7.500h
IRC	≥ 80%	≥ 80%
TCC	3300 a 5300K	3300 a 5300K
Bulbo	T8 ou T5	PL 4 pinos
Potência	32W ou 28W	9, 18 e 26W

Como pode ser observado na Tabela 13, optar-se-á por concentrar os estudos sobre as lâmpadas tubulares de potência 32W, bulbo T8 e 28W, bulbo T5. As primeiras são atualmente muito populares, por conseguinte, fáceis de encontrar no comércio. Segundo Teixeira (2006), o conjunto luminária refletiva, reator eletrônico e lâmpadas bulbo T8 de 32W, dentre outras combinações possíveis de equipamentos de iluminação é o que apresenta a melhor eficiência energética. As segundas, de tecnologia mais recente, pelo seu diâmetro reduzido tornam-se um menor empecilho à saída do fluxo luminoso das luminárias, o qual é da mesma ordem que das lâmpadas T8, porém utilizando uma potência menor. Ainda segundo Teixeira (2006), tanto as lâmpadas bulbo T8 quanto as T5 são revestidas internamente por uma camada trifósforo que melhora a reprodução de cores e a qualidade da iluminação.

Com relação às lâmpadas fluorescentes compactas, opta-se por utilizar aquelas tipo PL (*purpose lamp*) não integradas, com conexão à base através de 4 pinos e apropriadas para uso com reator eletrônico. Estas lâmpadas não são muito utilizadas nos ambientes residenciais, o que minimiza a probabilidade de furto. Segundo relatos da gerência de manutenção do HPRB, em épocas anteriores tentou-se substituir algumas lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas integradas com soquete E27, porém em poucas semanas mais da metade das lâmpadas haviam sido subtraídas.

Segundo Philips (2008), este tipo de iluminação é adequada para locais onde a mesma fica ligada por longos períodos e têm a vantagem de necessitar da troca apenas das lâmpadas, uma vez que o reator pode permanecer em operação por longo tempo, o que proporciona uma me-

lhor relação benefício-custo frente à fluorescente compacta integrada. Ainda segundo o referido fabricante, nos modelos a quatro pinos é possível a utilização de reatores eletrônicos convencionais e de reatores dimerizáveis.

Embora existam lâmpadas fluorescentes compactas para potência até 42W, limitou-se a pesquisa às lâmpadas de potência de 9, 18 e 26W. Esta limitação deve-se à facilidade de se encontrar no mercado estas três potências de lâmpadas, além de praticamente não existirem atualmente no mercado nacional, luminárias e reatores para lâmpadas de potência diferentes destas.

De forma a privilegiar a maior durabilidade, após realizada a pré-seleção das lâmpadas, deve-se calcular a média aritmética da vida mediana ou vida útil das lâmpadas pré-selecionadas. O valor resultante deve fazer parte da descrição das características mínimas que as lâmpadas devam atender.

Finalmente, para que não haja possibilidade de se instalar lâmpadas com características inadequadas, comprometendo a qualidade original de iluminação dos ambientes e também para minimizar os itens de estoque, procurar-se-á utilizar, dentro do possível, um único modelo (referência comercial) de lâmpadas fluorescentes tubulares e um único modelo para fluorescentes compactas.

3.7.3.2 Escolha das Luminárias

As luminárias devem ser escolhidas principalmente em função das características refletivas, de suas curvas fotométricas e devem privilegiar o conforto luminoso dos frequentadores dos recintos. Além disto devem ser facilmente encontradas no mercado nacional.

As características refletivas podem ser avaliadas pelo coeficiente de utilização, que indica a relação entre a luz emitida pelas lâmpadas e a luz que efetivamente atinge a superfície de trabalho. O coeficiente de utilização, portanto, representa a perda própria da luminária, a influência da altura de montagem, bem como as dimensões e refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e está diretamente relacionado com a eficiência do sistema de iluminação e com a minimização da carga instalada.

A curva fotométrica deve privilegiar o conforto visual, produzindo baixas luminâncias nos ângulos críticos de visão. Por exemplo, em locais de leitura, deve-se evitar incidências mais intensas de raios luminosos nos ângulos entre 0 e 30 graus. Nesta faixa de ângulos ocorre a maior parte dos reflexos nos olhos do leitor, provenientes de superfícies

horizontais. Para esta situação, luminárias com curva fotométrica tipo ‘asa de morcego’ (*batwing*) devem ser preferidas (FRANCO, 1993).

Outras características podem ser levadas em conta. Segundo Ghisi (1997), são também importantes o efeito estético, a qualidade do material de fabricação, a facilidade de manutenção e a facilidade de troca de lâmpadas.

As luminárias utilizadas nos ambientes hospitalares devem ser de classe A ou B, quanto ao controle de ofuscamento, conforme recomendação da Philips (1981). Outro aspecto fundamental que deve ser avaliado é a forma de fixação da luminária nos suportes existentes. Como se trata de *retrofit*, quanto menos intervenções e adaptações nos sistemas existentes, menor o custo com a mão-de-obra e com os materiais de instalação.

Para a aplicação no estudo de caso deste trabalho, serão avaliados dois tipos de luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares, para uso geral na maioria dos ambientes do hospital, as quais foram previamente estudadas por Ghisi (1997), que concluiu serem as melhores soluções em minimização de carga instalada. A primeira é a luminária com refletor de alumínio, sem aletas, (RASA), que pode ser utilizada em locais onde não se necessita de controle de ofuscamento e a segunda é a luminária com refletor de alumínio, com aletas brancas, (RAAB) que deve ser usada nos locais onde este controle é necessário. As características desejadas para a pré-seleção das luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14. Características desejáveis para pré-seleção das luminárias.

	RASA	RAAB	RBCD	LLFC
Refletor	Alumínio	Alumínio	Alumínio	Alumínio
Aletas	Sem	Branças	Sem	Sem e com (branças)
Difusor	Sem	Sem	Texturizado ou leitoso	Sem
Corpo	Cor branca	Cor branca	Cor branca	Cor branca
Tipo de lâmpada	32W/T8 ou 28W/T5	32W/T8 ou 28W/T5	32W/T8 ou 28W/T5	PL 4 pinos
Classe de ofuscamento	A ou B	A ou B	A ou B	A ou B

A coluna LLFC (luminária para lâmpada fluorescente compacta) da Tabela 14 refere-se às características das luminárias que devem ser selecionadas para as lâmpadas fluorescentes compactas que substituirão as atuais incandescentes.

Não obstante à necessidade de economia de energia, as luminárias instaladas nos tetos das enfermarias devem privilegiar ainda mais o conforto visual dos pacientes que se encontram acamados na maior parte do tempo, portanto, com o campo de visão voltado para cima. Opta-se, desta forma, em se utilizar luminárias com refletor branco e com difusor texturizado ou leitoso, aqui denominadas de forma simplificada de RBCD (refletor branco com difusor), as quais impedem a visualização direta das lâmpadas e cujas características mínimas desejadas devem atender à Tabela 14.

Exceto no que tange às características sugeridas no parágrafo anterior, todos os demais critérios de seleção definidos nesta seção devem ser observados para a seleção dos equipamentos de iluminação para as enfermarias.

A pré-seleção deve ser feita a partir dos principais fabricantes nacionais. Arbitrariamente designou-se aqui de ‘principais fabricantes nacionais’, aqueles dez que tiveram seus produtos associados ao conceito de qualidade na mente dos profissionais da área, ou que figuraram entre os dez mais comercializados no ano de 2009, segundo a revista Eletricidade Moderna (2009, 2010).

Portanto, para a pré-seleção das luminárias, deve-se considerar além do atendimento às características informadas no início desta seção, quatro outros critérios, a saber:

- (i) que a marca figure entre as mais comercializadas no ano anterior à pesquisa, e;
- (ii) que estejam na relação dos produtos mais lembrados pela qualidade, e;
- (iii) que tenham catálogos disponibilizados nos *websites* ou que possam ser enviados pelos correios ou por *e-mail*, e;
- (iv) que os catálogos contenham informações suficientes para uma avaliação técnica.

Após a pré-seleção das luminárias, deve-se selecionar apenas aquelas cuja eficiência seja maior que a média aritmética das eficiências das luminárias previamente selecionadas. Para efeito de padronização e consequente diminuição de itens de estoque, recomenda-se que as luminárias de um determinado modelo pré-selecionado sejam fabricadas nas variantes para uma ou duas lâmpadas.

3.7.3.3 Escolha das Reatores

Os reatores devem ser escolhidos pelo seu rendimento, fator de fluxo luminoso (*ballast factor*) e serem preferencialmente de alto fator de potência de forma a contribuírem para a elevação do fator de potência geral do sistema elétrico, ajudando a evitar o pagamento de multas à concessionária. Preferencialmente do tipo eletrônico, pois, segundo Ghisi (1997), esta é a opção que fornece a melhor relação benefício-custo.

De acordo com Moreira (2007), o rendimento médio dos reatores eletrônicos encontrados no mercado nacional é da ordem de 92%, portanto, este será o valor mínimo aceitável para os reatores a serem selecionados para o estudo de caso deste trabalho. De forma a não haver comprometimento do fluxo luminoso final das lâmpadas após a substituição de algum reator, o fator de fluxo do reator não deve ser inferior à unidade. As características desejadas para os reatores estão resumidas na Tabela 15.

Tabela 15. Características desejadas dos reatores.

Tipo	Eletrônico
Fator de Fluxo	$\geq 1,00$
Rendimento	$\geq 92\%$
Fator de Potência	$\geq 0,92$

3.7.4 Determinação da Quantidade de Luminárias Eficientes

Uma vez escolhidos os equipamentos de iluminação eficientes, parte-se para a determinação da quantidade de luminárias necessárias, utilizando-se para isto o *software* Dialux®.

Nos ambientes onde atualmente existem luminárias fluorescentes tubulares, devem continuar a ter o mesmo tipo de iluminação, porém eficiente. A quantidade mínima de luminárias deve satisfazer não somente ao critério de iluminância necessária, mas também deve ser tal que a distância entre as luminárias seja no máximo de 1,5 vezes a altura entre a luminária e o plano de trabalho, de forma a manter uma maior homogeneidade de luz no recinto, conforme recomendado por Philips (1982).

Nos ambientes onde a iluminação é por incandescência devem ser utilizadas luminárias e lâmpadas fluorescentes compactas.

3.7.5 Análise de Luminâncias

Os pacientes normalmente ficam a maior parte do tempo deitados nos leitos, desta forma, com os olhos posicionados diretamente para cima ou para a parede oposta, onde, em alguns estabelecimentos, estão as luminárias. Esta situação é propícia a causar ofuscamento, o qual caracteriza-se pelo excessivo brilho da fonte de luz projetada nos olhos do observador.

O projeto luminotécnico deve contemplar a análise de luminâncias das luminárias escolhidas. Esta análise poderá ser com base no sistema de curvas de luminância. Segundo Philips (1981), este é o método mais simples e prático e é bastante utilizado em alguns países europeus. O princípio deste método é limitar o ofuscamento produzido pelas luminárias instaladas em um plano superior ao da visão, para ângulos entre 45 e Φ graus, medidos entre a normal inferior da luminária e a linha imaginária dos olhos do observador, até a luminária mais distante, considerando-se o observador situado no limite do ambiente, conforme ilustrado pela Figura 18. Na prática, considera-se o valor de Φ como 85 graus.

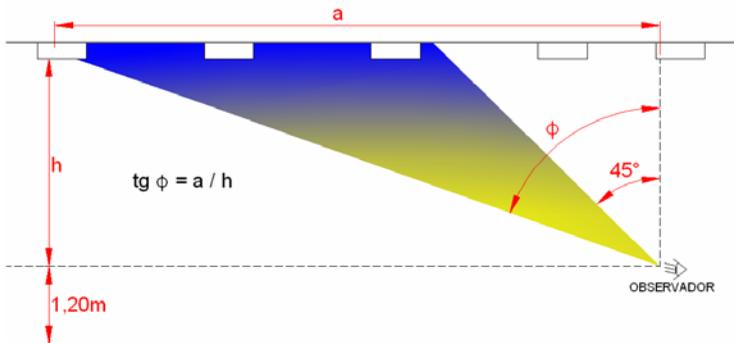


Figura 18. Ângulos críticos para controle de ofuscamento.

Em função da qualidade de controle do ofuscamento produzido pela luminária, a mesma recebe uma classificação que vai de A, para qualidade elevada, até E, para qualidade muito baixa. As exigências dos níveis de qualidade de controle variam em função do tipo de ambiente e da atividade nele desenvolvida. Philips (1981) recomenda para todos os ambientes hospitalares, classes de qualidade muito elevada, A, ou elevada, B.

Conhecendo-se o nível de iluminância do ambiente e a classifica-

ção quanto à qualidade de controle de ofuscamento da luminária, determina-se a qual curva de limitação que a luminância produzida pela luminária não deverá exceder, para os já referidos ângulos críticos, considerando-se as luminárias vistas tanto na direção transversal como longitudinal, conforme ilustrado na Figura 19.

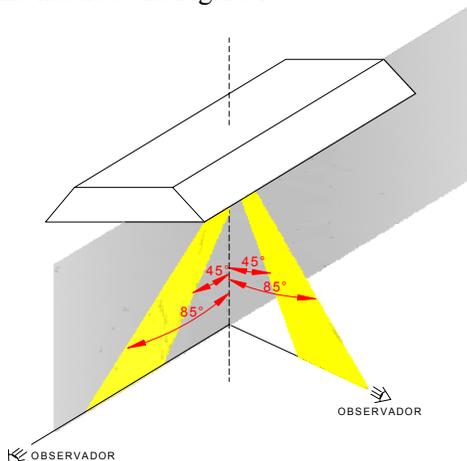


Figura 19. Planos de controle de luminâncias.

A Tabela 16 correlaciona os valores da iluminância de serviço do ambiente, com a classe de qualidade da luminária e com o tipo de curva de limitação de luminância a ser adotada.

Tabela 16. Determinação da curva de limitação de luminância.

Classe de Qualidade da Luminária	Iluminância do Ambiente (lux)							
	a	b	c	d	e	f	g	h
A	2000	1000	500	≤300				
B		2000	1000	500	≤300			
C			2000	1000	500	≤300		
D				2000	1000	500	≤300	
E					2000	1000	500	≤300
Tipo de Curva	a	b	c	d	e	f	g	h

Fonte: Adaptado de Philips (1981)

Considera-se, portanto, que uma luminária não produz ofuscamento direto, quando as luminâncias produzidas pela mesma, na faixa

dos ângulos críticos, não superem os valores especificados pelas curvas, as quais são mostradas na Figura 20 e Figura 21.

As curvas do diagrama 1, mostradas na Figura 20, são válidas para qualquer luminária sem lados luminosos ou para qualquer luminária com lados luminosos⁹ e alongada¹⁰, vistas na direção longitudinal.

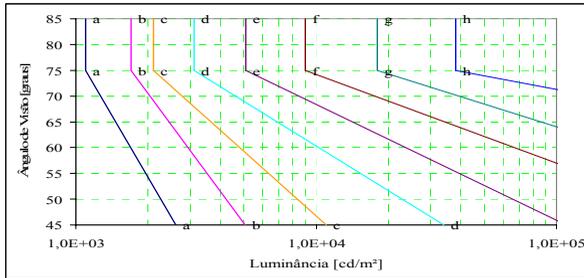


Figura 20. Curvas de limitação de luminância - Diagrama 1.

As curvas do diagrama 2, mostradas na Figura 21, são válidas para qualquer luminária com lados luminosos e não alongada, ou qualquer luminária com lados luminosos e alongada, vista na direção transversal.

Adicionalmente, as curvas de limitação são válidas para iluminação geral, linha de visão predominantemente para baixo ou horizontal e refletâncias mínimas de 50% para tetos e paredes e 25% para mobiliário.

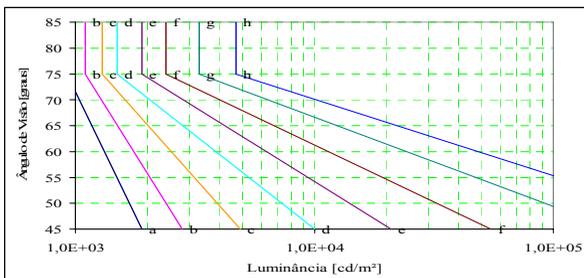


Figura 21. Curvas de limitação de luminância - Diagrama 2.

⁹ Luminária com lados luminosos: luminária com pelo menos um lado que emite luz e que tenha altura maior que 30mm.

¹⁰ Luminária alongada: luminária cuja relação entre o comprimento e a largura da superfície luminosa não seja inferior a 2:1.

3.8 Estudo de Viabilidade Econômica da Solução Adotada para o *Retrofit*.

No presente trabalho será avaliada a proposta para a realização do *retrofit* com base nas tecnologias recentes de equipamentos eficientes para iluminação, quer seja, lâmpadas, reatores ou luminárias. O objetivo é a adoção do conjunto que proporcione a menor densidade de potência instalada, maior eficiência luminosa e ao mesmo tempo proporcione conforto visual aos usuários.

Propõe-se a substituição dos atuais equipamentos de iluminação fluorescentes, por outros equipamentos de iluminação também fluorescentes, porém composto por lâmpadas, luminárias e reatores energeticamente eficientes, concomitantemente com a substituição das luminárias e lâmpadas incandescentes por luminárias, reatores e lâmpadas fluorescentes compactas eficientes.

Embora o foco principal deste trabalho sejam os ambientes internos, será analisada também a substituição dos reatores e lâmpadas a vapor de mercúrio por reatores e lâmpadas a vapor de sódio dos ambientes externos.

Para a definição da viabilidade de implantação é necessário que seja elaborado um estudo econômico, embora a implantação de *retrofit* tenha nos dias atuais forte apelo extra-comercial devido à crescente tendência à humanização dos hospitais, que passa necessariamente pelo aumento do conforto luminoso dos pacientes e equipe de saúde. Entretanto, como mais uma ferramenta de convencimento para a efetiva implantação do *retrofit*, é necessário elaborar-se estudos econômicos, que possam mostrar os ganhos financeiros que podem ser obtidos, não obstante o aumento da qualidade visual dos usuários.

Estudos econômicos são importantes também na medida que podem integrar o dossiê de pleito do estabelecimento de saúde, à concessionária pública de energia elétrica local, para alocação de recursos para realização de programas de eficiência energética. A ANEEL através da resolução 176/2005, estabelece que as concessionárias devam aplicar anualmente, a partir de janeiro de 2006, no mínimo 0,25% de seu faturamento anual em programas de eficiência energética. Dentre outros requisitos necessários para aprovação do projeto, é necessário que a relação benefício-custo do investimento seja superior a 1,25 e que a taxa de desconto anual seja no mínimo 12% (BRASIL, 2005b). Além disto, as concessionárias têm acesso a um fundo do setor elétrico, chamado Reserva Global de Reversão (RGR), que financia projetos em condições bastante favoráveis. O BNDES também tem linhas de crédito específicas para este

tipo de projeto. Para todas estas entidades o estudo econômico deve ser apresentado (PROCEL, 2008d).

Para tornar a realização do *retrofit* viável economicamente é necessário que os custos com a manutenção do sistema de iluminação sejam reduzidos ao máximo, de forma que a economia resultante amortize os gastos iniciais em um período de retorno considerado razoável pela administração do estabelecimento ou pela entidade financiadora. De acordo com PROCEL (2008c), sobre uma pesquisa realizada em 90 hospitais no Brasil, cerca de 66% consideram como razoável, um prazo de retorno do investimento entre seis e doze meses.

Gastos iniciais englobam desde o custo dos novos equipamentos eficientes (lâmpadas, luminárias e reatores), eletrodutos, cabos, interruptores, sensores, entre outros eventualmente necessários, até o custo com mão-de-obra, seja ela para elaboração dos estudos iniciais, diagnóstico energético, relatórios técnicos, elaboração do projeto luminotécnico, desmontagem do sistema antigo e montagem do novo, supervisão de montagem e nova pintura das superfícies internas, quando necessária. Para consolidação destes custos deve ser elaborada uma planilha com a relação dos materiais necessários. A quantidade de materiais deve ser estimada através da análise do projeto a ser elaborado para o novo sistema de iluminação e os custos devem ser obtidos através de cotação em pelo menos dois fabricantes tradicionais, que tenham produtos tecnicamente equivalentes, baseados nos requisitos técnicos mínimos definidos.

Quanto ao custo da mão-de-obra, deve ser também realizada uma cotação em pelo menos duas empresas de montagens e instalações elétricas, porém, caso o estabelecimento tenha recursos humanos e materiais que possa disponibilizar para realizar os trabalhos, como a equipe de manutenção, por exemplo, e que não venha a comprometer a atividade principal da mesma, os referidos custos podem ser desconsiderados.

Os custos de manutenção incluem o gasto com energia elétrica, reposição de lâmpadas e reatores, limpeza periódica das luminárias e manutenção dos demais componentes do sistema de iluminação como quadros elétricos, fiação, interruptores e sensores.

As receitas periódicas devem ser calculadas pela diferença entre o custo de manutenção, utilizando os sistemas atuais (ineficientes), e o custo de manutenção com os equipamentos eficientes.

Algumas ferramentas que devem ser utilizadas para a análise da viabilidade econômica do investimento são:

- Método do valor presente líquido (VPL): Este método traz para a data atual, marcada como zero no fluxo de caixa mostrado na Figura 22, a projeção de fluxos de caixas futuros. Assim, pode ser considerado

como viável aquele investimento que apresentar o VPL positivo, baseado em uma taxa mínima de atratividade (TMA).

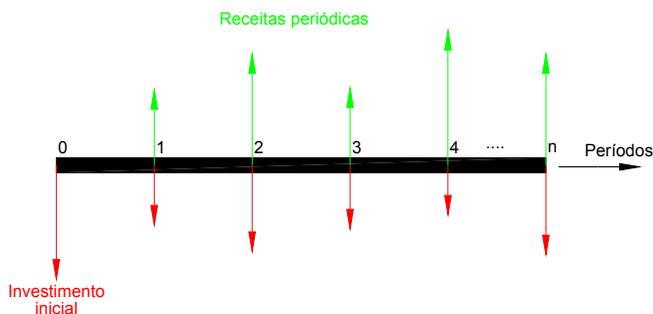


Figura 22. Diagrama esquemático dos fluxos de caixa.

A Equação 21 permite efetuar o cálculo do valor presente líquido.

$$\text{VPL} = \left(\sum_{j=1}^N \frac{S_j}{(1 + \text{TMA})^j} \right) - S_0 \quad (21)$$

Onde:

VPL= Valor presente líquido do investimento [R\$];

S_j = Saldo esperado entre os custos de manutenção do sistema de iluminação antes do *retrofit* e pós-*retrofit*, calculado através da Equação 22 [R\$];

S_0 = Investimento inicial para implantação do *retrofit*, calculado através da Equação 26 [R\$];

TMA= Taxa mínima de atratividade;

N= Número de meses considerado para a vida útil do novo sistema de iluminação.

Para trazer os valores monetários das receitas e despesas ao longo do ciclo de vida útil do projeto para valores atuais (presentes) é necessário que se estabeleça o tempo de vida média do sistema de iluminação. Como os equipamentos envolvidos (antes e após o *retrofit*) que devem ser repostos dentro do ciclo de vida tem vidas úteis diferentes, optou-se por estabelecer como vida média do sistema de iluminação, um período equivalente ao mínimo múltiplo comum entre os seus tempos de vida útil (WESTPHAL E LAMBERTS, 1999; COSTA, 2006).

$$S_j = G_{\text{pré}} - G_{\text{pós}} \quad (22)$$

Onde:

- S_j = Saldo esperado entre os custos de manutenção do sistema de iluminação antes do *retrofit* e *pós-retrofit*, computados mês a mês, durante do ciclo de vida considerado do projeto [R\$];
- $G_{\text{pré}}$ = Gastos estimados com a manutenção do sistema de iluminação atual, *pré-retrofit*, para cada um dos meses que compõem a vida útil considerada do novo sistema, calculado através da equação 23 [R\$];
- $G_{\text{pós}}$ = Gastos com a manutenção do sistema de iluminação eficiente, *pós-retrofit*, para cada um dos meses que compõem a sua vida útil considerada do novo sistema, calculado através da equação 24 [R\$].

$$G_{\text{pré}} = (C_{12\text{mpré}} \times \text{PCI}) \times (\text{PC}_{\text{hp}} \times T_{\text{hp}} + \text{PC}_{\text{hfp}} \times T_{\text{hfp}}) / 12 + G_{\text{eqtos.pré}} \quad (23)$$

Onde:

- $G_{\text{pré}}$ = Gastos estimados com a manutenção do sistema de iluminação atual, *pré-retrofit*, para cada um dos meses que compõem a vida útil considerada do novo sistema [R\$];
- $C_{12\text{mpré}}$ = Consumo total com energia elétrica do estabelecimento nos últimos 12 meses anteriores à pesquisa [kWh];
- PCI = Percentual de representatividade do uso final com iluminação em relação ao consumo total do estabelecimento, calculado através da Equação 4 da seção 3.3.1;
- PC_{hp} = Percentual de consumo no horário de ponta, calculado como a relação entre o número total de horas de ponta e número total de horas de um ano;
- PC_{hfp} = Percentual de consumo no horário fora de ponta ($1 - \text{PC}_{\text{hp}}$);
- T_{hp} = Tarifa média da energia no horário de ponta [R\$/kWh];
- T_{hfp} = Tarifa média de energia no horário fora de ponta [R\$/kWh];
- $G_{\text{eqtos.pré}}$ = Gasto mensal estimado com a reposição de equipamentos (lâmpadas e reatores) durante um período

equivalente à vida útil considerada do novo sistema de iluminação, antes do *retrofit* [R\$].

$$G_{\text{pós}} = CI_{12\text{mpós}} \times (P_{\text{Chp}} \times T_{\text{hp}} + P_{\text{Chfp}} \times T_{\text{hfp}}) / 12 + G_{\text{eqtos.pós}} \quad (24)$$

Onde:

$G_{\text{pós}}$	Gastos com a manutenção do sistema de iluminação eficiente, pós- <i>retrofit</i> , para cada um dos meses que compõem a sua vida útil considerada do novo sistema [R\$];
$CI_{12\text{mpós}}$	Consumo total de energia elétrica do estabelecimento com iluminação, estimado para os últimos 12 meses anteriores à pesquisa, supondo que o sistema de iluminação seja eficiente, calculado conforme a Equação 25 [kWh];
P_{Chp}	Percentual de consumo no horário de ponta, calculado como a relação entre o número total de horas de ponta e número total de horas de um ano;
P_{Chfp}	Percentual de consumo no horário fora de ponta (1- P_{Chp});
T_{hp}	Tarifa média da energia no horário de ponta [R\$/kWh];
T_{hfp}	Tarifa média de energia no horário fora de ponta [R\$/kWh];
$G_{\text{eqtos.pós}}$	Gasto mensal estimado com reposição de equipamentos durante a vida útil considerada do sistema de iluminação, após o <i>retrofit</i> [R\$].

$$CI_{12\text{mpós}} = \frac{CA_{i,\text{pré}}}{P_{\text{inst. i. pré}}} P_{\text{inst. i. pós}} \quad (25)$$

Onde:

$CI_{12\text{mpós}}$	Consumo total com energia elétrica do estabelecimento com iluminação, estimado para os últimos 12 meses anteriores à pesquisa, supondo que o sistema de iluminação seja eficiente [kWh];
$CA_{i,\text{pré}}$	Consumo anual com iluminação antes do <i>retrofit</i> [kWh];
$P_{\text{inst. i. pré}}$	Potência instalada em iluminação antes do <i>retrofit</i> [kW];
$P_{\text{inst. i. pós}}$	Potência instalada em iluminação depois do <i>retrofit</i>

[kW].

$$S_0 = C_{eq} + C_{infra} + C_{mdo} \quad (26)$$

Onde:

- S_0 = Investimento inicial para implantação do *retrofit* [R\$];
 C_{eq} = Custo com aquisição dos equipamentos de iluminação eficientes (luminárias, reatores e lâmpadas) [R\$];
 C_{infra} = Custo com aquisição dos equipamentos eventualmente necessários para intervenções na infraestrutura, tais como: interruptores, cabos elétricos, eletrodutos, eletrocalhas, perfílados, suportes para luminárias, tinta para pintura de paredes [R\$];
 C_{mdo} = Custo com pagamento de mão-de-obra, tais como: para elaboração do diagnóstico energético, elaboração do projeto luminotécnico, desmontagem do sistema antigo, montagem do sistema eficiente, pintura de superfícies [R\$].

- Método da taxa interna de retorno (TIR): Este método consiste em se calcular a taxa que zera o valor presente líquido de um fluxo de caixa. Se esta taxa superar a TMA, o investimento é viável. O cálculo da TIR pode ser feito através de métodos algébricos por aproximação, através da Equação 21, para $VPL=0$, a qual está reescrita como Equação 27.

$$\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{(1 + TMA)^j} = S_0 \quad (27)$$

Onde:

- VPL = Valor presente líquido do investimento [R\$];
 S_j = Saldo esperado entre os custos de manutenção do sistema de iluminação antes do *retrofit* e pós-*retrofit*, computados mês a mês, durante do ciclo de vida considerado do projeto [R\$];
 S_0 = Investimento inicial para implantação do *retrofit*, calculado pela Equação 26 [R\$];
 N = Número de meses considerado para a vida útil do novo sistema de iluminação;
 TMA = Taxa mínima de atratividade, que redundará na TIR.

- Método do *payback* descontado (Pb): Este método calcula a quantidade de períodos em que o capital aplicado é totalmente amortizado pelos

fluxos de caixa líquidos, baseado em uma taxa mínima de atratividade e a partir deste período a implantação começa a gerar lucros.

Neste trabalho, o valor do *payback*, será determinado observando-se o momento (mês) que a curva dos custos de manutenção do sistema, antes da realização do *retrofit*, intercepta a curva dos custos de manutenção, depois de realizado o *retrofit*, incluindo nesta última os custos de implantação.

- Método da relação benefício-custo (RBC): Consiste na razão entre os benefícios financeiros computados ao longo da vida útil do sistema de iluminação trazidos para o valor presente e os custos de implantação do novo sistema.

3.9 Medição e Avaliação da Iluminação Natural

A disponibilidade de luz natural nos ambientes deve ser avaliada com vistas a ser utilizada na redução do consumo de energia, seja através da utilização de controle na iluminação artificial ou de dimensionamento adequado da potência das lâmpadas.

A norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005) sugere que em função das frequentes variações de condições de céu ao longo do dia e do ano, dever-se-ia medir os níveis de iluminação durante todo o dia e também em diferentes épocas do ano. Entretanto, devido à dificuldade para se realizar este monitoramento contínuo, a mesma norma recomenda que as medições sejam tomadas em pelo menos um dia próximo ao solstício de verão e solstício de inverno e que estas medições sejam feitas de duas em duas horas. Este autor usará a mesma metodologia sugerida pela norma, com as medições realizadas às 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas.

Para se estimar com precisão a quantidade de horas diárias que a iluminação natural consegue atender às iluminâncias mínimas necessárias nos ambientes seria necessário elaborar estudos estatísticos mais complexos, com base em modelos, o que foge do alcance deste trabalho. De forma simplificada, para efeito de quantificação das horas de luz natural disponível, considerar-se-á que a medição realizada às 8 horas equivalha a 1 hora de disponibilidade de luz natural, ou seja, a medição das 8 horas representará o período compreendido entre 8 e 9h. A medição efetuada às 10 horas equivalha a 2 horas de disponibilidade de luz natural, ou seja, a medição das 10 horas representará o período compreendido entre 9 e 11h. A medição das 12, 14 e 16 horas também equivalham a 2 horas de disponibilidade de luz natural, compreendidas respectivamente entre os períodos de 11 às 13 horas, de 13 às 15 horas e de 15

às 17 horas. A medição das 18 horas equivalha a 1 hora de luz natural suficiente, compreendida entre as 17 e 18 horas.

Para o hospital, objeto do estudo de caso, a quantificação de horas de luz natural disponível proposta no parágrafo anterior (10 horas por dia) é conservativa, uma vez que a quantidade de iluminação natural disponível na região de Belo Horizonte supera 12 horas de média máxima nos meses quentes (primavera e verão) e 11 horas nos meses frios (outono e inverno), conforme pode ser observado na Tabela 17.

Adicionalmente deverá ser feita a ponderação entre as condições mais freqüentes de céu encontrados na região onde o hospital se encontra com aqueles verificados nos dias em que foram realizadas as medições. Duffie e Beckman (1987) *apud* Souza (2006) definem como céu encoberto aquele em que o percentual de insolação seja inferior a 40%, céu parcialmente encoberto aquele em que o percentual situa-se entre 40 e 70% e céu claro aqueles cujas horas de insolação superam 70%.

Tabela 17. Classificação simplificada de céus típicos para Belo Horizonte.

Mês	Insolação média		Média máxima de insolação [h]	Céu típico
	[h]	[%]		
Janeiro	6,12	46,74	13,10	Parcialm. Encoberto
Fevereiro	6,74	53,27	12,66	Parcialm. Encoberto
Março	6,94	57,26	12,12	Parcialm. Encoberto
Abril	7,63	66,12	11,54	Parcialm. Encoberto
Mai	7,65	69,18	11,06	Parcialm. Encoberto
Junho	8,00	74,01	10,82	Claro
Julho	8,27	75,68	10,93	Claro
Agosto	8,25	72,73	11,34	Claro
Setembro	7,00	58,79	11,91	Parcialm. Encoberto
Outubro	6,15	49,21	12,49	Parcialm. Encoberto
Novembro	6,06	46,81	12,94	Parcialm. Encoberto
Dezembro	5,33	40,37	13,19	Encoberto
Meses quentes	6,22	48,81	12,75	Parcialm. Encoberto
Meses frios	7,80	69,23	11,27	Parcialm. Encoberto

Fonte: Adaptado de Souza (2006)

Não havendo condições para medições simultâneas em cada orientação, por exemplo, por falta de luxímetros ou de operadores, as me-

dições de ambientes sob determinada orientação devem ser iniciadas um pouco antes do horário estipulado. Isto deve fazer com que as medições de outros ambientes sob outras orientações terminem um pouco depois, preferencialmente no mesmo intervalo antecipado nas primeiras medições.

Utilizando-se o método proposto na norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005), as medições devem ser efetuadas em cada ambiente, dividindo-o em retângulos imaginários de mesmas dimensões. A medição deve ser feita no centro deste retângulo, entretanto, respeitando-se sempre a distância mínima de 0,50m das paredes. Caso o centro do retângulo esteja aquém deste limite, a medição deve ser feita no limiar do mesmo. O número mínimo de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural deve atender à tabela 2 da citada norma, de forma que o erro seja inferior a 10%.

Para se evitar projeções de iluminação natural excessivamente otimistas, devem ser verificadas as condições externas, tais como crescimento de árvores e possibilidade de construção de prédios no entorno do estabelecimento. Devem ser avaliados também a existência e o sombreamento por proteções solares e seu impacto na iluminação natural dos ambientes.

Os valores de iluminância medidos devem sofrer um tratamento estatístico de forma a identificar e eliminar valores espúrios e posteriormente deve ser feito o cálculo da média aritmética. Este tratamento deve ser elaborado para todos os pontos sob o mesmo afastamento do local de maior entrada de luz e sob o mesmo horário que a medição fora realizada, para cada orientação. Os valores obtidos devem ser comparados com a necessidade de iluminação de cada ambiente. Caso não atendam integralmente, a iluminação artificial deve ser utilizada para complementação.

As medições devem ser realizadas em alguns ambientes típicos que representem as condições de iluminação natural para todo o estabelecimento. No estudo de caso desta dissertação são escolhidos três ambientes para representação do primeiro ao quinto pavimento. Dois com orientação ao sul e um ao norte, de forma a se constatar diferenças de iluminâncias entre as duas fachadas. Não há aberturas para entrada de iluminação natural nas fachadas leste e oeste.

Os ambientes escolhidos são enfermarias, localizados no segundo pavimento, os quais foram selecionados em função do tipo de paciente que os ocupam terem um menor grau de gravidade, possibilitando o acesso e permanência por um período maior, conforme orientação prévia da chefia de enfermagem.

Poderia ter sido escolhido apenas um recinto de cada fachada, entretanto na orientação sul optou-se por escolher duas enfermarias, uma com dois e outra com quatro leitos. Este procedimento objetiva tão somente observar eventuais diferenças de níveis de iluminâncias em ambientes de tamanhos distintos.

Para o pavimento térreo escolheram-se seis ambientes, sendo um para cada orientação (norte, sul, leste), dois para orientação oeste e um no interior da edificação. A escolha de ambientes em cada orientação e no interior da edificação, visa constatar as formas de incidência de luz natural, bem como as diferenças entre os valores de iluminância. A utilização de dois ambientes para medição na fachada oeste se deve à condição bastante distinta de entrada de iluminação nesta orientação. Um com grandes vãos envidraçados e o outro com vidraças pequenas e muitos arbustos nas proximidades.

Durante as medições, no caso das enfermarias, a altura da superfície de trabalho deve ser considerada como a distância entre o piso e o colchão dos leitos, que normalmente é de 0,90m. Nos corredores a altura deve ser considerada como zero (o interesse de iluminação nestes ambientes é para movimentação de pessoas). Nos demais ambientes deve ser considerada a altura de 0,75m, que é a altura mais comum do plano de trabalho de mesas e escrivaninhas, em relação ao piso.

Por fim, faz-se o cálculo da estimativa do potencial de conservação de energia elétrica por utilização de luz natural baseado na distribuição de iluminâncias naturais nos ambientes onde, obviamente, hajam aberturas para tal, como nos locais desprovidos de forro e ambientes com pé-direito superior a três metros. Através da distribuição de iluminâncias é possível calcular a provável área que é suprida por luz natural nos níveis mínimos recomendados pela ABNT. Utilizando-se da densidade de potência instalada em iluminação pós-*retrofit* e do percentual de área que poderia estar suprida por luz natural para as horas monitoradas do dia, tanto para as estações quentes (primavera e verão) quanto para as frias (outono e inverno), calcula-se o valor da potência que poderia deixar de ser demandada naquele período. O produto desta potência pela quantidade de horas ao longo de um ano resulta no potencial de economia de energia em iluminação.

4 Resultados e Discussões

Este capítulo pretende informar os resultados obtidos e estabelecer discussões a partir da aplicação da metodologia proposta no Hospital Público Regional de Betim, objeto do estudo de caso.

Na primeira visita realizada no HPRB com o diretor geral do estabelecimento, para exposição da proposta de trabalho houve uma certa rejeição, pois, em se tratando de hospital público, administrado pela prefeitura municipal, questões políticas influenciam altamente a tomada de decisões. Isto seu deu principalmente pelo fato do município ter o domínio de dois grandes partidos políticos com ideologias antagônicas que se alternam no poder. Após diversas justificativas e apresentação de documentação comprobatória do real objetivo do estudo, a diretoria liberou o acesso às instalações, após quatro meses de insistentes tentativas.

Após a liberação foi marcada uma reunião com a gerência de manutenção. Ao contrário das dificuldades iniciais de acesso, neste setor a aceitação foi imediata e todos os recursos foram disponibilizados para auxiliar na pesquisa.

Na segunda visita às instalações, juntamente com a então gerente de manutenção, pôde-se constatar a obsolescência dos sistemas de iluminação, o qual é composto quase que na totalidade dos ambientes internos por lâmpadas fluorescente bulbo T12 de 40W, com luminárias com baixa refletância e reatores eletromagnéticos. Foram observadas também a presença de lâmpadas incandescentes em alguns ambientes. Na área externa, a iluminação predominante é à base de lâmpadas à vapor de mercúrio.

4.1 Determinação do Porte do Hospital em Estudo

Através da metodologia utilizada por Szklo et al. (2003a) conclui-se que o HPRB oscila entre os índices relativos a hospitais médios com altos níveis de conforto (HMANC) e os hospitais médios com baixo nível de conforto (HMBNC), com leve predominância do segundo. A Tabela 18 mostra as variações entre os alguns parâmetros do HPRB e aqueles estabelecidos por Szklo et al. (2003a). Os valores em negrito destacam as menores variações. Observa-se que a densidade de leitos é bastante próxima dos HMBNC, superando-os em apenas 2,3%.

O segundo critério utilizado pelo referido autor para definir entre os dois tipos de hospitais médios, em caso de dúvida, envolve o cálculo da relação de números de leitos por quarto com o total de quartos dispo-

níveis, conforme a Equação 2 da seção 2.6.1. Neste quesito, o HPRB enquadra-se em HMBNC, pois seu índice atingiu o valor de 0,71, portanto, superior ao índice máximo tolerável para enquadramento em HMANC (0,50). Desta forma o HPRB pode ser considerado como hospital médio com baixo nível de conforto.

Tabela 18. Variações dos indicadores de energia do HPRB em relação aos hospitais do Brasil.

Indicadores	HG	HMANC	HMBNC	HP	<50	SUS
Densidade de leitos [leitos/m ²]	229,7%	10,9%	2,3%	-17,0%	-48,8%	-47,1%
Consumo de energia [kWh/leito/mês]	-74,5%	-68,6%	-11,7%	-13,9%	35,9%	239,1%
Eletricidade						
Fator de carga típico	10,6%	10,4%	30,9%	31,6%	71,1%	71,1%
Indicadores físicos						
Aquecimento de água para banho [m ³ /leito/mês]	-7,2%	-9,6%	3,2%	-4,3%	56,0%	126,4%

Legenda:

HG: Hospitais grandes;

HMANC: Hospitais médios com altos níveis de conforto;

HMBNC: Hospitais médios com baixos níveis de conforto;

HP: Hospitais pequenos;

<50: Hospitais com menos de 50 leitos;

SUS: Hospitais que somente atendem pelo Sistema Único de Saúde.

Após a determinação dos usos finais, outros indicadores serão calculados e os resultados complementarão a Tabela 18.

4.2 Configuração Atual do Sistema de Iluminação Artificial do Hospital

A maioria dos QDL existentes no Hospital Regional de Betim não têm circuitos independentes para iluminação e para tomadas, conforme pôde ser observado através das tabelas de cargas afixadas na parte posterior da porta de alguns quadros.

Alguns poucos QDL têm circuitos exclusivos para iluminação, entretanto, devido ao pequeno espaço entre os disjuntores de saída e a lateral dos quadros, impossibilita a ligação de medidores. Mesmo assim a afirmativa que os circuitos de iluminação e tomadas de alguns QDL são independentes é feita apenas com base nas informações que existem na parte posterior da porta de alguns quadros. De acordo com o setor de manutenção, devido às intervenções feitas nos últimos anos, não há garantias que algumas tomadas novas instaladas tenham sido ligadas corretamente no circuito de tomadas, nem que novas luminárias instaladas tenham sido conectadas aos circuitos de iluminação.

Desta forma, o Hospital Regional de Betim será considerado como não tendo circuitos segregados de iluminação e tomadas, logo, utilizar-se-á a metodologia descrita na seção 3.3.1 para a determinação do uso final em iluminação, a qual inicia-se pela estimativa dos principais usos finais de energia.

4.3 Estimativas dos Principais Usos Finais de Energia

Conforme determinado na metodologia, é necessário que se estime todos os principais usos finais de energia, os quais serão tratados individualmente nas próximas subseções.

4.3.1 Condicionamento Ambiental

Antes do efetivo início da determinação do uso final com condicionamento ambiental, uma análise das contas de energia elétrica precisa ser feita.

4.3.1.1 Análise Preliminar das Contas de Energia Elétrica

Através da verificação da data da leitura das contas de energia elétrica, observa-se que a mesma não é feita de forma regular em intervalos de 30 dias, portanto, é necessário efetuar-se a padronização de consumo para 30 dias. No caso do HPRB, a leitura do mês-referência da

conta ocorre sempre por volta do dia 10. Logo, será admitido que os dados de consumo informados na conta do mês-referência refletem o consumo do mês anterior, o qual tem um peso de cerca de $2/3$ na composição dos dados de consumo.

Após a padronização do consumo para 30 dias, das últimas 60 contas de energia fornecidas, no caso, entre janeiro de 2004 e dezembro de 2008, verificou-se um consumo bastante homogêneo, com coeficiente de variação de 5,3%. Esta pequena variação do consumo no período pode ser visualmente identificada através da Figura 23 e Figura 24. Nota-se também na Figura 23, uma semelhança visual entre a curva das variações do consumo e a curva das variações da temperatura ambiente.

A análise das contas de energia elétrica permite concluir também que o consumo médio mensal do período analisado é da ordem de 252MWh, com desvio padrão de 13MWh. A densidade de consumo anual média para o total de área construída, excluindo-se a área do estacionamento, é de 160kWh/m². No ano de 2008, o consumo total registrado foi de 3.110MWh. A demanda contratada no horário de ponta (HP) é de 475kW e no horário fora de ponta (HFP) é de 415kW. Durante o período analisado verificou-se consumo superior à demanda contratada além do limite tolerável de não aplicação de multa, em nove ocasiões, ocasionando significativo ônus na conta de energia.

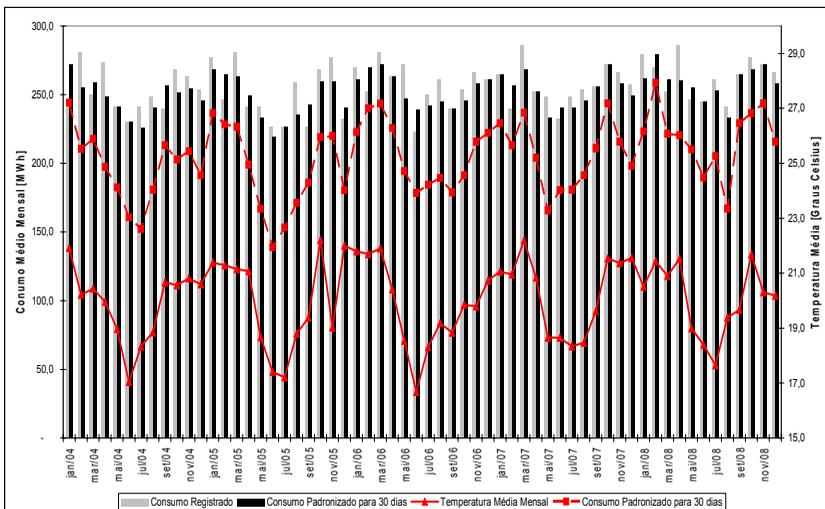


Figura 23. Médias mensais de temperatura e consumo de energia elétrica do HPRB.

Através da Figura 24, observa-se que o consumo de energia elétrica ao longo dos anos analisados sofreu pequenas variações. De 2005 em relação a 2004 teve uma pequena diminuição, cerca de 1%, 2006 em relação a 2005 houve um aumento, cerca de 3%, permanecendo estável em 2007. O consumo de 2008 em relação a 2007 teve uma elevação, cerca de 2,5%. Com base nesta avaliação é possível afirmar a existência de pequeno crescimento natural do consumo de energia, em média de 0,85% ao ano, uma vez que a área construída não teve majoração neste período.

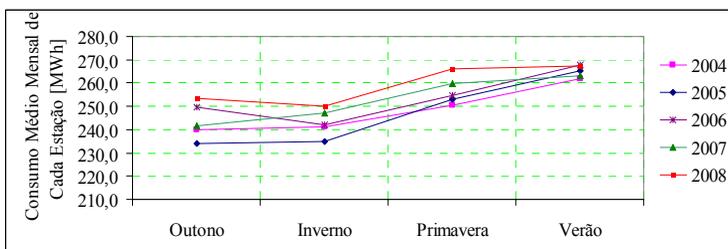


Figura 24. Consumo médio mensal de energia do HPRB por estação.

Ao se comparar o consumo nas estações do ano, nota-se uma diminuição no inverno em torno de 4% e uma elevação no verão, em torno de 5%, em relação ao consumo médio anual do período analisado.

Segundo informações do setor de manutenção, no período analisado não houve nenhuma intervenção no sistema elétrico que pudesse modificar o perfil de consumo nas estações. Analisando-se os dados fornecidos pelo setor de estatística hospitalar, verifica-se que a maior amplitude de variação da taxa de ocupação de leitos, dentro de um ano, aconteceu em 2007, variando entre 92% e 107%, portanto bastante estável. Estas observações remetem a se inferir que exista dependência entre os consumos nas estações e as respectivas temperaturas ambientes médias. De fato, pode-se observar através da Figura 25 que há relação entre as variações de temperaturas nas estações dos cinco anos analisados com as variações de consumo. A taxa de ocupação maior que 100% pode parecer estranho, porém, em alguns períodos há necessidade de se instalar leitos provisórios (macas) nos corredores e em outros ambientes, para atendimento da demanda.

Embora, a princípio, seja razoável se imaginar que exista correlações entre o consumo de energia do hospital e quantidade de leitos ocupados, na prática não se pôde identificar a existência de tais correlações, uma vez que tanto o consumo de energia quanto a taxa de leitos ocupa-

dos são muito constantes ao longo do ano. Observa-se que 2007 foi um dos anos de maior consumo de energia da série pesquisada, coincidindo com a maior taxa de ocupação de leitos, que inclusive superou 100%. Por outro lado, o consumo máximo da série ocorreu em 2008, no entanto a taxa de ocupação média anual de leitos foi menor que 100%. Diante destas situações o valor de R^2 calculado foi bastante inferior à unidade.

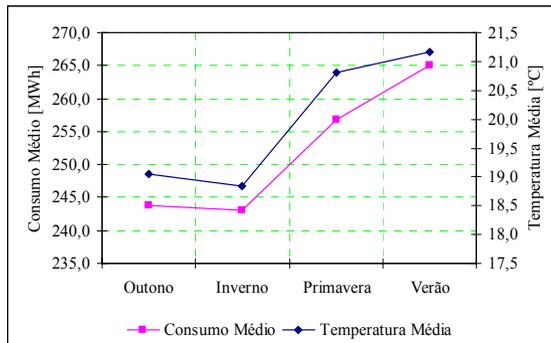


Figura 25. Consumo médio mensal e temperatura média nas estações entre janeiro de 2004 e dezembro de 2008.

Cálculos realizados apontaram que existem fortes correlações matemáticas entre o consumo médio e a temperatura média em cada estação do ano. A Figura 26 mostra que boas correlações continuam a existir quando se observa o comportamento da temperatura média mensal e do consumo médio mensal. Para o ano de 2008 verificou-se um R^2 de 0,97; para 2007, 0,83; para 2006 de 0,80; para 2005 de 0,71 e para 2004, R^2 é de 0,83.

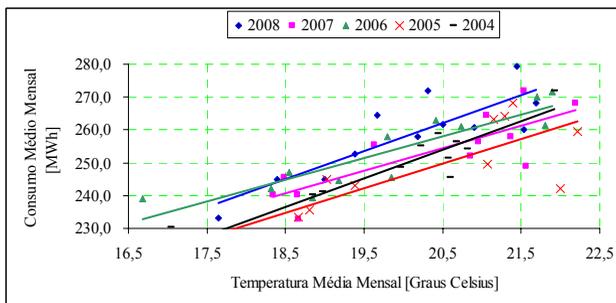


Figura 26. Correlação entre as médias mensais de consumo e temperatura.

Em face das análises feitas nesta seção, admitir-se-á que as variações sazonais de consumo do estabelecimento são decorrentes do menor uso do sistema de condicionamento de ar no inverno e maior no verão. Esta admissão deverá ser confirmada após a determinação do uso final com o condicionamento ambiental e respectiva verificação da existência de correlações entre os consumos e as temperaturas ambientes nas estações.

4.3.1.2 Determinação do Uso Final

O sistema principal de condicionamento de ar ambiental adotado pelo HPRB é do tipo centralizado com expansão indireta, com termoacumulação de água gelada. A central é composta pelo sistema de geração de água gelada (SGAG) e pelo sistema de climatização (SC).

O SGAG, com capacidade total de refrigeração de 150TR, é composto por três *chillers* de 50TR cada, por quatro bombas de água gelada primárias de 2cv, sendo uma reserva, que fazem a recirculação de água entre o tanque de termoacumulação e os *chillers*, e por três bombas de água gelada secundárias de 10cv, também sendo uma reserva, que pressurizam a rede de alimentação de água dos climatizadores. A potência nominal instalada do SGAG é de 238,0kW, cuja alimentação é derivada do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT-1), existente na subestação primária, sob uma tensão trifásica de 220V.

O sistema de climatização dos ambientes é composto por 42 *fan coils*, totalizando uma potência instalada de 60,3kW, que absorvem efetivamente 52,0kW, sob regime nominal. A relação de todos os *fan coils*, com as respectivas potências e locais de instalação pode ser encontrada no Apêndice 5.

As medições de verão, realizadas com vistas a se determinar o consumo de um dia típico das estações quentes, foi feita, ligando-se o analisador de energia entre os dias 18/12/2008, quinta-feira, e 24/12/2008, quarta-feira. Os valores médios de consumo em cada hora ao longo dos dias de medição estão indicados na Figura 27. Analisando-se a referida figura, verifica-se uma variação mais expressiva do consumo na terça-feira. Isto ocorreu em função de defeito em um dos *chillers*, cujo funcionamento normal foi restabelecido por volta das 11 horas, segundo informações da gerência de manutenção. Não houve necessidade de correção do consumo devido ao tempo parado do *chiller* defeituoso, pois, após a manutenção corretiva, o sistema funcionou por mais tempo, para recuperar a temperatura da água gelada, produzindo um

consumo superior à média, fazendo que ao longo do dia, a média de consumo se mantivesse semelhante aos demais dias da semana. Em simulação realizada, desconsiderando-se a terça-feira para efeito da avaliação das medições, constatou-se ainda assim ótima correlação, com R^2 superior a 0,88.

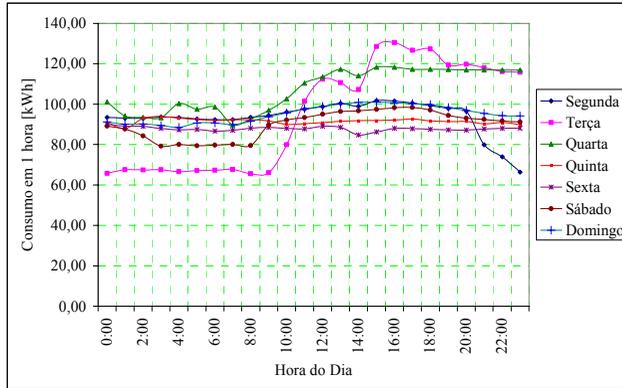


Figura 27. Condicionamento ambiental. Consumo médio a cada hora nos dias monitorados no verão.

Através da observação do gráfico mostrado na Figura 28, verifica-se a existência de forte correlação entre o consumo médio do sistema de geração de água gelada e a temperatura ambiente média, com R^2 superior a 0,94.

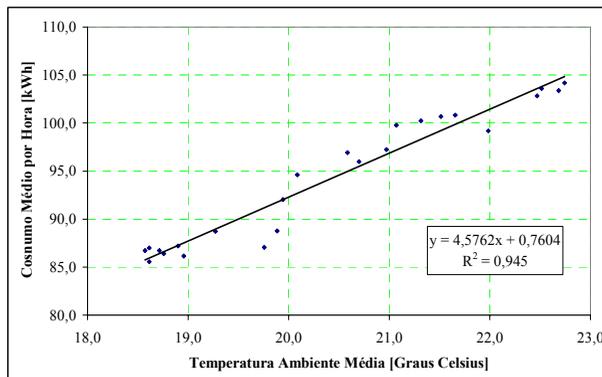


Figura 28. Correlações entre o consumo médio de energia do sistema de geração de água gelada no verão e a temperatura ambiente média.

A potência média efetivamente absorvida no verão é de 162,31kW que produz um consumo médio diário de 2.262kWh, com uma variação entre 2.107 e 2.572kWh. Baseado nestes dados pode-se afirmar que o SGAG, funciona em média 13,94 horas por dia sob regime nominal, no verão. Observou-se também que o consumo independe do dia da semana.

As medições de inverno, realizadas para se determinar o consumo de um dia típico das estações frias, foi feita, ligando-se o analisador de energia entre os dias 18/06/2009, quinta-feira, e 24/06/2009, quarta-feira. Os valores médios de consumo em cada hora ao longo dos dias de medição estão indicados na Figura 29.

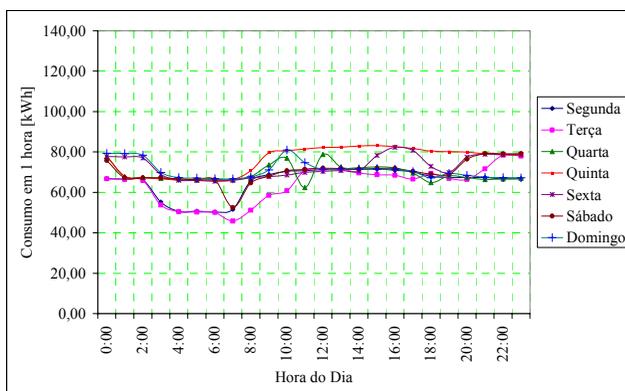


Figura 29. Condicionamento ambiental. Consumo médio do SGAG a cada hora nos dias monitorados no inverno.

Observando-se o gráfico mostrado na Figura 30, confirma-se novamente a existência de correlação entre o consumo médio do SGAG e a temperatura ambiente média, embora com R^2 de 0,64, inferior, portanto, à correlação observada no verão, que pode ser justificada pela atividade mínima e mais constante do SGAG nas estações frias.

A potência média efetivamente absorvida no inverno é também de 162,31kW que produz um consumo médio diário de 1.676kWh, com uma variação entre 1.538 e 1.829kWh. Baseado nestes dados pode-se afirmar que o SGAG, funciona em média 10,32 horas por dia sob regime nominal, no inverno. Ratificou-se que o consumo independe do dia da semana.

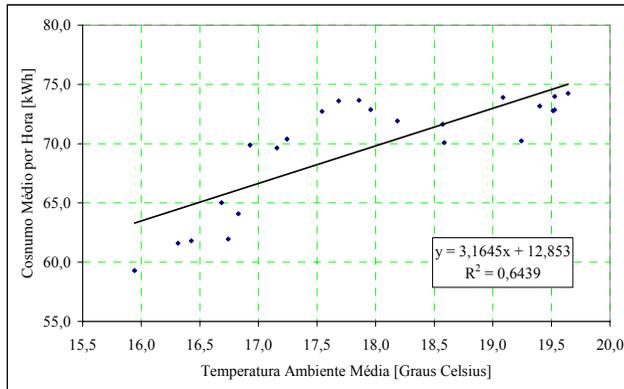


Figura 30. Correlações entre o consumo médio de energia do SGAG no inverno e a temperatura ambiente média.

Nos cinco anos analisados, verificou-se variações de consumo do estabelecimento no verão em relação à primavera entre 0,5%, ocorrido em 2008, e 5,1%, ocorrido em 2006. As variações de consumo no mesmo período, no inverno em relação ao outono, teve o valor mínimo de 0,4% em 2004 e 2005 e máximo de 3,0% em 2006.

Devido às pequenas variações de consumo dentro das estações quentes e também dentro das estações frias, bem como das altas correlações existentes entre os consumos e as temperaturas ambientes, o consumo de um dia típico do verão e do inverno, calculado como a média diária de consumo a partir de sete dias de medição em cada estação, servirá de base para o cálculo da estimativa de consumo anual. Será admitido que o consumo médio diário calculado para o verão, servirá de base para o cálculo da estimativa de consumo dos dias que compõem as estações quentes, já definidas como a primavera e o verão.

O consumo médio diário no inverno será considerado como o consumo mínimo do SGAG ao longo de todo o ano, uma vez que o mesmo funciona ininterruptamente, desligado apenas pelos sensores de temperatura ambiente. Conforme descrito na metodologia, será admitido que o tempo médio diário de funcionamento do sistema de climatização (SC) será o mesmo obtido no sistema de geração de água gelada. Portanto, o consumo anual com o SC, calculado conforme a Equação 6, é de 229,90MWh.

Para o cálculo do número de dias de funcionamento dos sistemas, considerou-se o ano-calendário de 2008, subtraído do número de dias que os equipamentos não estavam funcionando. Segundo a gerência de

manutenção, em média, o sistema de ar condicionado central fica indisponível durante cerca de 20 horas por ano, devido às manutenções preventivas e corretivas. Arbitrou-se que a metade das horas paradas ocorrem nas estações quentes e a outra metade nas estações frias. Desta forma, o consumo anual estimado do sistema de condicionamento central de ar, calculado conforme Equação 5, é de 947,11 MWh.

Os poucos aparelhos de ar condicionado de janela existentes, tiveram seus consumos estimados a partir da potência instalada, da estimativa do tempo médio de funcionamento por dia e do número de dias de funcionamento por ano, conforme Equação 12. A potência instalada, calculada com base em medições realizadas estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19. Potência dos aparelhos de ar condicionado de janela.

Local	Capacidade [BTU]	Potência		Nda**
		Instalada [W]	T _{mf} * [h]	
Laboratório de Urgência	18.000	2.430	24	Todos (366)
Laboratório de Bioquímica	30.000	3.700	24	Todos (366)
Laboratório Microbiologia	10.000	433	24	Todos (366)
Laboratório Secretaria	10.000	433	8	Úteis (250)
Laboratório Rotina	12.000	683	20	Todos (366)
Laboratório UND	7.000	312	12	Todos (366)
Hemodiálise	20.000	2.940	14	Todos, exceto domingo (314)
Sala de som	10.000	433	24	Todos (366)
Tomografia	48.000	4.312	6	Todos (366)
Posto Bancário	5.000	222	8	Úteis (250)
Total	170.000	15.898		

* Tempo médio de funcionamento do ambiente por dia;

** Número de dias de funcionamento por ano (Ano-base 2008)

Devido à baixa quantidade de aparelhos e consequente pequena potência demandada, frente à do estabelecimento, para o cálculo do

consumo anual, admitiu-se que os ar condicionados de janela funcionam durante os dias de expediente dos ambientes em tempo integral, na primavera e verão e ficam totalmente desligados no outono e inverno. Desta forma, o consumo anual com ar condicionado de janela, calculado pela Equação 12 é de 44,64MWh.

Finalmente, conclui-se que o consumo geral anual estimado do sistema de ar condicionado do HPRB, calculado através da Equação 13 é de 991,74MWh, que representa 31,89% do consumo total do hospital.

Para referendar a Equação 13, utilizada para estimar o uso final com condicionamento ambiental de ar, comparou-se o consumo real de energia elétrica do HPRB, registrado nos cinco anos analisados, com o consumo estimado a partir da referida equação. Esta comparação baseou-se apenas nas informações contidas nas contas de energia, portanto, sem utilizar quaisquer amostras de medições.

Admitiu-se que o mês de menor consumo de cada ano refere-se ao consumo normal do HPRB adicionado ao consumo mínimo do sistema de condicionamento de ar, e que o mês de maior consumo refere-se ao consumo normal do hospital adicionado ao consumo máximo do sistema de ar condicionado. Logo, a diferença entre o consumo máximo e mínimo reflete a máxima variação de potência do sistema de ar condicionado, em função da variação da temperatura ambiente que ocorreria no dia mais quente do ano, teoricamente no solstício de verão.

O valor da diferença foi considerado como o consumo médio diário adicional do sistema de ar condicionado nas estações quentes (primavera e verão) e o consumo mínimo registrado na conta de energia foi considerado como o consumo mínimo ao longo de todo o ano. A diferença entre o consumo real registrado nas contas de energia e o consumo projetado, utilizando-se a Equação 13, foi bastante satisfatório, conforme pode ser observado na Tabela 20, evidenciando a precisão da referida equação.

Tabela 20. Análise da diferença entre o consumo real de energia elétrica do Hospital Regional de Betim e o estimado.

	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo mínimo diário [kWh]	7.538	7.316	7.971	7.763	7.781
Consumo máximo diário [kWh]	9.067	8.942	9.058	9.060	9.310

Tabela 20. Análise da diferença entre o consumo real de energia elétrica do Hospital Regional de Betim e o estimado (cont.).

	2004	2005	2006	2007	2008
Máxima diferença de consumo* [kWh]	1.529	1.626	1.087	1.298	1.530
Consumo estimado pela Equação 13 [kWh]	3.027.077	2.963.593	3.106.065	3.067.637	3.115.962
Consumo real pela conta de energia [kWh]	2.980.814	2.963.008	3.042.702	3.034.798	3.110.112
Diferença: consumo estimado/real	1,53%	0,02%	2,04%	1,07%	0,19%

* Admitido como devido ao sistema de condicionamento de ar nos meses quentes (primavera e verão).

4.3.2 Ar Comprimido e Fábrica de Oxigênio

A fábrica de oxigênio, com uma capacidade de armazenagem de 5.000 litros de oxigênio líquido e capacidade de produção de 20m³/hora, é alimentada por ar vindo da central de ar comprimido. Ambas as instalações estão fisicamente montadas em uma edificação anexa ao hospital, junto ao prédio da subestação terciária. A alimentação é proveniente de um QGBT localizado na referida subestação, sob uma tensão trifásica de 220V.

Existem instalados e em pleno funcionamento quatro motores: dois de 75cv, dos compressores principais, um de 10cv, do compressor auxiliar para a manutenção da pressão no sistema e um de 2cv, para o secador de ar. Apenas um dos compressores principais funciona continuamente, ficando o outro como reserva para atender os casos de defeitos ou manutenções. A central de ar comprimido e fábrica de oxigênio funcionam todos os dias do ano durante 24 horas por dia. Segundo informações do setor de manutenção, todos os equipamentos da central ficam indisponíveis, em média, durante 20 horas por ano, mesmo havendo compressor principal reserva, fato provocado pela eventual coincidência de defeitos de ambos os compressores principais. Conforme

levantamentos efetuados, o compressor auxiliar de manutenção da pressão no sistema fica ligado, em média, durante seis minutos a cada hora.

As medições realizadas entre os dias 14/02 e 17/02/2009, produziram as curvas de carga mostradas na Figura 31, através das quais pode-se observar um funcionamento bastante homogêneo. O consumo diário registrado variou entre 1.331 e 1.338kWh, com média de 1.334kWh e coeficiente de variação de 0,2%.

Os equipamentos que constituem a central de ar comprimido e fábrica de oxigênio tem seu ciclo de funcionamento controlado por uma instrumentação que ligam e desligam os motores de acordo com a demanda de ar e oxigênio do hospital, fazendo, portanto, que o funcionamento não seja contínuo ao longo das 24 horas do dia. Após medições realizadas, constatou-se que o tempo médio de funcionamento dos equipamentos sob condições nominais é de 21,69 horas por dia. A potência absorvida, calculada conforme Equação 7, é de 61,50kW.

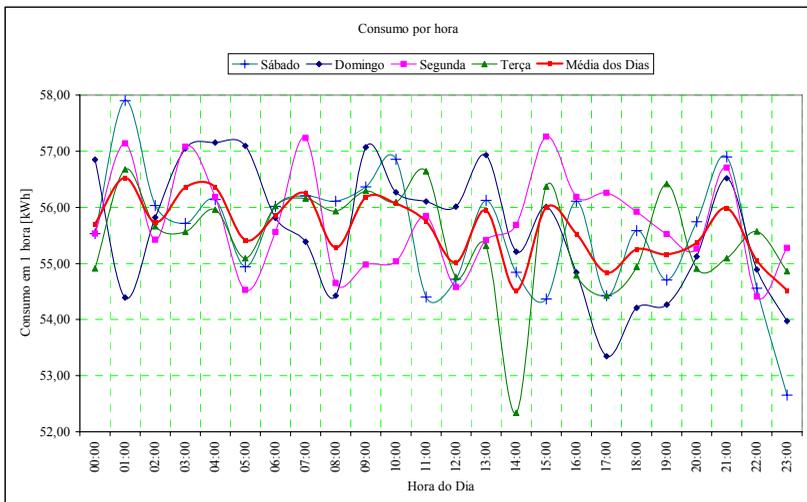


Figura 31. Curva de carga da central de ar comprimido e fábrica de oxigênio.

O consumo anual com o sistema, estimado conforme Equação 14, é de 487,11MWh, que equivale a 15,66% do total de energia elétrica consumida pelo estabelecimento.

4.3.3 Produção de Vácuo

A central de vácuo é composta por duas bombas acionadas por dois motores de potência nominal 7,5cv, alimentados a partir do QGBT localizado na subestação primária, sob uma tensão trifásica de 220V. As bombas funcionam alternadamente. Cada uma funciona durante 12 horas. Durante o período de funcionamento constatou-se que as mesmas ficam ligadas, em média por 50 segundos a cada minuto. Segundo o setor de manutenção não existem registros de defeitos simultâneos em ambas as bombas, de forma que não se considerou tempos ociosos das mesmas. Como o ciclo de funcionamento da central de vácuo do HPRB é bem conhecido, não houve necessidade de se efetuar medições de consumo, apenas da potência absorvida pelos motores, cujo valor unitário é de 6,20kW. O Consumo anual estimado da central de vácuo é de 45,28MWh, que corresponde a 1,46% do consumo total do HPRB.

4.3.4 Exaustão e Ventilação Mecânica

O sistema de exaustão e ventilação mecânica do HPRB atende a diversos ambientes. Os exaustores são responsáveis pela remoção de ar poluído de alguns ambientes, enviando-o para o meio externo. Os ventiladores objetivam a renovação de ar com a insuflação de ar novo, vindo do meio externo, para o interior de alguns ambientes.

A relação completa de todos os exaustores e ventiladores existentes no hospital, bem como os respectivos locais instalados, suas potências e tempo de funcionamento, obtido através de entrevistas, pode ser encontrada no Apêndice 7. A alimentação é derivada dos cofres elétricos, instalados nos barramentos blindados que percorrem todo o hospital. Observou-se a existência tanto de motores monofásicos como trifásicos, os quais absorvem 42,25kW da rede elétrica, sob tensões de 220 e 110V.

Utilizando-se a Equação 14, informada na seção 3.3.3, obteve-se um consumo anual estimado do sistema de exaustão e ventilação mecânica de 142,10MWh, que corresponde a cerca de 4,6% do consumo total do hospital.

4.3.5 Geração de Água Quente e Vapor

No HPRB, a caldeira funciona todos os dias durante 12 horas consecutivas e atende a lavanderia, a esterilização de suprimentos cirúr-

gicos, o SND para cocção de alimentos, lavagem e desinfecção de panelas e para o aquecimento dos *boilers* do SND e vestiários.

Utiliza óleo diesel como combustível de ignição e óleo BPF como combustível de funcionamento. O sistema é composto pelo motor da bomba de água, potência 5cv que funciona em ciclos de 10 minutos ligado, por 6 desligado, durante as 12 horas de funcionamento diário; pelo motor do ventilador, potência 5cv que funciona em ciclos de 30 minutos ligado por 6 desligado, durante as 12 horas de funcionamento diário; pelo motor do compressor de ar, potência 3cv que funciona em ciclos de 10 horas a cada 30 dias, pelo motor de óleo diesel para ignição, potência 0,25cv que funciona em ciclos de 1 minuto ligado por 6 desligado, durante as 12 horas de funcionamento diário e pelo motor de óleo BPF, potência 0,5cv que funciona durante 12 horas ininterruptas por dia.

Existe ainda um sexto motor, localizado próximo ao tanque de óleo BPF, para bombeamento deste combustível, que serve às duas caldeiras. Sua potência é de 0,75cv, o qual funciona durante 12 minutos, três vezes ao dia.

Os motores supra citados são alimentados por um quadro elétrico existente no interior da sala das caldeiras, o qual é suprido por energia oriunda do QGBT-1 existente na subestação principal, sob uma tensão de 220V trifásica, absorvendo do sistema elétrico uma potência de 11,30kW. Segundo o responsável pelo setor das caldeiras, em média, cada motor fica indisponível, no máximo, cerca de 2 horas por mês.

Utilizando-se a Equação 14, informada na seção 3.3.3, pode-se concluir que o consumo anual estimado do sistema de caldeiras é de 22,33MWh ou 0,7% do consumo total do hospital.

No HPRB existem ainda instalados quatro *boilers* elétricos, com capacidade de 1000 litros cada, alocados na cobertura. Eles produzem água aquecida para banho dos funcionários e pacientes. O aquecimento da água se dá através do acionamento de três bancos de resistores trifásicos de potência nominal 21kW (*boilers* 1, 2 e 3), controlados por termostato e um de 10kW (*boiler* 4) controlado por termostato e *timer*. O *timer* é programado para desligá-lo entre 17:30h e 22:00h, evitando consumo no horário de ponta.

Durante o primeiro período monitorado, ocorrido em 30 de dezembro de 2008, contactou-se que os resistores do *boiler* 3 estavam queimados, situação que persistiu até a segunda medição, que ocorrera em 22 de junho de 2009. Em ambas medições verificou-se que a potência absorvida pelos demais resistores foi de 52,04kW. O tempo médio de funcionamento em regime nominal dos bancos foi de 8,6h no verão e 10,9h no inverno, exceto para o banco 4, onde o tempo médio foi de

6,99h no verão e 8,86h no inverno, neste caso houve a correção devido ao desligamento compulsório pelo *timer*. No dia da medição de verão e de inverno as temperaturas ambientes médias foram de 22,4°C e 17,0°C, respectivamente.

Segundo o setor de manutenção, em média, os resistores são substituídos por defeitos, a cada dois anos. Cada substituição gasta em média dez dias, incluído neste período o tempo para aquisição. Entretanto, foi constatado que o resistor do *boiler* 3, permaneceu queimado durante um período bem maior, fato que foi explicado pela gerência de manutenção, como decorrente de processos burocráticos de aquisição mais acentuados, devido à mudança da direção da entidade.

Utilizando-se a Equação 15, informada na seção 3.3.6, pode-se concluir que o consumo anual estimado dos *boilers* é de 177,36MWh, que corresponde a 5,70% do consumo total do HPRB.

4.3.6 Exames Clínicos

No HPRB existe um tomógrafo e quatro aparelhos de raios-x. O tomógrafo e dois aparelhos de raios-x são alimentados por um QGBT localizado na subestação secundária sob uma tensão de 380V, trifásica. Os outros dois aparelhos de raios-x são móveis e apropriados para ligação nas tomadas.

Verificou-se uma dificuldade muito grande em se avaliar o consumo destes equipamentos, em face da falta de dados de placa e da alta variabilidade da forma de funcionamento. Dependendo do tipo de exame a ser realizado, o próprio operador, sob orientação de um médico, determina o tempo e intensidade de aplicação da radiação, o que provoca consumo substancialmente distintos de um exame para outro.

Para que se pudesse estimar o consumo destes equipamentos, um dos aparelhos de raios-x foi monitorado durante 65 exames, produzindo demandas de potência, por exame, que variaram entre 23 e 2.407W. Estas demandas geraram um consumo médio por exame de 0,00062kWh sob uma duração média de 10 segundos por exame. O consumo com o tomógrafo foi medido durante oito exames, durante os quais a potência absorvida da rede elétrica variou entre 1.340 e 15.387W. O consumo médio por exame é de 1,01kWh.

A partir de dados obtidos com o setor de estatística hospitalar, sobre o número médio de exames de tomografia e de raios-x realizados por ano, pôde-se estimar o consumo anual deste sistema, cujo valor encontrado foi de 6,25MWh ou 0,2% do consumo total do estabelecimento.

4.3.7 Transporte Vertical

Existem instalados e em pleno funcionamento, quatro elevadores no HPRB. Cada elevador é composto por um motor principal de potência nominal de 15cv e um auxiliar de 1/3cv, responsável pela ventilação forçada do motor principal. Todos juntos absorvem uma potência média da rede elétrica de 17,53kW, sob um fator de carga médio igual a 0,31. O baixo fator de carga é justificado pelo superdimensionamento dos motores para suportarem frequentes picos de partida. A citada potência média refere-se à média das potências absorvidas durante o trajeto de subida e de descida dos elevadores, que perfazem um período total de 13,72 horas de viagens por dia, ou seja, durante um dia, os elevadores encontram-se em movimento em cerca de 57% do tempo.

As medições realizadas entre os dias 20/11 e 26/11/2008, produziram as curvas de carga mostradas na Figura 32, que evidenciam um pico de consumo por volta das 9 horas, devido à chegada ao trabalho de grande parte da equipe. Mostraram também que não há diferenças significativas de consumo entre os dias da semana.

O regime de funcionamento dos motores é bastante variável, com frequentes arranques, onde a potência desenvolvida supera a nominal. Por outro lado, por diversas vezes, os motores encontram-se parados, por ociosidade natural ou para entrada ou saída de passageiros, momento que a potência absorvida é mínima, devida apenas aos motores auxiliares. Em outros momentos os motores estão subindo os elevadores, drenando uma potência em torno de 18% da nominal. Curiosamente, na descida dos elevadores, constatou-se que a potência absorvida pelos motores é cerca de 42% da nominal, ou seja, mais do dobro da potência absorvida na subida. Segundo a fabricante Montele Elevadores, este fato é justificado pela alta carga imposta pelos contra-pesos que os motores precisam tracionar nesta ocasião.

A alimentação destes equipamentos é proveniente do QGBT da subestação principal, sob uma tensão de 220V trifásica.

De acordo com a gerência de manutenção os elevadores têm o mesmo padrão de funcionamento durante todo o ano, ficando indisponíveis para uso, devido às manutenções preventivas e corretivas, em média por 30 horas, quatro vezes por ano, por elevador. Desta forma, o consumo anual com o sistema, estimado conforme Equação 17 é de 86,84MWh, que representa 2,79% do consumo do HPRB.

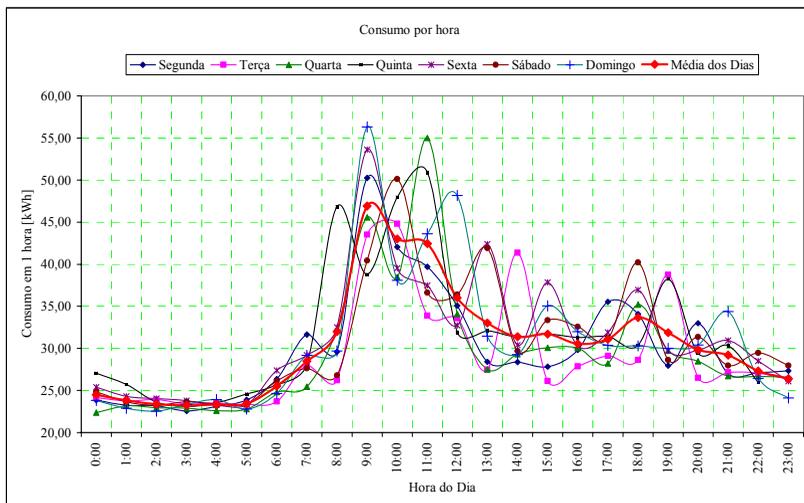


Figura 32. Curva de carga do sistema de transporte vertical.

4.3.8 Lavanderia

A lavanderia é composta por duas lavadoras de roupa de potência 7,5cv e uma de 10cv, uma secadora de 10cv, uma de 5cv e uma de 3cv e 2 passadoras de 1,5cv. Estas potências são dos motores existentes que servem para o acionamento das máquinas, já que em todas elas o aquecimento é feito por vapor vindo das caldeiras. A potência total absorvida é de 29,80kW sob um fator de carga médio de 0,76.

A lavanderia funciona todos os dias do ano, durante 12 horas por dia, entretanto, devido aos diversos ciclos das máquinas, o tempo médio diário de funcionamento sob condições nominais é de 3,97 horas. A alimentação dos equipamentos é proveniente do QGBT da subestação principal, sob uma tensão de 220V trifásica.

As medições realizadas entre os dias 28/11 e 04/12/2008, produziram as curvas de carga mostradas na Figura 33, através das quais pode-se observar que os equipamentos começam a ser ligados por volta de 6 horas e são totalmente desligados em torno de 18 horas, gerando um consumo diário entre 101 e 134kWh, com média de 118kWh, que equivale a cerca de 1,4% do consumo total do hospital.

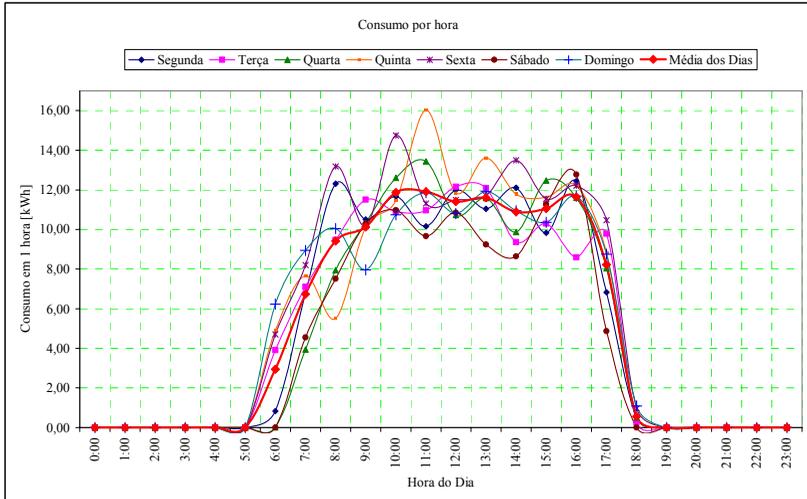


Figura 33. Curva de carga do sistema de lavanderia.

Segundo a gerência de manutenção, devido aos defeitos, os equipamentos ficam indisponíveis, em média, 20 horas por ano.

Observou-se também que o dia da semana não interfere no consumo de energia. De acordo com a gerência de manutenção os equipamentos praticamente não ficam indisponíveis para uso, devido às manutenções preventivas e corretivas ocorrem fora do período de trabalho do setor. Desta forma o consumo anual com o sistema, estimado conforme equação 14, é de 43,30MWh.

4.3.9 Cocção de Alimentos

A cozinha do HPRB, fornece durante todo o ano cerca de 2.000 refeições diariamente para os funcionários e pacientes, entre almoço e jantar, e cerca de 800 lanches matutinos e vespertinos. Os equipamentos existentes, bem como os respectivos consumos e tempo de uso, estão relacionados no Apêndice 8. O consumo anual com o preparo e cocção de alimentos, estimado conforme equação 14 é de 40,09MWh ou cerca de 1,3% do consumo total do hospital.

A câmara frigorífica do HPRB é composta por dois containers. Em cada container existe um compressor de 3kW e dois ventiladores de 0,1kW, sendo um reserva. Funciona durante todo o ano, com tempo médio de funcionamento diário de 16,45 horas no verão e 15,33 horas no inverno. Adotou-se neste trabalho, o valor de 16,45 horas, para ser

mais conservativo em relação ao sistema de iluminação. Segundo o setor de manutenção não há registros de defeitos destes equipamentos, logo não foi considerado o tempo parado. O consumo anual com a câmara frigorífica, estimado conforme equação 14 é de 29,14MWh, que equivale a cerca de 0,9% do consumo total do hospital.

4.3.10 Esterilização de Instrumentos e Equipamentos

No HPRB, a esterilização de instrumentos e equipamentos é realizada através de três autoclaves, sendo duas de potência nominal 44kW que absorvem individualmente 34,67kW e uma de 15kW que absorve 13,24kW da rede elétrica. Segundo dados estatísticos obtido no setor, referendados por medições efetuadas, a duração média de um ciclo de cada máquina é de 10 segundos, ocorrendo 30 ciclos por hora, em média. As autoclaves ficam ligadas 12 horas durante todos os dias do ano, porém, segundo a gerência de manutenção, elas ficam indisponíveis durante cerca de cinco horas por semana, para manutenção preventiva ou corretiva. O consumo anual com as autoclaves, estimado conforme equação 14 é de 29,32MWh, que corresponde a cerca de 0,9% do consumo total do estabelecimento.

4.3.11 Hemodiálise

O setor de hemodiálise do HPRB possui 22 máquinas ativas e uma reserva. Todas alimentadas em 220V, que absorvem juntas 13,61kW durante o ciclo de trabalho e 12,27kW durante o ciclo de limpeza. Segundo a chefia do setor, cada máquina realiza três diálises diariamente, cada uma com duração de quatro horas. Entre as diálises é necessária uma hora para limpeza da máquina. O setor funciona todos os dias do ano, exceto aos domingos, entre 7 e 22 horas. Ainda segundo a chefia do setor, em média, as máquinas ficam indisponíveis durante três dias por ano para manutenção corretiva, já que as preventivas são realizadas após o expediente do setor. O consumo anual estimado conforme a Equação 18, é de 56,02kWh, que equivale a cerca de 1,8% do consumo total do hospital.

4.4 Uso Final com Iluminação Artificial do Hospital

Utilizando-se a metodologia proposta, pôde-se calcular os usos finais de energia elétrica do HPRB, os quais, com suas respectivas representatividades em relação ao consumo total anual do estabelecimento

para o ano-base de 2008 estão resumidas na Tabela 21.

Tabela 21. Consumo anual do hospital regional de Betim por usos finais.

Sistema	Consumo	
	[kWh]	[%]
Condicionamento Ambiental	991.744,89	31,89
Ar comprimido e fábrica de oxigênio	486.974,94	15,66
Produção de vácuo	45.276,40	1,46
Exaustão e ventilação mecânica	142.098,59	4,57
Produção de vapor	22.325,35	0,72
Aquecimento de água	177.358,19	5,70
Apoio aos exames clínicos	6.251,11	0,20
Transporte vertical	86.838,63	2,79
Lavanderia	43.298,41	1,39
Cocção de alimentos	69.235,55	2,23
Esterilização de instrumentos	29.321,49	0,94
Hemodiálise	56.022,40	1,80
Iluminação e tomadas	953.366,06	30,65
Total	3.110.112,00	100,00

Na Tabela 21, obteve-se o valor do uso final com iluminação e tomadas a partir da Equação 3, quer seja, da diferença entre o consumo total do hospital e os demais usos finais.

A consolidação do uso final com iluminação e tomadas, foi realizada ao se comparar o consumo calculado pela referida Equação 3 com o diagnóstico energético realizado em todo o hospital, no que se refere à iluminação e aos equipamentos ligados nas tomadas.

4.4.1 Diagnóstico Energético

As atividades desenvolvidas do primeiro ao quinto pavimento são semelhantes a nível de necessidades luminosas, entretanto, são bastante diferentes quanto ao tipo e ao regime de funcionamento dos equipamentos conectados nas tomadas. Isto se dá em função das diferentes especialidades de cada pavimento e/ou ala. Em todos os pavimentos a predominância é de enfermarias e salas de repouso para pacientes, nas diversas especialidades. Exceção feita apenas para o quinto pavimento, onde, em uma ala encontra-se um dos dois blocos cirúrgicos existentes, sendo o

outro localizado no pavimento térreo.

Embora as atividades desenvolvidas nos citados pavimentos sejam semelhantes, a estimativa de consumo não pode ser feita em um só pavimento e extrapolado para os demais, pois há particularidades de funcionamento de equipamentos em cada pavimento em função da especialidade médica. Assim, elaborou-se o diagnóstico energético para cada pavimento. A partir dos valores encontrados, estabeleceu-se o valor da densidade anual de consumo, para cada pavimento, em kWh/m². O valor da densidade de consumo anual pode ser utilizado como referência para projeções de consumo em pesquisas de ambientes semelhantes. A Tabela 22 e a Tabela 23 relacionam os valores encontrados.

Tabela 22. Diagnóstico energético do sistema de iluminação dos pavimentos.

Pavimento	Especialidade	Iluminação		
		Consumo		Dens. consumo
		[kWh/ano]	[%]	[kWh/m ² .ano]
Primeiro	Pediatria	78.622,07	83	86,62
Segundo	Clínica médica	36.233,27	77	39,92
Terceiro	Clínica cirúrgica	33.292,66	88	36,68
Quarto	Maternidade e neonatologia	41.501,76	61	45,72
Quinto	Clínica neurológica	25.143,21	84	27,70
Total		214.792,97	78	47,33

Tabela 23. Diagnóstico energético do sistema de tomadas dos pavimentos.

Pavimento	Especialidade	Tomadas		
		Consumo		Dens. consumo
		[kWh/ano]	[%]	[kWh/m ² .ano]
Primeiro	Pediatria	16.134,40	17	17,78
Segundo	Clínica médica	10.529,10	23	11,60
Terceiro	Clínica cirúrgica	4.340,02	12	4,78
Quarto	Maternidade e neonatologia	26.072,91	39	28,73
Quinto	Clínica neurológica	4.667,84	16	5,14
Total		61.744,28	22	13,61

A partir do diagnóstico energético de todos os ambientes, elaborou-se a estimativa do consumo com iluminação do pavimento térreo, da cobertura e da área externa do HPRB, cujos valores estão relacionados na Tabela 24 e Tabela 26.

Tabela 24. Diagnóstico energético do sistema de iluminação do pavimento térreo, cobertura e área externa.

Pavimento	Iluminação		
	Consumo		Dens. consumo
	[kWh/ano]	[%]	[kWh/m ² .ano]
Térreo	554.824,28	75	41,22
Cobertura	1.788,15	100	1,97
Área externa	64.746,86	100	7,44
Total	621.359,30	77	

Tabela 25. Diagnóstico energético do sistema de tomadas do pavimento térreo, cobertura e área externa.

Pavimento	Tomadas		
	Consumo		Dens. consumo
	[kWh/ano]	[%]	[kWh/m ² .ano]
Térreo	182.124,80	25	13,53
Cobertura	0,00	0	0,00
Área externa	0,00	0	0,00
Total	182.124,80	23	

No Apêndice 9 encontra-se uma pequena amostra dos levantamentos e cálculos efetuados durante o diagnóstico energético realizado.

De forma a referendar o diagnóstico energético realizado, foram escolhidos dois QDL (QDL-Lavanderia e QDL-Refeitório). Em cada um deles foram realizadas medições de consumo durante 24 horas. Os valores obtidos foram comparados com o diagnóstico energético destes ambientes, apresentando os resultados mostrados na Tabela 26.

Tabela 26. Confronto de medições com o diagnóstico energético do refeitório e da lavanderia durante 24 horas.

	Medido [kWh]	Projetado [kWh]	Proj. / Med.
QDL - Refeitório Iluminação		20,97	

Tabela 26. Confronto de medições com o diagnóstico energético do refeitório e da lavanderia durante 24 horas (cont.).

		Medido	Projetado	
		[kWh]	[kWh]	Proj. / Med.
QDL - Refeitório	Tomadas		20,16	
	Total	42,53	41,13	-3,30%
QDL - Lavanderia	Iluminação		34,69	
	Tomadas		5,77	
	Total	39,49	40,47	2,48%

Como pode-se observar na Tabela 26, o valor projetado a partir do diagnóstico energético foi subestimado em 3,30% para o QDL-Refeitório e superestimado em 2,48% para o QDL-Lavanderia. Valores estes bastante próximos da margem de erro de medição dos analisadores de energia utilizados, no caso -2,02% a +4,60%, definida no Apêndice 2, confirmando a confiabilidade do diagnóstico energético.

4.4.2 Determinação do Uso Final com Iluminação

O consumo total anual estimado através do diagnóstico energético com iluminação e tomadas do HPRB, calculado como a soma dos valores estimados do primeiro ao quinto pavimentos, do pavimento térreo, da cobertura e da área externa, de acordo com o denominado ‘método 2’ da seção 3.3.1, é de 1.080.021,34kWh.

Considerando-se a conjunção dos erros sistemáticos dos instrumentos de medição com as variações de tensão, conforme exposto no Apêndice 2, o valor verdadeiro do consumo acima citado, tomando como referência as medições feitas pela concessionária e registradas nas contas de energia, pode estar situado entre 1.054.964,85 e 1.132.942,39kWh/ano. Estes consumos superam o valor estimado através do ‘método 1’, definido na seção 3.3.1 e apresentado na Tabela 21, entre 10,7% e 18,8% respectivamente.

Com raciocínio análogo, o valor verdadeiro da soma das estimativas de consumo anual dos demais usos finais, cujo valor é de 2.156.745,94kWh, apresentado na Tabela 21, pode estar situado entre 2.135.178,48 e 2.234.388,79kWh.

Em termos gerais, considerando-se as variações de consumo supra citadas, tanto do sistema de iluminação e tomadas quanto dos demais usos finais, o consumo anual total verdadeiro do HPRB pode estar situado entre 3.190.143,33 e 3.367.331,18kWh, ou seja, um desvio mínimo

de 2,57% e máximo de 8,27%, com média de 5,42%, em relação ao consumo registrado nas contas de energia no ano de 2008, que foi de 3.110.112,00kWh.

Este autor considera aceitável o desvio entre o consumo total do hospital registrado nas contas de energia e aquele projetado através das estimativas dos usos finais, incluindo-se as projeções do diagnóstico energético. Logo, admitir-se-á que o uso final anual em iluminação e tomadas do HPRB, calculado através da Equação 3, representa com boa precisão estes usos finais, cujo valor, apresentado na Tabela 21, vale 953.366,06kWh, que representa 30,65% do consumo global do estabelecimento. Ademais, como este valor é inferior àquele estimado através do diagnóstico energético, corrobora ainda mais com a possibilidade de benefícios superiores aos calculados nesta dissertação.

Em relação ao consumo global com iluminação e com os aparelhos ligados nas tomadas, pode-se observar através da Tabela 27 que o uso final apenas com iluminação representa cerca de 77% do total. Conclui-se, portanto, que o uso final com iluminação representa 23,7% do consumo total do HPRB, enquanto que o consumo dos aparelhos ligados nas tomadas representa 6,9%. A Figura 34 mostra a desagregação dos usos finais do HPRB.

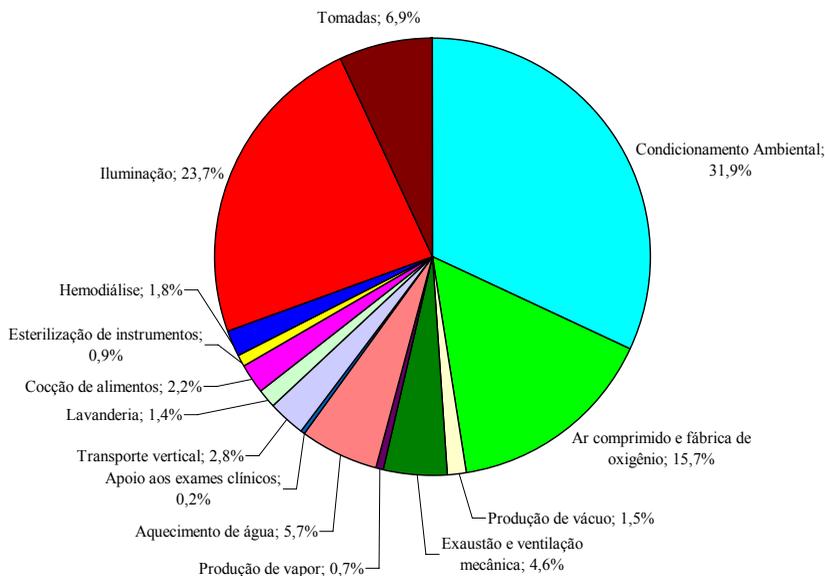


Figura 34. Usos finais desagregados do hospital regional de Betim.

Tabela 27. Diagnóstico energético de iluminação e tomadas do HPRB.

Pavimento	Iluminação		Tomadas	
	Consumo		Consumo	
	[kWh/ano]	[%]	[kWh/ano]	[%]
Térreo	554.824,28	75,3	182.124,80	24,7
Cobertura	1.788,15	100,0	0,00	0,0
Área externa	64.746,86	100,0	0,00	0,0
1o. ao 5o. Pavto.	214.792,97	77,7	61.744,28	22,3
Total	836.152,26	77,4	243.869,08	22,6

4.5 Medição dos Atuais Níveis de Iluminância Artificial

Para a medição dos atuais níveis de iluminação artificial, foram escolhidos ambientes representativos de cada nível de iluminância requerido, para cada faixa de índice de ambiente definida na seção 3.6.2. Além disto, os mesmos também foram divididos segundo o princípio de funcionamento das lâmpadas existentes. Aos critérios citados, adicionou-se outro, quer seja, a escolha dos ambientes pela facilidade de acesso e pela inexistência de lâmpadas queimadas ou luminárias com defeito.

4.5.1 Ambientes Comuns da Área Hospitalar

A Tabela 28 mostra a relação dos ambientes escolhidos bem como os alguns parâmetros obtidos para os locais onde a iluminação é fluorescente. Entretanto, as enfermarias não foram contempladas, uma vez que nestes ambientes há iluminação fluorescente e incandescente concomitantemente, as quais serão estudadas separadamente na seção 4.5.3.

A coluna ‘Item da NBR-5413:1992’, refere-se ao item da citada norma que foi observado para a determinação do nível de iluminância requerido. As designações das sub-classes A, B e C também referem-se aos critérios definidos pela norma de acordo com a seção 3.6.2. A coluna ‘Em/En’ mostra percentualmente a relação entre a iluminância média medida (Em) com os atuais sistemas e a necessária (En) sugerida pela ABNT. Para algumas faixas de índices de ambientes não há ambientes que as representem, as quais estão omitidas na Tabela 28.

Ao se comparar a eficiência obtida das luminárias para uma base de 100 lux, com as recomendações do RTQ-C (Brasil, 2009) para o nível D (menos eficiente), observa-se claramente a obsolescência dos equipamentos de iluminação. No caso mais crítico, a eficiência do sistema de iluminação do posto de enfermagem está quase onze vezes inferior ao desejado, mesmo assim atingindo apenas cerca de 33% do nível de iluminância necessário.

Tabela 28. Ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes escolhidos para medição de iluminância artificial.

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Em / En	Item na NBR 5413: 1992	Densidade de Potência [W/m²/ 100 lux]	Recomendação Portaria 163 (Nível D) [W/m²/ 100 lux]	Relação (Atual : Desejado)
50	$K \leq 0,5$	Depósito de Material de Limpeza	61,8%	A2	10,85	6,92	1,6 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Vestiário Masculino	-1,0%	A2	17,31	4,86	3,6 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Vestiário Masculino	8,9%	A2	25,94	3,90	6,7 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Vestiário Feminino	6,9%	A2	22,53	3,57	6,3 : 1
75	$K \leq 0,5$	Sala do <i>fan coil</i>	-25,7%	A2	37,04	6,92	5,4 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala do <i>fan coil</i>	-10,0%	A2	33,70	4,86	6,9 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Subestação secundária	13,3%	A2	16,61	3,90	4,3 : 1

Tabela 28. Ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes escolhidos para medição de iluminância artificial (cont.).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Em / En	Item na NBR 5413: 1992	Dens. de Potência [W/m²/ 100 lux]	Recom. Port. 163 (Nível D) [W/m²/ 100 lux]	Relação (Atual : Desejado)
100	$K \leq 0,5$	Circulação interna	-60,5%	5.3.28	32,39	6,92	4,7 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Circul. interna (CTI-BC)	-43,0%	A3	11,50	4,86	2,4 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de estar de pessoal	-2,4%	A2	12,94	3,90	3,3 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Guarda mat. esterilizado	10,2%	A3	13,14	3,57	3,7 : 1
	$2,0 < K \leq 3,0$	Refeitório	-50,1%	B3	30,92	3,17	9,8 : 1
150	$K \leq 0,5$	Arsenal	-21,3%	5.3.28	34,06	6,92	4,9 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala de espera da hemodiálise	-70,2%	A3	38,85	4,86	8,0 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de espera do bloco cirúrgico	-5,3%	A3	8,98	3,90	2,3 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Sala de observação ortopédica masculina	20,0%	5.3.28	27,29	3,57	7,6 : 1

Tabela 28. Ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes escolhidos para medição de iluminância artificial (cont.).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Em / En	Item na NBR 5413: 1992	Dens. de Potência [W/m²/ 100 lux]	Recom. Portaria 163 (Nível D) [W/m²/ 100 lux]	Relação (Atual : Desejado)
150	$2,0 < K \leq 3,0$	Setor de cocção de alimentos	-8,1%	5.3.28	9,29	3,17	2,9 : 1
200	$K \leq 0,5$	Sala da assistente social	-44,1%	A4	36,07	6,92	5,2 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Laboratório de bioquímica	-33,5%	5.3.28	15,99	4,86	3,3 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de descanso	-39,8%	A4	16,34	3,90	4,2 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Serralheria	-81,4%	A4	16,59	3,57	4,6 : 1
	$2,0 < K \leq 3,0$	Almoxarifado	-22,7%	A4	8,19	3,17	2,6 : 1
	$K > 3,0$	Lavanderia	-66,1%	5.3.54	22,55	2,89	7,8 : 1
300	$K \leq 0,5$	Chefia	-46,9%	A4	15,99	6,92	2,3 : 1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Higienização de mãos	-72,1%	A4	21,12	4,86	4,3 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Posto de enfermagem	-67,6%	A4	40,84	3,90	10,5 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	CTI neonatal	-56,0%	A4	15,41	3,57	4,3 : 1
	$2,0 < K \leq 3,0$	CME	-44,7%	5.3.28	14,24	3,17	4,5 : 1

Tabela 28. Ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes escolhidos para medição de iluminância artificial (cont.).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Em / En	Item na NBR 5413: 1992	Dens. de Potência [W/m²/ 100 lux]	Recom. Portaria 163 (Nível D) [W/m²/ 100 lux]	Relação (Atual : Desejado)
300	$K > 3,0$	Hemodiálise	-62,8%	B4	11,42	2,89	4,0 : 1
500	$0,5 < K \leq 1,0$	Suturas e curativos	-68,8%	B1	27,60	4,86	5,7 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de cirurgia geral 4	9,8%	5.3.28	4,40	3,90	1,1 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Sala multiuso	-67,9%	B1	8,04	3,57	2,3 : 1
750	$K \leq 0,5$	Sem representatividade				6,92	
	$0,5 < K \leq 1,0$	Chefia da manutenção	-78,2%	B1	13,50	4,86	2,8 : 1
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala do faturamento	-66,6%	B1	5,57	3,90	1,4 : 1
	$1,5 < K \leq 2,0$	Manutenção elétrica e eletrônica	-89,2%	B1	14,12	3,57	4,0 : 1

A Tabela 29 apresenta os ambientes onde a iluminação artificial é por incandescência, exceto enfermarias, pelos motivos já expostos anteriormente. As demais faixas de iluminância e de índice de ambientes não relacionados na tabela não têm representatividade.

A mesma comparação feita para os ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes, também pode ser re-

petida aqui. Na melhor situação, a eficiência do sistema de iluminação das instalações sanitárias é 4,7 vezes inferior ao desejado, produzindo um nível de iluminação cerca de 68% inferior ao necessário.

Tabela 29. Ambientes iluminados por lâmpadas incandescentes escolhidos para medição de iluminância artificial.

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Em / En	Item na NBR 5413: 1992	Densidade de Potência [W/m²/ 100 lux]	Recomendação Portaria 163 (Nível D) [W/m²/ 100 lux]	Relação (Atual : Desejado)
75	1,0 < K ≤ 1,5	Sala do gerador	-70,2%	A2	64,23	3,90	16,5 : 1
	2,0 < K ≤ 3,0	Subestação principal	-57,5%	A2	24,75	3,17	7,8 : 1
150	K ≤ 0,5	Instalação sanitária	-68,1%	5.3.28	32,54	6,92	4,7 : 1
	1,0 < K ≤ 1,5	Sala ráios-x 1	-67,6%	5.3.63	31,34	3,90	8,0 : 1
200	0,5 < K ≤ 1,0	Ultrassonografia	-88,5%	5.3.54	62,14	4,86	12,8 : 1
	1,0 < K ≤ 1,5	Mamografia	-86,2%	5.3.54	48,24	3,90	12,4 : 1
	1,5 < K ≤ 2,0	Tomografia	-68,7%	B4	24,92	3,57	7,0 : 1

Mediu-se também as atuais condições da iluminação externa, a qual é constituída por luminárias e lâmpadas a vapor de mercúrio. O primeiro ambiente medido é parte do estacionamento defronte a fachada principal do hospital. Tomou-se alguns pontos de medição sobre os locais onde há maior frequência de estacionamento de veículos, portanto, de trânsito de pessoas. Estes pontos, marcados como E1 a E11 e os postes de iluminação com uma altura de 25m, marcados como P1 a P6, podem ser visualizados na Figura 72 do Apêndice 6.

O outro ambiente monitorado é parte da rua existente na fachada leste do hospital, na qual existem luminárias e lâmpadas a vapor de mercúrio, instaladas em postes de 9m de altura. Tomou-se alguns pontos de medição aproximadamente no centro da rua para a avaliação das condições de iluminância.

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 30. Percebe-se que a iluminação do estacionamento é 45% inferior às necessidades de iluminação do ambiente. Considerou-se 20 lux como a iluminância mínima necessária para a iluminação dos ambientes supra citados, conforme recomendado por Philips (1982), para áreas de externas de circulação.

Tabela 30. Medição de iluminância artificial dos ambientes iluminados por lâmpadas a vapor de mercúrio.

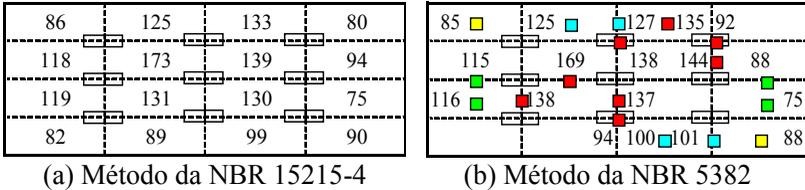
Iluminância Necessária (En) [lux]	Ambiente	Iluminância Medida (Em) lux	Em / En	Dens. de Potência [W/m²]	Eficiência Energética [W/m²/100 lux]
20	Estacionamento	11	-45,0%	3,21	29,17
	Rua leste	18	-12,0%	4,39	24,93

Com respeito aos critérios utilizados para medição de iluminação artificial, nota-se que uma grande parte dos ambientes do HPRB tem formatos não regulares (não retangulares), outra parte, mesmo que regulares, tem a distribuição de luminárias de forma irregular (sem simetria), não permitindo, portanto, a aplicação direta da metodologia da norma NBR 5382. Desta forma, a medição de iluminâncias foi feita utilizando-se o método alternativo “medição de iluminância pela NBR 15215-4”, conforme definida na seção 3.6.1.

Para que se possa comparar os resultados obtidos com a aplicação da metodologia alternativa, com aqueles que seriam obtidos através do emprego direto da metodologia prevista na norma NBR 5382, tomou-se aleatoriamente dois ambientes, que se enquadram no perfil referido na citada norma da ABNT. Estes dois ambientes são a sala de guarda de material esterilizado e a sala de espera do centro cirúrgico, ambos localizados no pavimento térreo.

A Figura 35(a) mostra a divisão da sala de material esterilizado em células e o respectivo valor medido de iluminâncias no centro de cada uma, utilizando-se o método alternativo de medição. A Figura

35(b) mostra o mesmo ambiente, porém indicando os pontos de medição posicionados de acordo com a norma da ABNT. Os pontos vermelhos referem-se aos denominados pontos r_1 a r_n da norma, os azuis são os pontos q_1 a q_n , os verdes são os pontos t_1 a t_n e os amarelos referem-se aos pontos p_1 e p_2 .

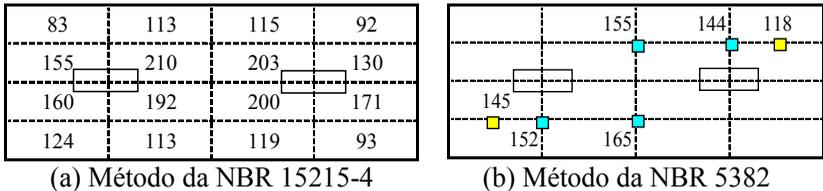


(a) Método da NBR 15215-4

(b) Método da NBR 5382

Figura 35. Pontos de medição de iluminância na sala de material esterilizado.

A Figura 36(a) mostra os pontos de medição na sala de espera do centro cirúrgico, utilizando-se o método alternativo de medição, e a Figura 36(b) mostra o mesmo ambiente indicando os pontos de medição posicionados de acordo com a norma da ABNT.



(a) Método da NBR 15215-4

(b) Método da NBR 5382

Figura 36. Pontos de medição de iluminância na sala de espera do centro cirúrgico.

A Tabela 31, relaciona as principais características dos ambientes, bem como os valores de iluminância medidos pelas duas formas.

Tabela 31. Comparação entre métodos diferentes de medição de iluminância.

Características do Ambiente	Ambiente	
	Sala de material esterilizado	Sala de espera do centro cirúrgico
Comprimento [m]	8,7	5,8
Largura [m]	7,2	4,0

Tabela 31. Comparação entre métodos diferentes de medição de iluminância (cont.).

Características do Ambiente	Ambiente	
	Sala de material esterilizado	Sala de espera do centro cirúrgico
Pé-direito [m]	3,1	3,0
Altura entre piso e luminária [m]	3,0	3,0
Altura do plano de trabalho [m]	0,8	0,8
(B) Iluminância (NBR 5382)	115,0	142,8
(A) Iluminância (NBR 15215-4)	110,2	142,1
A/B x 100%	4,4%	0,5%

Após constatada a normalidade estatística dos dados e verificado que não existem valores espúrios, pôde-se elaborar um estudo no sentido de se verificar através de prova de hipóteses a respeito das médias das iluminâncias obtidas pelos dois métodos, (A) e (B) da Tabela 31, para cada um dos ambientes. O estudo baseou-se na aplicação da análise de variâncias (ANOVA). A finalidade é de se verificar se as médias são equivalentes estatisticamente, o que foi comprovado, ou seja, com 95% de confiança, não se pode desprezar a hipótese das médias serem iguais, para ambos os ambientes. Portanto, pode-se aplicar qualquer um dos métodos apresentados, que os resultados serão semelhantes.

4.5.2 Salas de Cirurgia

Devido à dificuldade de permissão de acesso e permanência nas salas de cirurgia, optou-se por não medir os níveis atuais de iluminância destes ambientes. Foi realizada uma pesquisa entre os principais profissionais que utilizam estes ambientes, quer seja, médicos e enfermeiros, sobre como se sentem em relação ao conforto luminoso geral do recinto durante uma sessão cirúrgica.

De um universo de 31 médicos, 74,2% responderam a pesquisa, enquanto que do total de 33 enfermeiros, 78,8% o fizeram. Os resultados podem ser observados através da Figura 37, que demonstra que a maioria dos profissionais se sentem confortáveis, quanto à iluminação geral das salas de cirurgia. O questionário ficou à disposição da equipe durante uma semana, colocado sobre o balcão da recepção interna do centro cirúrgico do pavimento térreo. A resposta aos questionários foi motivada por uma enfermeira do setor.

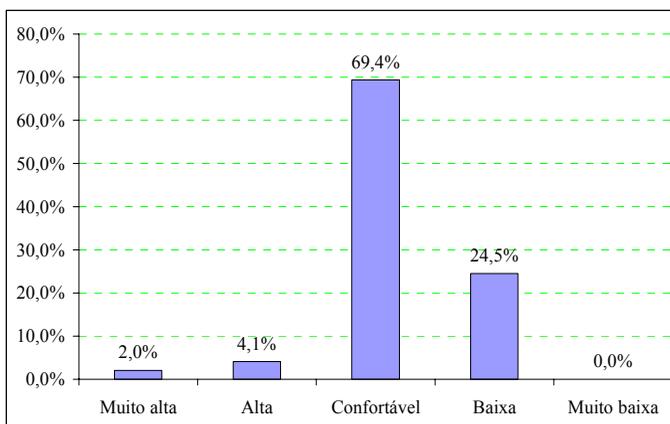


Figura 37. Resposta à pesquisa sobre o nível de iluminância nas salas de cirurgia.

Conforme era de se esperar, a sensação de luminosidade mais intensa (alta e muito alta) no ambiente ocorre com os profissionais de faixa etária não superior a 40 anos, conforme pode ser observado na Figura 38 e com maior frequência entre os enfermeiros e os médicos também com idade menor que 40 anos. A população de médicos com idade inferior a 40 anos representa cerca de 75% dos que responderam a pesquisa e dos enfermeiros o percentual é de 50%.

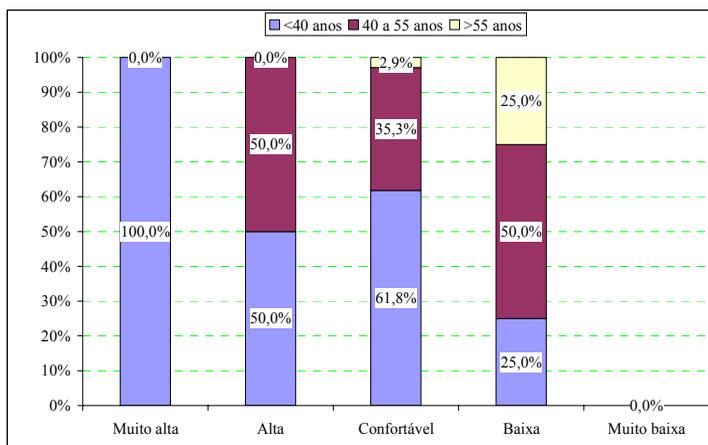


Figura 38. Sensação de intensidade luminosa por faixa etária.

Como a pesquisa apontou para um nível confortável de iluminação, o nível de iluminância atual será mantido. A determinação da iluminância atual será obtida por simulação computacional. As características da sala de cirurgia número 4, foram informadas por uma enfermeira do setor, após medições efetuadas. Os valores indicaram o comprimento de 7,1m, largura de 4,7m e pé-direito de 3,0m. A altura do plano de trabalho (mesa de cirurgia) é de 0,90m e das escrivaninhas e mesas auxiliares de 0,80m. A cor do teto é branca, paredes azul claro e piso cinza. Constatou-se também que existem oito luminárias com lâmpadas fluorescentes e uma torre de luminárias específica para a mesa de cirurgia.

Em complemento, o setor de manutenção informou que as luminárias existentes são de fabricação Itaim, referência 206, com lâmpada extra luz do dia, compostas por duas lâmpadas de 40W. O fabricante informou que esta luminária foi descontinuada da linha atual de fabricação. Para que se pudesse fazer a simulação, construiu-se o diagrama fotométrico da mesma, com o *software* Lumdat, a partir das informações disponíveis em um antigo catálogo do fabricante.

Considerando-se como 2550 lumens o fluxo luminoso médio emitido pelas lâmpadas de 40W recém-adquiridas pelo hospital, o resultado da simulação apontou para um nível de iluminância médio de 549lux sobre o plano de trabalho, considerado a 0,80m do piso. Esta iluminância é cerca de 10% superior ao valor mínimo (500 lux) sugerido pela norma NBR 5413 (ABNT, 1992). Considerou-se o fator de manutenção total de 0,80, pois, segundo a enfermeira-chefe, o ambiente sofre limpezas com alta frequência, inclusive as luminárias e lâmpadas, embora não sejam limpas com a mesma frequência do ambiente. Considerou-se para o teto a refletância de 70%, paredes 50% e piso 20%. Estes valores não foram medidos e sim utilizados valores médios, conforme definido na metodologia.

Sobre a mesa de cirurgia a iluminância média é de 652 lux, não considerando a iluminância do sistema de iluminação específico de mesa de cirurgia.

Embora a iluminância geral esteja dentro dos limites aceitáveis, pode-se constatar a ineficiência do sistema de iluminação, onde a densidade de potência instalada ($4,40\text{W}/\text{m}^2$ para cada 100lux) supera em cerca de 2% a recomendação de densidade máxima de potência instalada para o nível D (menos eficiente) e cerca de 107% se considerar-se exigências maiores, como o nível A.

A Figura 39 mostra o modelo utilizado para simulação da iluminância atual. A disposição das luminárias e móveis foi informada pela

enfermagem.

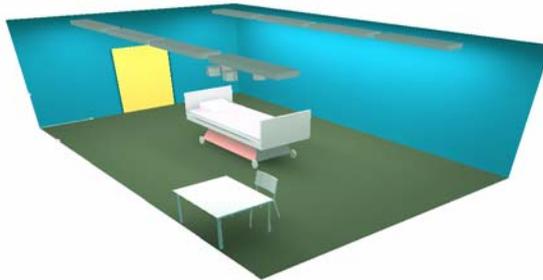


Figura 39. Modelo para simulação de cálculo de iluminância da sala de cirurgia 4.

4.5.3 Enfermarias

Nas enfermarias hospitalares é bastante comum a utilização de iluminação lateral, como é o caso do Hospital Regional de Betim, onde sobre cada leito existe um ponto de iluminação incandescente de 60W e sobre a porta de entrada, uma luminária auxiliar com difusor leitoso com duas lâmpadas fluorescentes T12 de 40W.

A luminária auxiliar geralmente fica ligada durante 24 horas por dia e as lâmpadas sobre os leitos são ligadas eventualmente pelos próprios pacientes ou pelos profissionais de saúde. As fotos da iluminação de uma enfermaria típica podem ser observadas na Figura 40.



Iluminação lateral sobre os leitos



Iluminação auxiliar sobre a porta

Figura 40. Detalhe da iluminação das enfermarias.

As medições realizadas nas enfermarias apontaram níveis de eficiência energética muito baixos. O melhor resultado foi obtido na

enfermaria 215, mesmo assim a eficiência é mais de sete vezes inferior ao desejado, produzindo uma iluminância cerca de 83% inferior sugerido pela norma NBR 5413 (ABNT, 1992).

A Tabela 32 apresenta dados exclusivos da iluminação geral das enfermarias (ponto de luz auxiliar sobre a porta de entrada).

O valor adotado de 100 lux como a iluminância adequada para as enfermarias, pelos motivos apontados na metodologia, é corroborado ainda pelo fato que a maioria (61,5%) dos pacientes que frequentaram o Hospital Regional de Betim nos últimos cinco anos têm idade inferior a 40 anos, conforme informações do setor de estatística hospitalar.

A medição da iluminância vertical próximo à maçaneta da porta dos banheiros variou entre 13 e 15 lux, quando iluminado apenas pela luminária sobre a porta de entrada da enfermaria e pelo ponto sobre o leito mais distante. Os valores encontram-se, portanto, dentro da faixa de 5 a 20lux, recomendados por Philips (1981).

A medição sobre os leitos, considerando-se a iluminação geral em conjunto com iluminação produzida pela luminária do próprio leito apontou para um valor médio de 24lux, muito aquém, portanto, dos 150 lux mínimos recomendados pela ABNT.

Tabela 32. Medição de iluminância artificial das enfermarias.

Iluminância necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Ambiente	Em / En	Item na NBR 5413:1992	Eficiência energética [W/m ² / 100 lux]	Recom.	Relação (atual : desejado)
						Port. 163 (Nível D) [W/m ² / 100 lux]	
100	1,0 < K ≤ 1,5	Enfermaria 212 - 2L	-82,3%	5.3.28	45,81	3,90	11,7 : 1
	1,5 < K ≤ 2,0	Enfermaria 216 - 2L	-82,5%	5.3.28	34,85	3,57	9,8 : 1
	2,0 < K ≤ 3,0	Enfermaria 215 - 4L	-83,1%	5.3.28	23,08	3,17	7,3 : 1

4.6 Projeto Luminotécnico

Devido à diversidade de ambientes existentes em um hospital, para o cálculo do novo projeto luminotécnico, os ambientes serão agrupados por níveis de iluminância requerida e por faixas de índices de ambiente. Os valores adotados para as iluminâncias médias requeridas serão aqueles sugeridos pela norma NBR 5413 (ABNT, 1992). Nos ambientes hospitalares não contemplados pela citada norma, as iluminâncias adotadas serão aquelas sugeridas por outros órgãos já citados nesta dissertação.

Ambientes que apesar de integrarem o complexo hospitalar, não sejam citados especificamente na referida norma, mas que também sejam comuns em outros tipos de edificações, como por exemplo, salas de administração, bibliotecas, depósitos, entre outros, terão a determinação da iluminância necessária conforme sugerido pela ABNT, em função da idade média dos ocupantes, da velocidade e precisão da tarefa a ser realizada e da refletância do fundo da tarefa.

De forma a simplificar os cálculos, a idade média dos ocupantes do hospital será considerada como superior a 40 e inferior a 55 anos, embora a idade da maioria das pessoas que frequentam o hospital seja inferior a 40 anos, conforme levantamento realizado que abrangeu o período de janeiro de 2005 a julho de 2009. Nos 55 meses analisados, a pesquisa apontou 61,5% dos pacientes com idade inferior a 40 anos, 11,4% com idade entre 40 e 55 anos e 27,1% com idade superior a 55 anos. Da mesma forma, a maioria dos profissionais que trabalham atualmente no HPRB, tem idade inferior a 40 anos, representando 83,7% da população, 11,7% com idade entre 40 e 55 anos e 4,6% com idade superior a 55 anos.

Os dados supra citados foram obtidos com gerência de estatística hospitalar e com a Secretaria de Administração da Prefeitura Municipal de Betim.

A utilização da faixa etária intermediária, portanto, corrobora ainda mais com o conforto luminoso dos ambientes. Todavia nos locais onde, por exigência ou por necessidade, seja determinante que os profissionais tenham uma faixa etária específica, poderão ser utilizadas faixas de idade diferentes da intermediária.

A título ilustrativo, já que a quantidade de dados é muito elevada para ser inserida neste trabalho, no Apêndice 10 pode-se observar o modelo de planilha utilizada para a escolha do nível de iluminância a ser adotado nos ambientes. Em função da refletância do fundo da tarefa, da velocidade e precisão, bem como de outros parâmetros, chega-se à

definição de qual nível de iluminância que deve ser adotado, conforme lá exemplificado com alguns ambientes.

Após o cálculo da quantidade de luminárias necessárias para cada tipo de ambiente, calculou-se também a densidade de luminárias (lum/m^2). Os valores servirão de base para cálculo da quantidade total de luminárias do hospital.

4.6.1 Ambientes Escolhidos como Representativos para os Cálculos Luminotécnicos

Para a elaboração do cálculo luminotécnico foram escolhidos ambientes representativos de cada nível de iluminância requerido, para cada uma das seis faixas de índice de ambiente definidas na metodologia. Além disto, os mesmos também foram divididos segundo o princípio de funcionamento das lâmpadas atualmente existentes, exceto nas enfermarias, onde elaborou-se um estudo separado, por existirem nestes ambientes lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

A Tabela 33 apresenta os ambientes onde a iluminação artificial é feita exclusivamente por incandescência. A coluna “Item da NBR-5413-1992”, refere-se ao item da citada norma que foi observado para a determinação do nível de iluminância requerido. As designações das sub-classes A, B e C, também referem-se aos critérios definidos pela norma, de acordo com a seção 3.6.2. A coluna “Representatividade em área construída” apresenta a área total dos ambientes do hospital que enquadram-se dentro dos critérios definidos na respectiva linha da tabela. Para algumas faixas de índices de ambientes não há recintos que as representem, as quais estão omitidas na referida tabela.

Tabela 33. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas incandescentes).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Ambiente Representativo	Item na NBR 5413:1992	Representatividade em área construída [%]
75	$1,0 < K \leq 1,5$	1,07	Sala do gerador	A2	0,1%
	$2,0 < K \leq 3,0$	2,15	Subestação principal	A2	0,5%
150	$K \leq 0,5$	0,43	Instalação sanitária	5.3.28	3,3%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,33	Sala raios-x 1	5.3.63	1,3%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,90	Ultrassonografia	5.3.54	0,1%
200	$1,0 < K \leq 1,5$	1,05	Mamografia	5.3.54	0,1%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,68	Tomografia	B4	1,3%
Total					6,83%

A Tabela 34 mostra a relação dos ambientes escolhidos para os locais onde a iluminação é fluorescente. Os demais valores de iluminância necessária e de índices de ambientes não relacionados na tabela não têm representatividade.

Tabela 34. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas fluorescentes).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Ambiente Representativo	Item na NBR 5413:1992	Representatividade em área construída [%]
50	$K \leq 0,5$	0,50	Depósito de Material de Limpeza	A2	0,64%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,76	Vestiário Masculino	A2	2,02%

Tabela 34. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas fluorescentes) (cont.).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Ambiente Representativo	Item na NBR 5413:1992	Representatividade em área construída [%]
50	$1,0 < K \leq 1,5$	1,41	Vestiário Masculino	A2	6,10%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,52	Vestiário Feminino	A2	7,13%
75	$K \leq 0,5$	0,49	Sala do <i>fan coil</i>	A2	0,03%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,72	Sala do <i>fan coil</i>	A2	0,44%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,14	Subestação secundária	A2	0,52%
100	$K \leq 0,5$	0,47	Circulação interna	5.3.28	1,53%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,95	Circul. interna (CTI-BC)	A3	14,42%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,03	Sala de estar de pessoal	A2	13,74%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,75	Guarda mat. esterilizado	A3	2,55%
	$2,0 < K \leq 3,0$	2,07	Refeitório	B3	1,88%
150	$K \leq 0,5$	0,33	Arsenal	5.3.28	0,22%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,86	Sala de espera da hemodiálise	A3	2,50%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,05	Sala de espera do bloco cirúrgico	A3	3,65%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,52	Sala de observação ortopédica masculina	5.3.28	0,27%
	$2,0 < K \leq 3,0$	2,05	Setor de cocção de alimentos	5.3.28	3,80%
200	$K \leq 0,5$	0,49	Sala da assistente social	A4	0,10%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,97	Laboratório de bioquímica	5.3.28	3,14%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,12	Sala de descanso	A4	2,54%

Tabela 34. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (contendo apenas lâmpadas fluorescentes) (cont.).

Illuminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Ambiente Representativo	Item na NBR 5413:1992	Representatividade em área construída [%]
200	$1,5 < K \leq 2,0$	1,79	Serralheria	A4	0,74%
	$2,0 < K \leq 3,0$	2,15	Almoxarifado	A4	1,39%
	$K > 3,0$	3,16	Lavanderia	5.3.54	2,23%
300	$K \leq 0,5$	0,43	Chefia	A4	0,06%
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,74	Higienização de mãos	A4	2,56%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,00	Posto de enfermagem	A4	1,60%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,66	CTI neonatal	A4	0,60%
	$2,0 < K \leq 3,0$	2,05	CME	5.3.28	0,45%
	$K > 3,0$	3,06	Hemodiálise	B4	2,53%
500	$0,5 < K \leq 1,0$	0,68	Suturas e curativos	B1	0,19%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,25	Sala de cirurgia geral 4	5.3.28	2,23%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,76	Sala multiuso	B1	0,62%
750	$0,5 < K \leq 1,0$	0,84	Chefia da manutenção	B1	1,61%
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,05	Sala do faturamento	B1	1,14%
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,78	Manutenção elétrica e eletrônica	B1	0,35%
Total					85,53%

Finalmente, a Tabela 35 apresenta dados exclusivos das enfermarias, onde existem iluminação artificial por meio de lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

Tabela 35. Ambientes escolhidos para o cálculo luminotécnico (enfermarias).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Item na NBR 5413:1992	Representatividade em área construída [%]
100	1,0 < K ≤ 1,5	1,36	Enfermaria 212 (2L)	0,9%
	1,5 < K ≤ 2,0	1,67	Enfermaria 216 (2L)	0,8%
	2,0 < K ≤ 3,0	2,12	Enfermaria 215 (4L)	6,0%
Total				7,64%

4.6.2 Refletâncias das Superfícies dos Ambientes

O pé-direito da maioria dos ambientes do pavimento térreo do HPRB varia entre 4,0 e 7,2 metros. Para os ambientes cujo pé-direito se enquadre na referida faixa, considerou-se o índice de reflexão da luz no teto igual a zero (0%), seja devido a grande distância entre o teto e o plano de trabalho ou devido à grande interferência de tubulações e instalações diversas, que, em muitos ambientes, impedem quase que totalmente a visão do teto. Nos ambientes com pé-direito igual ou menor que quatro metros, considerou-se uma refletância de 70%, embora as medições realizadas nos ambientes de referência, não se encontrou índices inferiores a 71%.

Para as paredes admitiu-se uma refletância de 50%, apesar de que em todos os ambientes monitorados, não se observarem refletâncias inferiores a 64%. Para o piso admitiu-se uma refletância de 20%, não obstante, a medição nesta superfície, não se verificou valores inferiores a 39%. O piso de todo o hospital é de um único tipo de material, sem variações de cor e tonalidade, portanto, as medições podem ser realizadas em um único ambiente, sendo o valor resultante tomado como equivalente para os demais. Os valores de refletâncias utilizados nos cálculos luminotécnicos, portanto, são conservativos e por consequência irão majorar a quantidade de luminárias calculadas, em relação ao que seria realmente necessário no HPRB. No Apêndice 11 encontram-se os valores obtidos para os ambientes analisados e que contêm somente lâmpadas fluorescentes.

4.6.3 Luminárias Seleccionadas

Atendendo às características sugeridas na seção 3.7.3.2, nas próximas subseções são definidas as luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares e para lâmpadas fluorescentes compactas a serem utilizadas no estudo de caso deste trabalho.

4.6.3.1 Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares para Uso Geral

Foram escolhidas duas categorias de luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares para uso geral em todo o hospital: luminárias com refletor de alumínio com aletas brancas (RAAB) e outro modelo também com refletor de alumínio, porém sem aletas (RASA). A relação completa das luminárias RASA e RAAB, dos principais fabricantes nacionais, encontra-se no Apêndice 12.

Das dez marcas mais comercializadas no ano de 2009, segundo a revista *Eletricidade Moderna* (2009), apenas cinco foram lembradas pela qualidade. Destas cinco, apenas quatro possuem catálogos disponibilizados em seus *websites* ou os enviaram após solicitação por *e-mail* e possuem informações suficientes para uma análise técnica.

Estabeleceu-se como o valor mínimo de eficiência aceite para as luminárias, a média aritmética da eficiência de todas as luminárias dos cinco primeiros fabricantes que tiveram suas marcas associadas à qualidade. Todos estes cinco disponibilizaram catálogos com dados disponíveis para uma análise técnica e sobre os quais a média da eficiência foi calculada, são eles: Philips, Itaim, Intral, Lumicenter e Abalux. A ordem apresentada está na mesma sequência mostrada na revista *Eletricidade Moderna* (2010).

Portanto, a partir do levantamento das luminárias disponíveis no mercado nacional, dentro dos critérios arbitrados, seleccionou-se previamente aquelas cujas características, além de enquadrarem-se nos quesitos estabelecidos na Tabela 14 da seção 3.7.3.2, devem possuir rendimento não inferior a 85% para as luminárias RASA e 73% para as RAAB e possuírem versões para uma ou duas lâmpadas.

A Tabela 36 relaciona as luminárias RASA e RAAB pré-seleccionadas em ordem alfabética dos fabricantes, a qual foi elaborada com base nas luminárias dos principais fabricantes nacionais. Entre as luminárias relacionadas na citada tabela que atendem às qualificações necessárias, escolheu-se, para efeito do estudo luminotécnico, aquelas que apresentaram o menor preço e cujos modelos são fabricados nas

versões para uma e para duas lâmpadas. As luminárias escolhidas estão com suas referências comerciais destacadas em negrito na Tabela 36, após orçamento feito em cada um dos fabricantes.

Tabela 36. Luminárias tubulares de uso geral pré-selecionadas.

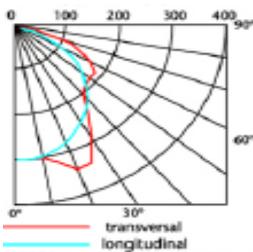
Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendi- mento
Abalux				
BR-08	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
BR-405	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
A-64	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
BR-60	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
BR-421	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
Intral				
RS-832 (05832)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
RS-832 (05832)	T8/1x32W	Alumínio	Branca	75%
LS-832 (08506)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
OS-832 (05981)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
ES-832 (05548)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	74%
RS-812 (05567)	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
RS-812 (05557)	T8/1x32W	Alumínio	sem	84%
LS-812 (05360)	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
OS-812 (05624)	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
OS-812 (05971)	T8/1x32W	Alumínio	sem	84%
AS-810 (05185)	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
AS-810 (05609)	T8/1x32W	Alumínio	sem	86%
BS-810 (05195)	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
ES-812 (05862)	T8/2x32W	Alumínio	sem	87%
Itaim				
3320.232.300	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
4650.232.300	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
Lumicenter				
CAC01-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
CAC01-S232	T8/1x32W	Alumínio	Branca	73%
CAC02-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
CAC03-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
CAC04-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	77%
CAC09-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	79%
CAC09-S132	T8/1x32W	Alumínio	Branca	79%

Tabela 36. Luminárias tubulares de uso geral pré-selecionadas (cont.).

Referência	Lâmpada			Rendimento
	(Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	
CAC10-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	74%
CAC11-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
CAN03-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
CAN06-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	88%
CAN06-S132	T8/1x32W	Alumínio	sem	88%
CAN07-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
CAN16-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
Philips				
TCS050/232-C100	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
TMS600/232-00+RA600	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
TMS600/132-00+RA600	T8/1x32W	Alumínio	Branca	73%

As principais características construtivas informadas nos catálogos dos fabricantes são:

Modelo 1 (RASA): “Fluorescente Tubular. Corpo: Chapa de aço tratada e pintada. Refletor: Facetado em alumínio anodizado brilhante de alta refletância e alta pureza 99,85%. Soquete: Tipo G-13 de engate rápido, rotor de segurança em policarbonato e contatos em bronze fosforoso. Instalação: Sobrepor. Dimensões: Largura: 255 (163) mm, comprimento: 1250mm”. O valor entre parênteses refere-se à largura da versão para uma lâmpada. O diagrama fotométrico e a fotografia da luminária, versão para duas lâmpadas, são mostrados através da Figura 41(a) e Figura 41(b), respectivamente.



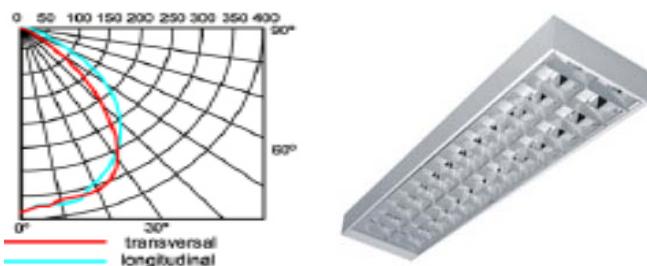
(a) Diagrama fotométrico.



(b) Fotografia da luminária.

Figura 41. Luminária RASA.

Modelo 2 (RAAB): “Fluorescente Tubular. Corpo: Chapa de aço tratada e pintada. Refletor: Facetado em alumínio anodizado brilhante de alta refletância e alta pureza 99,85%. Aletas: Planas em chapa de aço tratada e pintada. Soquete: Tipo G-13 de engate rápido, rotor de segurança em policarbonato e contatos em bronze fosforoso. Instalação: Sobrepor.” Dimensões: Largura: 304 (173) mm, comprimento: 1315mm”. O valor entre parênteses refere-se à largura da versão para uma lâmpada. O diagrama fotométrico e a fotografia da luminária, versão para duas lâmpadas, são mostrados através da Figura 42(a) e Figura 42(b), respectivamente.



(a) Diagrama fotométrico. (b) Fotografia da luminária.

Figura 42. Luminária RAAB.

4.6.3.2 Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares para Uso Específico

Para as enfermarias optou-se por utilizar luminárias com refletor branco com difusor texturizado ou leitoso (RBCD) de forma a privilegiar o conforto visual dos pacientes, que se encontram acamados na maior parte do tempo, portanto, com o campo de visão voltado para o teto do recinto, dificultando desta forma a visualização direta das lâmpadas pelos mesmos.

Para a definição das luminárias RBCD utilizou-se os mesmos procedimentos descritos na subseção 4.6.3.1. A Tabela 37 relaciona em ordem alfabética dos fabricantes, as luminárias pré-selecionadas que são apropriadas para uso nas enfermarias, dentro dos critérios estabelecidos.

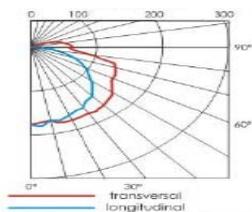
Tabela 37. Luminárias tubulares para uso em enfermarias pré-selecionadas.

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Corpo / cor	Difusor	Rendi- mento
Abalux					
A-432	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Trasnsparente texturizado	80%
A-319 ACL	T8/2x32W	Branco	Chapa de aço/ branca	Poliestireno leitoso	78%
Intral					
VS-860 (08559)	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	84%
VS-860 (08611)	T8/1x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	84%
Itaim					
LPT18	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	74%
Lumicenter					
CHT01-S232	T8/2x32W	Branco	Poliestireno/ cinza	Poliestireno texturizado	80%

A Tabela 37 foi elaborada com base nas luminárias dos principias fabricantes nacionais que produzem equipamentos com difusor, cuja relação completa pode ser encontrada no Apêndice 13, que atendem às qualificações necessárias para efeito do estudo luminotécnico, além de possuírem eficiência não inferior a 73%.

Após orçamento feito em cada um dos fabricantes indicados na Tabela 37, escolheu-se aquela que apresentou o menor preço, cuja referência comercial está destacada em negrito, a qual têm as seguintes características construtivas, informadas no catálogo do fabricante:

Modelo 3 (RBCD): “Lâmpada fluorescente tubular. Corpo policarbonato cinza. Difusor policarbonato transparente texturizado. Soquete tipo *push-in* G-5 de engate rápido, rotor de segurança em policarbonato e contatos em bronze fosforoso. Instalação Sobrepor. Dimensões: Largura: 158mm, comprimento: 1266mm”. O diagrama fotométrico e a fotografia da luminária RBCD, versão para duas lâmpadas, são mostrados através da Figura 43(a) e Figura 43(b), respectivamente.



(a) Diagrama fotométrico.

(b) Fotografia da luminária.

Figura 43. Luminária RBCD.

4.6.3.3 Luminárias para Lâmpadas Fluorescentes Compactas

Nota-se que poucos fabricantes possuem linha de fabricação deste tipo de luminária. Dos que fabricam, poucos disponibilizam dados suficientes para uma análise técnica.

Nas edições número 429 e 430 da revista *Eletricidade Moderna* (2009, 2010), não há pesquisa exclusiva sobre luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas, desta forma optou-se por utilizar a mesma relação de fabricantes de luminárias para lâmpadas tubulares, descrita na subseção anterior, adicionando-se outras marcas à relação, para que se pudesse obter um leque maior de opções. A relação completa das luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas encontra-se no Apêndice 14.

Estabeleceu-se como o valor mínimo de eficiência aceito para as luminárias, a média aritmética da eficiência de todas as luminárias pré-selecionadas. Portanto, a partir do levantamento das luminárias disponíveis no mercado nacional, dentro dos critérios arbitrados, selecionou-se aquelas cujas características enquadram-se nos quesitos estabelecidos e cuja eficiência seja de pelo menos 58% para luminárias com aletas e 65% para luminárias sem.

Observa-se que quase a totalidade das luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas fabricadas são adequadas para duas lâmpadas, inclusive nos catálogos não são apresentados diagramas fotométricos para a utilização de apenas uma lâmpada. Além do mais, em pesquisa de preços realizada, curiosamente o custo das luminárias para uma lâmpada é bastante superior ao custo para duas, infere-se que devido à menor utilização desta última haja um aumento dos custos de produção em função de um possível volume menor de vendas. Seguindo esta tendência da utilização frequente de pares de lâmpadas nas luminárias, os reatores também são encontrados com maior facilidade para duas lâmpadas.

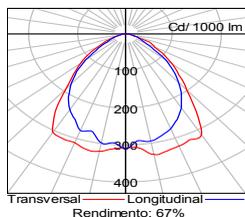
A Tabela 38 relaciona as luminárias selecionadas em ordem alfabética dos fabricantes. Entre os modelos de luminárias relacionados na citada tabela escolheu-se para efeito do estudo luminotécnico aquelas que apresentaram o menor preço, após orçamento feito em cada um dos fabricantes, cujas referências estão destacadas de negrito.

Tabela 38. Luminárias compactas selecionadas.

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aletas	Rendi- mento
Daotec				
3054	PL 2 / 18 a 26W	Alumínio	Branças	61%
Guarilux				
RBC-S	PL 1 e 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	67%
GSAC	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	54%
Indelpa				
DEC396 2x26W	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	66%
Itaim				
Bronze 8192	PL 1 / 18 a 2/42W	Alumínio	Sem	53%
Cobre 8195	PL 1 / 18 a 2/42W	Alumínio	Branças	43%
Lumicenter				
DRN01-S126	PL 1 / 18 a 26W	Alumínio	Sem	56%
DRN03-S226	PL 1 e 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	75%
DRN05-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	72%
DAA09-S226	PL 2 / 9 a 18W	Alumínio	Branças	56%
DAC01-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	60%
DAC06-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	67%

As luminárias escolhidas têm as seguintes características, informadas no catálogo do fabricante:

Modelo 1 (com aletas) “Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor parabólico em alumínio anodizado de alta pureza e refletância e aletas planas em chapa pintada.” O diagrama fotométrico e a fotografia da luminária são mostrados através da Figura 44(a) e Figura 44(b), respectivamente.



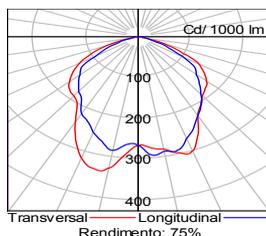
(a) Diagrama fotométrico.



(b) Fotografia da luminária.

Figura 44. Luminária fluorescente compacta, modelo 1.

Modelo 2 (sem aletas): “Luminária cilíndrica de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente e refletor repuxado em alumínio anodizado.” O diagrama fotométrico e a fotografia da luminária são mostrados através da Figura 45(a) e Figura 45(b), respectivamente.



(a) Diagrama fotométrico.



(b) Fotografia da luminária.

Figura 45. Luminária fluorescente compacta, modelo 2.

Observa-se também que a grande maioria das luminárias são fabricadas apenas na versão com aletas. Após pesquisa de preços realizada, verificou-se que, estranhamente, a versão sem aletas é quase o dobro do preço da versão com aletas. Desta forma, adota-se como premissa neste estudo de caso, a utilização apenas das luminárias adequadas a acomodar um par de lâmpadas e na versão com aletas, de sorte que a luminária apresentada na Figura 44 será empregada para todas as situações necessárias, corroborando, inclusive com um melhor controle do ofuscamento direto.

4.6.4 Lâmpadas Selecionadas

Dentre os tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares encontrados com facilidade no mercado, escolheram-se alguns modelos que atendem às características relacionadas na Tabela 13 da seção 3.7.3.1, cujos fa-

bricantes foram os campeões de vendas e tiveram as marcas mais lembradas quanto à qualidade no ano de 2009, segundo a revista Eletricidade Moderna (2009, 2010). Estes modelos estão relacionados em ordem alfabética de fabricante na Tabela 39.

Após cotação de preços nos fabricantes citados na Tabela 39, que produzem lâmpadas de vida mediana mínima de 15000 horas (aproximadamente a média das vidas medianas apresentadas das lâmpadas pré-selecionadas), selecionou-se as de menor custo, cujas referências estão destacados em negrito na referida tabela. Curiosamente os menores preços foram obtidos de um único fabricante e com as lâmpadas de maior vida mediana e melhores eficiências. Como as duas lâmpadas destacadas em negrito possuem o mesmo preço, optou-se por utilizar neste trabalho, aquela de maior eficiência.

Tabela 39. Lâmpadas fluorescentes tubulares pré-selecionadas.

Referência	Bulbo	Eficiência [Lm/W]	Vida Mediana [h]	IRC	TCC [K]	Emissão Luminosa [Lm] a 25°C	Potência [W]
GE							
F32T8/SP X41	T8	92	20000	85	4100	2950	32
F32T8/SP X50	T8	81	20000	85	5000	2600	32
Osram							
FO32W/8 40	T8	84	13000	80-89	4000	2700	32
FO32W/8 50	T8	81	13000	80-89	5000	2600	32
Philips							
TL-RDS32W-S84-ECO	T8	84	15000	85	4000	2700	32
TL-RDS32W-S85-ECO	T8	81	15000	85	5000	2600	32
Sylvânia							
F3B066	T8	90	7500	85	3500	2890	32

Tabela 39. Lâmpadas fluorescentes tubulares pré-selecionadas (cont.).

Referên- cia	Bul- bo	Eficiên- cia [Lm/W]	Vida		TCC [K]	Emissão	
			Me- diana [h]	IRC		Luminosa [Lm] a 25oC	Po- tência [W]
F3B067	T8	84	7500	85	5000	2700	32
F3B068	T8	84	7500	85	4000	2700	32
Média			15136				

A Tabela 40 relaciona as lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas, utilizando-se das características mínimas também informadas na Tabela 13 da seção 3.7.3.1. Da mesma forma que para as lâmpadas fluorescentes tubulares, também privilegiou-se os fabricantes que foram os campeões de vendas e tiveram as marcas mais lembradas quanto à qualidade no ano de 2009, segundo a revista Eletricidade Moderna (2009, 2010).

Tabela 40. Lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas.

Referên- cia	Bulbo	Eficiên- cia [Lm/W]	Vida		TCC [K]	Emissão	
			Medi- ana [h]	IRC		Lumino- sa [Lm] A 25°c	Po- tência [W]
GE							
35236	PL-4P	66	12000	82	4000	1710	26
Osram							
Dulux							
SE9W/8							
40	PL-4P	67	10000	80-89	4000	600	9
Dulux							
SE18W/8							
27	PL-4P	67	10000	80-89	4000	1200	18
Dulux							
SE26W/8							
40	PL-4P	69	10000	80-89	4000	1800	26
Philips							
PLC18W							
8404P	PL-4P	67	10000	82	4000	1200	18
Média			10400				

Após cotação de preços nos fabricantes citados na Tabela 40, que

produzem lâmpadas fluorescentes compactas de vida mediana mínima de 10000 horas (aproximadamente a média das vidas medianas apresentadas das lâmpadas pré-selecionadas), selecionou-se as de menor custo para cada potência, as quais terão suas características técnicas utilizadas nos cálculos luminotécnicos e cujas referências estão destacadas em negrito na referida tabela.

4.6.5 Reatores Selecionados

A partir das características mínimas estabelecidas na seção 3.7.3.3, foram pré-selecionados os reatores que se enquadraram, os quais, todos eletrônicos, estão relacionados por ordem alfabética de seus respectivos fabricantes na Tabela 41 para lâmpadas tubulares e na Tabela 42 para lâmpadas compactas.

Tabela 41. Reatores pré-selecionados para lâmpadas tubulares.

Referência	Lâmpada	Rendi- mento	Fator de Fluxo	Fator de Potência	Partida
Intral					
POUP-AFP-PLUS 2x32	2x32W	98%	1,0	0,99	Rápida
POUP-AFP-2x32	2x32W	98%	1,0	0,97	Rápida
Keiko					
FKE322-12A	2x32W	92%	1,0	0,98	Instantânea
Lumicenter					
LEB232127	2x32W	96%	1,0	0,98	Instantânea
Philips					
EL232A16	2x32W	96%	1,0	0,98	Instantânea
RCG					
RE323AFP98AV	2x32W	96%	1,0	0,98	Instantânea

Após cotação de preços privilegiou-se, para fins desta pesquisa, o reator que apresentou o menor valor de custo, o qual está destacado de negrito na Tabela 41.

Tabela 42. Reatores pré-selecionados para lâmpadas compactas.

Referência	Lâmpada	Rendi- mento	Fator Fluxo	Fator de Potência	Partida
Intral					
POUP-AFP-PLUS 2x26	2x26W	99%	1,0	0,97	Instantânea
REH 2x26/127 (02355)	2x26W	96%	1,0	0,99	Rápida
Philips					
ELI/218A26PLT/C	1 ou 2x18W	97%	1,0	0,99	Instantânea
ELI/226A26PLT/C	1 ou 2x26W	93%	1,0	0,99	Instantânea
ELI/218A26PLT/C	1 ou 2x26W	95%	1,0	0,99	Instantânea
RCG					
RE109FC4P-CG	1x9W	95%	1,0	0,54	Instantânea
RE209FC4P-CG	2x9W	99%	1,0	0,58	Instantânea
RE218AFPCG4P	2x18W	95%	1,0	0,99	Instantânea
RE226AFPCG4P	2x26W	93%	1,0	0,99	Instantânea

A descrição em negrito na coluna ‘Referência’ da Tabela 42 destaca os produtos que apresentaram o menor preço, para cada potência, após cotação realizada nos fabricantes.

Conforme exposto na subseção anterior, devido à utilização de luminárias para duas lâmpadas, os reatores selecionados também são adequados para pares de lâmpadas, embora em alguns modelos possa-se conectar uma ou duas lâmpadas indiferentemente. Os reatores para lâmpadas de 9W geralmente são fabricados apenas na versão eletromagnética. Dentre os fabricantes pesquisados, apenas um os fabrica na versão eletrônica, mesmo assim são de baixo fator de potência. Assim, preferiu-se manter a linha eletrônica em detrimento do fator de potência elevado, uma vez que sendo aplicados apenas nas lâmpadas de 9W não trará impactos significativos para a piora do fator de potência do sistema elétrico do hospital.

4.6.6 Determinação da Nova Quantidade de Luminárias

Uma vez definidas as características das lâmpadas, das luminárias e dos reatores a serem utilizados, determina-se o número de luminárias

necessárias, utilizando-se o *software* Dialux®.

Por se tratar, o estudo de caso, de um estabelecimento de saúde, onde a preocupação com a assepsia dos ambientes é constante, existe um plano de manutenção dos ambientes. Segundo o setor de serviços gerais, a limpeza dos recintos se dá diariamente e em determinados ambientes, mais de uma vez ao dia. Desta forma, admitiu-se para todos os recintos um coeficiente de depreciação de 0,80, conforme sugerido por Philips (1981), para ambientes de sujidade baixa (limpos), com base na iluminância de serviço e para um fluxo luminoso sazonado de 100 horas.

4.6.6.1 Ambientes Atualmente Iluminados por Lâmpadas Fluorescentes

Para os recintos onde já existe iluminação fluorescente (ineficiente), calculou-se a nova quantidade de luminárias para lâmpadas tubulares eficientes necessárias para produzirem os níveis de iluminância recomendados pelas normas, conforme indicado na Tabela 43.

A definição da necessidade de aletas nas luminárias se deu, *a priori*, de forma empírica, ao observar a finalidade do ambiente escolhido como representativo para os cálculos. Para os ambientes comuns, onde o controle de ofuscamento direto não é relevante, como em vestiários, por exemplo, optou-se por não se utilizar aletas. Já nos ambientes mais nobres, onde há necessidade deste controle como nos laboratórios, entre outros, optou-se por utilizar as luminárias com aletas.

Posteriormente, os cálculos dos níveis de iluminâncias de todas as luminárias escolhidas não apontaram probabilidades de ocorrências de ofuscamento direto para os ângulos críticos da visão (vide seção 4.6.7, mais adiante), nem mesmo para as luminárias sem aletas, referendando, portanto a definição inicial. Mesmo os cálculos apontando que as luminárias sem aletas estariam adequadas para o uso em qualquer ambiente, manteve-se para os ambientes mais nobres as luminárias com aletas de forma a aumentar ainda mais o conforto luminoso destes recintos. Naturalmente, quando da implantação efetiva do *retrofit*, cada ambiente deve ser visitado e confirmado a necessidade ou não de utilização de luminárias com aletas. Infere-se que eventuais variações que possam ocorrer nos quantitativos de luminárias com ou sem aletas não impactem significativamente no custo final da implantação.

Por fim, a utilização de uma ou duas lâmpadas por luminária se deu tão somente em função do atendimento aos níveis de iluminâncias recomendados e da otimização do nível de uniformidade da iluminação do ambiente.

Tabela 43. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes tubulares (Ambientes atualmente iluminados por lâmpadas fluorescentes).

Iluminância necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Ambiente representativo	Iluminância calculada (Em) [lux]	Aletas	Qde. total de luminárias 2 x32W	Qde. total de luminárias 1 x32W
50	$K \leq 0,5$	Depósito de Material de Limpeza	153	Não		21
	$0,5 < K \leq 1,0$	Vestiário Masculino	119	Não		33
	$1,0 < K \leq 1,5$	Vestiário Masculino	133	Não		81
	$1,5 < K \leq 2,0$	Vestiário Feminino	219	Não		161
75	$K \leq 0,5$	Sala do <i>fan coil</i>	113	Não		1
	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala do <i>fan coil</i>	130	Não		13
	$1,0 < K \leq 1,5$	Subestação secundária	100	Não		3
100	$K \leq 0,5$	Circulação interna	140	Não		55
	$0,5 < K \leq 1,0$	Circul. interna (CTI-BC)	107	Não		221
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de estar de pessoal	155	Não	120	
	$1,5 < K \leq 2,0$	Guarda mat. esterilizado	188	Não	23	
	$2,0 < K \leq 3,0$	Refeitório	167	Não		44
150	$K \leq 0,5$	Arsenal	240	Não		17
	$0,5 < K \leq 1,0$	Sala de espera da hemodiálise	159	Não		60
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de espera do bloco cirúrgico	247	Não	59	
	$1,5 < K \leq 2,0$	Sala de observação ortopédica masculina	255	Sim	4	

Tabela 43. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes tubulares (Ambientes atualmente iluminados por lâmpadas fluorescentes) (cont.).

Iluminância necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Ambiente representativo	Iluminância calculada (Em) [lux]	Aletas	Qde. total de luminárias 2 x32W	Qde. total de luminárias 1 x32W
150	$2,0 < K \leq 3,0$	Setor de cocção de alimentos	220	Não		91
200	$K \leq 0,5$	Sala da assistente social	369	Sim	4	
	$0,5 < K \leq 1,0$	Laboratório de bioquímica	320	Sim	63	
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de descanso	259	Sim	38	
	$1,5 < K \leq 2,0$	Serralheria	228	Não		19
	$2,0 < K \leq 3,0$	Almoxarifado	244	Não	20	
300	$K > 3,0$	Lavanderia	234	Não		52
	$K \leq 0,5$	Chefia	398	Sim	3	
	$0,5 < K \leq 1,0$	Higienização de mãos	427	Não	85	
	$1,0 < K \leq 1,5$	Posto de enfermagem	449	Sim	45	
	$1,5 < K \leq 2,0$	CTI neonatal	431	Sim	14	
	$2,0 < K \leq 3,0$	CME	351	Sim	9	
500	$K > 3,0$	Hemodiálise	437	Sim	60	
	$0,5 < K \leq 1,0$	Suturas e curativos	564	Sim	12	
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala de cirurgia geral 4	557	Sim	76	
	$1,5 < K \leq 2,0$	Sala multiuso	553	Sim	18	

Tabela 43. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes tubulares (Ambientes atualmente iluminados por lâmpadas fluorescentes) (cont.).

Iluminância necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Ambiente representativo	Iluminância calculada (Em) [lux]	Qde. total de luminárias		
				Aletas	2 x32W / 1 x32W	
750	$0,5 < K \leq 1,0$	Chefia da manutenção	879	Sim	115	
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala do faturamento	816	Sim	68	
	$1,5 < K \leq 2,0$	Manutenção elétrica e eletrônica	755	Sim	16	
Total					852	872

A Figura 46(a), a título de exemplo da arte gráfica de saída do *software* Dialux®, mostra a nova distribuição proposta das luminárias na sala da hemodiálise, onde é esperado um nível de iluminância médio de 300lux, bem como as linhas isográficas das iluminâncias.

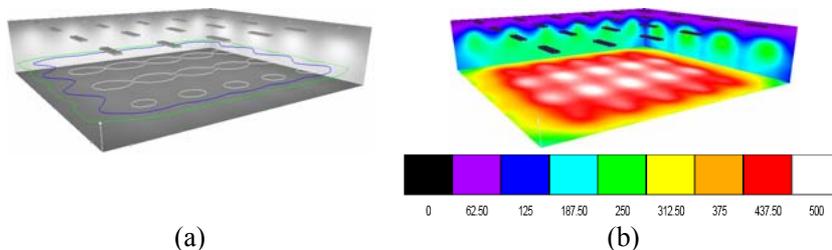


Figura 46. Distribuição das iluminâncias na sala da hemodiálise.

A linha verde, mais externa, refere-se ao nível de iluminância de 300lux, a azul, intermediária, refere-se ao

nível de 400 lux e as brancas, mais internas, ao nível de 500lux. A Figura 46(b) mostra a mesma sala porém indicando a distribuição de iluminâncias através de cores falsas¹¹. As linhas isográficas de iluminâncias também são conhecidas como linhas isolux.

Para as salas de cirurgia, buscou-se nos cálculos a meta de uma iluminância geral média de 549 lux, valor este considerado pela maioria dos médicos e enfermeiros como confortável. Manteve-se o atual leiaute das luminárias, as quais já estão posicionadas de forma a não interferir na torre central de iluminação dedicada. O nível médio de iluminância obtido foi de 557 lux para a iluminação geral do recinto e de 624 lux sobre a mesa de cirurgia, desconsiderando-se a iluminação específica sobre a mesma. A Figura 47 mostra através de cores falsas a distribuição das iluminâncias no recinto, bem como as equivalências entre as cores e os níveis de iluminação, em lux.

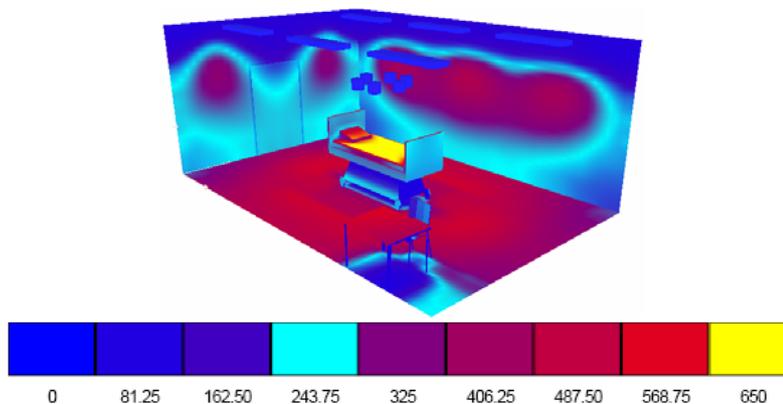


Figura 47. Distribuição das iluminâncias nas salas de cirurgia.

¹¹ Cores falsas: termo definido pelo manual do *software* Dialux© como o sistema de representação de níveis de iluminância através de variação de cores das áreas com mesmos níveis de iluminação.

4.6.6.2 Ambientes Atualmente Iluminados por Lâmpadas Incandescentes

Procurou-se manter a mesma quantidade atual de pontos de luz, de forma a gerar o mínimo de intervenções na infraestrutura existente, entretanto, sem que isto interfira na eficiência energética e no conforto luminoso dos pacientes e equipe médica. A Tabela 44 mostra a quantidade de luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes compactas obtidas para os locais onde atualmente existem instaladas lâmpadas incandescentes.

Tabela 44. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes compactas obtidas (Ambientes atualmente iluminados por incandescentes).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Iluminância Calculada (Em) [lux]	Qde. Lâmpada Fluor. Compacta Calculada (18W)	Qde. Lâmpada Fluor. Compacta Calculada (26W)	Luminária / m²	Qde. Total de Luminárias
75	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala do gerador	113	8		0,1437	4
	$2,0 < K \leq 3,0$	Subestação principal	87		16	0,0788	8
150	$K \leq 0,5$	Instalação sanitária	151	2		0,2597	163
	$1,0 < K \leq 1,5$	Sala raios-x 1	166	12		0,1538	38

Tabela 44. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes compactas obtidas (Ambientes atualmente iluminados por incandescentes) (cont.).

Illuminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente Representativo	Illuminância Calculada (Em) [lux]	Qde. Lâmpada Fluor. Compacta Calculada (18W)	Qde. Lâmpada Fluor. Compacta Calculada (26W)	Luminária / m²	Qde. Total de Luminárias
200	$0,5 < K \leq 1,0$	Ultrassonografia	216	8		0,2382	4
	$1,0 < K \leq 1,5$	Mamografia	229	10		0,2221	5
	$1,5 < K \leq 2,0$	Tomografia	239	24		0,2080	51
Total							273
Total de Luminárias Sobre os Leitos (pavimentos 1 ao 5)							230
Total de Luminárias Sobre os Leitos (Térreo)							87
Total Geral							590

Através da Figura 48 pode-se observar a boa distribuição da iluminação na sala da ultrassonografia, com fator de homogeneidade médio de 0,70. Entenda-se como de fator de homogeneidade médio, a razão entre a iluminância mínima e a média do recinto.

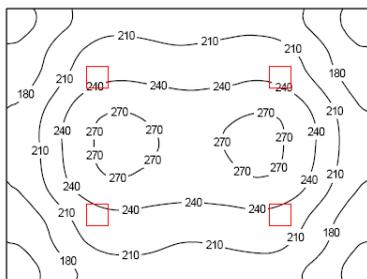


Figura 48. Distribuição das iluminâncias na sala de ultrassonografia. Linhas isográficas.

Nos recintos onde os pontos de iluminação existentes estão localizados nas paredes, como na sala do gerador, subestação principal, sala das caldeiras, entre outros, rotacionou-se as luminárias, através de um suporte próprio, de forma que o fecho luminoso fosse direcionado para o plano de trabalho ou para a área de interesse, maximizando a iluminância.

A Figura 49 mostra a disposição das luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas na sala do gerador. Embora a iluminância média calculada seja de 113 lux, pode-se observar uma iluminação mais intensa, da ordem de 150 lux, na área de interesse, ou seja sobre o gerador, mediante o posicionamento adequado da luminária.

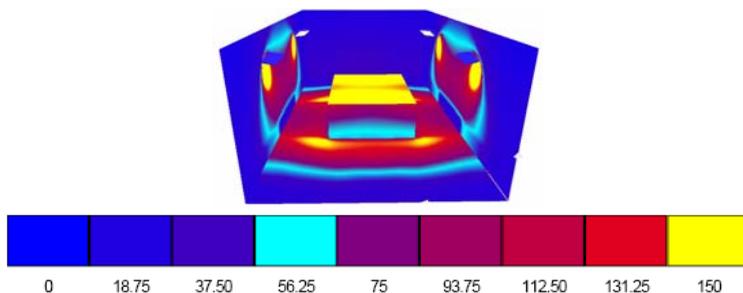


Figura 49. Distribuição das iluminâncias na sala do gerador. Cores falsas.

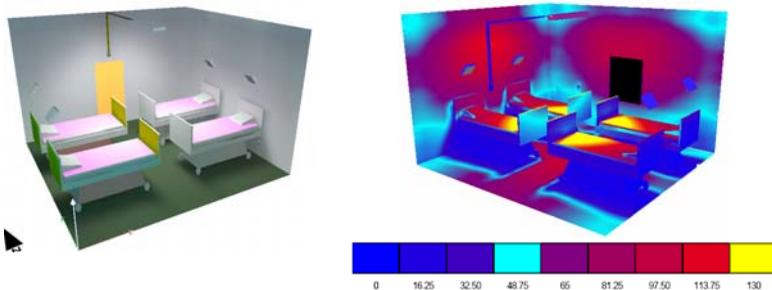
4.6.6.3 Ambientes Especiais (Enfermarias)

Nas enfermarias do HPRB atualmente coexistem lâmpadas fluorescentes tubulares (sobre a porta de entrada) e lâmpadas incandescentes sobre os leitos. Propõe-se que as luminárias com lâmpadas incandescentes sejam substituídas por luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas. Propõem-se também que a iluminação fluorescente sobre a porta seja eliminada e que o novo sistema de iluminação geral seja instalado no teto. Para tal sugere-se que seja montado um conduíte para fiação a partir do atual ponto de luz sobre a porta, utilizando-se canaletas de PVC ou termoplástico, similar ao sistema X de fabricação Pial Legrand, por exemplo, de forma a não impactar na estética do ambiente. As instalações acima citadas estão ilustradas através da Figura 50(a).

Para as novas luminárias sobre os leitos, instala-se um suporte de forma que o foco das luminárias seja projetado sobre cada leito, maximizando a iluminância média nesta superfície.

A Figura 50(a) mostra uma enfermaria típica para quatro leitos iluminada apenas pela luminária do teto. A iluminância média resultante de 103 lux supera em 3% o nível de iluminação geral definido na subseção 3.6.3 para este tipo ambiente.

A Figura 50(b) mostra o esquema de cores falsas da mesma enfermaria supra citada, vista sob outro ângulo, evidenciando uma iluminação mais intensa sobre o leito, em média 118 lux. Pode-se observar na referida figura, ao fundo, próximo à janela, a maçaneta da porta do banheiro, a qual iluminada apenas pela luminária do teto, está com o nível de iluminância de 51 lux, superando bastante a faixa de 5 a 20lux, sugerida por Philips (1982).



(a) Vista geral

(b) Cores falsas

Figura 50. Cenário de iluminação de uma enfermaria de quatro leitos iluminadas apenas pela luminária do teto.

Ainda sobre a enfermaria em questão, a Figura 51 mostra a mesma iluminada apenas por uma luminária sobre o leito mais distante da porta do banheiro. Esta situação representa a pior condição de iluminância na maçaneta da porta do banheiro, cujo cálculo apontou para um valor de 11 lux, dentro, portanto da faixa recomendada por Philips (1982), enquanto que a iluminância sobre o leito é de 204 lux. As linhas isolux de cores amarela, vermelha e branca representam as iluminâncias de 200, 150 e 100 lux, respectivamente.

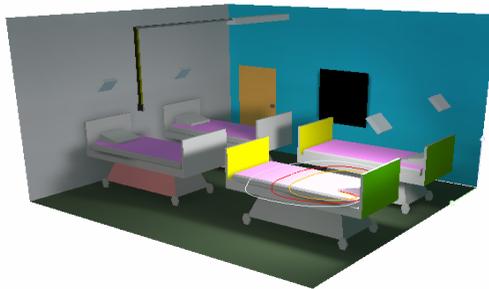


Figura 51. Cenário de uma enfermaria de quatro leitos iluminada apenas por uma luminária sobre o leito.

A Figura 52 mostra as linhas isográficas produzidas a partir da simulação realizada na enfermaria 216 mantendo-se simultaneamente acesas a luminária do teto e aquela sobre o leito mais distante do banheiro, destacadas pela cor vermelha. A simulação apontou uma iluminância média sobre o respectivo leito de 321 lux. Quando iluminada apenas pela luminária do teto, resulta em uma iluminância geral do recinto de 125 lux, sobre um leito, 138 lux e na maçaneta da porta de acesso ao banheiro, 56 lux. Apenas com uma luminária sobre o leito mais distante do banheiro ligada, a iluminância geral da enfermaria 216 é de 56 lux, sobre um leito, 159 lux e na maçaneta da porta de acesso ao banheiro, 14 lux.

Ainda sobre a enfermaria 216, quando iluminada apenas com a luminária do teto e uma luminária sobre o leito mais distante do banheiro, a iluminância geral do recinto é de 181 lux, sobre um leito, 297 lux e na maçaneta da porta de acesso ao banheiro, 70 lux.

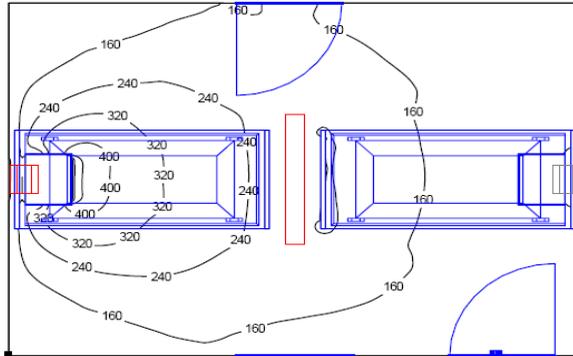


Figura 52. Distribuição das iluminâncias em uma enfermaria de dois leitos iluminada simultaneamente pela luminária do teto e por uma sobre o leito. Linhas isográficas.

Realizou-se também o estudo para duas enfermarias de dois leitos, uma com índice de ambiente de 1,36 (Enfermaria 202) e outra de 1,68 (Enfermaria 216), sendo que esta última apresentou os menores valores de iluminância.

A Tabela 45 apresenta a quantidade de luminárias e lâmpadas eficientes obtidas para as enfermarias. Nota-se a exatidão das projeções através da densidade de luminárias. Sabe-se que o número total de enfermarias entre o primeiro e o quinto pavimento é de 66 unidades e que o número total de leitos do HPRB é de 317 unidades. Observando-se a referida tabela pode notar que o número de luminárias de teto (para lâmpadas tubulares de 2x32W) é de 66 unidades (uma por enfermaria) e o número de luminárias sobre os leitos (para lâmpadas compactas de 2x18W) é de 230 unidades, que adicionado ao número de luminárias sobre os 87 leitos existentes no pavimento térreo, resulta em 317 unidades, coincidindo com os valores esperados.

Tabela 45. Luminárias eficientes para lâmpadas fluorescentes obtidas (Enfermarias).

Iluminância Necessária (En) [lux]	Faixa do Índice de Ambiente	Ambiente representativo	Iluminância Calculada Geral (Em) [lux]	Iluminância		
				Calculada Sobre o Leito (Em) [lux]	Qde. Total de Luminárias 2x32W	Qde. Total de Luminárias 2x18W
100	$1,0 < K \leq 1,5$	Enfermaria 202 (2L)	139	349	13	28
	$1,5 < K \leq 2,0$	Enfermaria 216 (2L)	125	297	9	20
	$2,0 < K \leq 3,0$	Enfermaria 215 (4L)	103	321	44	182
Total					66	230

4.6.6.4 Ambientes Externos

Com vistas a melhorar os níveis de iluminância e a eficiência da iluminação externa, propõe-se a substituição das atuais lâmpadas a vapor de mercúrio (VM) por lâmpadas a vapor de sódio (VS), estas últimas conservando as mesmas características físicas das primeiras (soquete E40, formato ovóide e dimensões compatíveis), de sorte que as luminárias existentes não necessitem ser substituídas. A troca do tipo de lâmpada implica necessariamente na troca do reator e instalação de ignitor. Devido a dificuldade de se encontrar no mercado reatores eletrônicos para lâmpadas a vapor de sódio, optou-se por mantê-los eletromagnéticos, porém de alto rendimento.

Após o fabricante das luminárias existentes enviar o arquivo fotométrico, pôde-se realizar simulações computacionais com diversas potências de lâmpadas, através do *software* Dialux®, que resultou na diminuição da potência instalada e melhoria dos níveis de iluminação. Para as simulações considerou-se manutenções trienais para luminárias externas instaladas em ambientes poluídos, que resultou em um fator de manutenção de 0,57. Este

fator foi sugerido pelo próprio *software* baseado na norma europeia EN-12464, o qual também é bastante similar à sugestão de Philips (1982), para ambientes de alta sujidade, de 0,60.

Após o fabricante das luminárias existentes enviar o arquivo fotométrico, pôde-se realizar simulações computacionais com diversas potências de lâmpadas, através do *software* Dialux®, que resultou na diminuição da potência instalada e melhoria dos níveis de iluminação. Para as simulações considerou-se manutenções trienais para luminárias externas instaladas em ambientes poluídos, que resultou em um fator de manutenção de 0,57. Este fator foi sugerido pelo próprio *software* baseado na norma europeia EN-12464, o qual também é bastante similar à sugestão de Philips (1982), para ambientes de alta sujidade, de 0,60.

A Figura 53 mostra através do esquema de cores falsas das iluminâncias resultantes, bem como a escala de equivalência entre as cores e os níveis de iluminância em lux de parte do estacionamento do HPRB, onde atualmente existem 24 lâmpadas a vapor de mercúrio de 400W. Estas lâmpadas puderam ser substituídas por outras a vapor de sódio de 250W e ainda assim aumentando em quase 3 vezes os atuais níveis de iluminância.

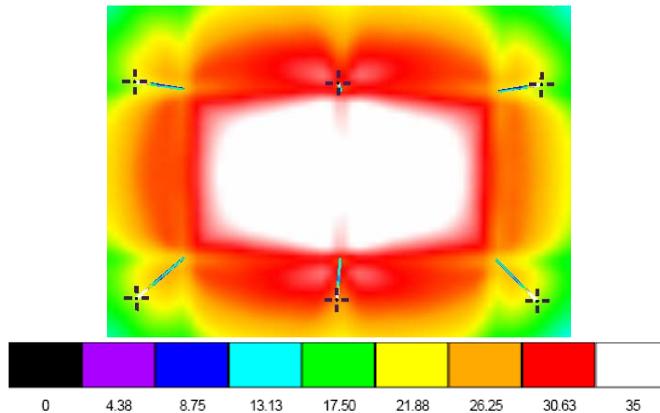


Figura 53. Iluminâncias do estacionamento após instalação de lâmpadas eficientes.

Para as demais áreas externas de entorno do estabelecimento onde atualmente existem lâmpadas a vapor de mercúrio de 250W foi possível a redução da potência para 150W. Mesmo assim houve um aumento dos níveis de iluminância em cerca de 22% em relação à condição atual, baseado em medições realizadas em um trecho da rua leste, entre a

casa das caldeiras e o estacionamento interno. Após a substituição das lâmpadas a vapor de mercúrio de 250W para vapor de sódio de 150W a iluminância média atual medida de 18lux passou para 22lux. A Figura 54 mostra os níveis de iluminação da nova situação bem como a relação entre as cores e os valores das iluminâncias, em lux.

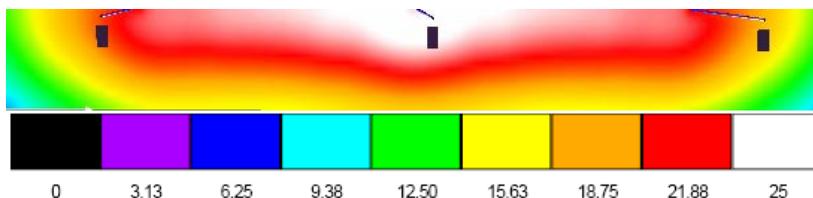


Figura 54. Iluminâncias na rua Leste após instalação de lâmpadas eficientes.

A Tabela 46 resume os valores de iluminância calculados para os ambientes acima citados e traz também alguns indicadores de eficiência energética. Nos cálculos considerou-se lâmpadas de vapor de sódio de 250W com fluxo luminoso de 27000 lumens e de 150W com fluxo luminoso de 17000 lumens. Estes fluxos luminosos retratam um valor médio para lâmpadas de alto rendimento de formato ovóide e base E40, dos principais fabricantes nacionais e que são facilmente encontradas no mercado.

Tabela 46. Melhoria da iluminação e da eficiência energética da iluminação externa.

Iluminância Necessária (En) [lux]	Ambiente	Iluminância Calculada (Em)		Eficiência Energética [W/m ²]	Eficiência Energética [W/m ² /100 lux]
		[lux]	Em / En		
20	Estacionamento	30	50,0%	2,01	6,69
	Rua leste	22	10,0%	2,63	11,97

4.6.7 Análise de Luminâncias

A partir dos dados fotométricos das luminárias selecionadas para o *retrofit* do hospital pode-se avaliar as luminâncias produzidas por elas. A razão entre as intensidades luminosas e a área aparente da luminária vista por um observador dentro do recinto fornecem as luminâncias.

A Tabela 73 do Apêndice 17 mostra as luminâncias produzidas pela luminária com refletor de alumínio e aletas brancas (RAAB), escolhida anteriormente como uma das que serão utilizadas para elaboração do *retrofit* do hospital em estudo. As luminâncias apresentadas em **negrito** referem-se àquelas que serão avaliadas através da curva de limitação de luminância, apresentadas na subseção 3.7.5. Os dados de intensidade luminosa foram obtidos através do diagrama fotométrico da luminária. A área aparente foi calculada a partir das dimensões da luminária apresentadas no catálogo do fabricante. A Figura 55 mostra graficamente os valores informados na Tabela 73 do Apêndice 17.

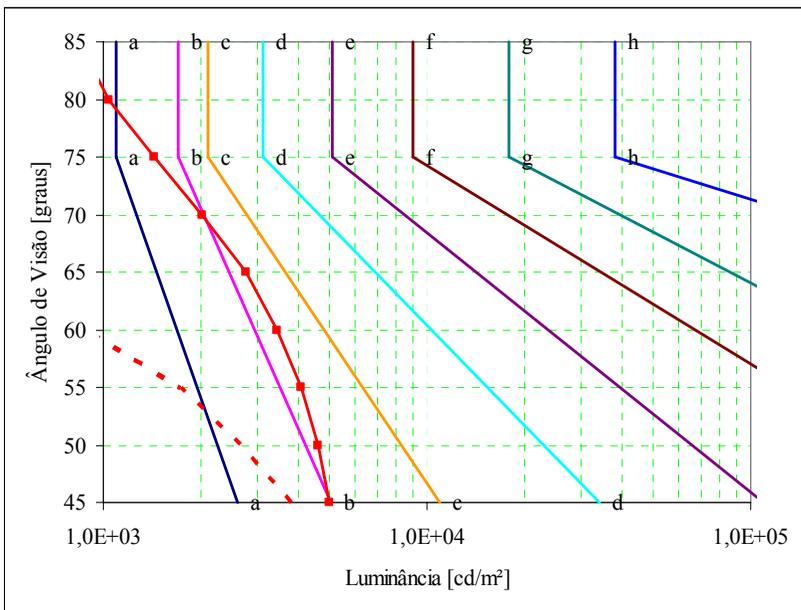


Figura 55. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária RAAB.

Pode-se constatar, observando-se as linhas vermelhas, que as luminâncias produzidas pelas luminárias com refletor de alumínio e aletas brancas (RAAB), produzem níveis de iluminâncias que remetem a luminária a poder ser classificada como classe A ou seja, com qualidade muito elevada quanto ao controle de ofuscamento direto, para a maioria das ocorrências de níveis de iluminância determinados neste estudo ($\leq 500\text{lux}$). Entretanto, para quaisquer ocorrências de níveis de iluminân-

cias não superiores a 1000lux, como é a situação dos ambientes do estudo de caso deste trabalho, as luminárias RAAB podem ser classificadas como classe B, portanto aptas a serem utilizadas neste tipo de estabelecimento. A linha vermelha contínua mostra as luminâncias produzidas pelas luminárias vistas longitudinalmente, enquanto que a linha tracejada refere-se à visão transversal.

A Figura 56 mostra o mesmo estudo supra citado, porém utilizando-se a luminária com refletor de alumínio sem aletas (RASA). A curva da luminância produzida, destacada pela cor vermelha em traço contínuo, mostra que esta luminária pode ser usada apenas para ambientes de iluminância não superior a 300 lux. Somente desta forma é que ela pode ser classificada como classe B, portanto, adequada para uso em hospitais.

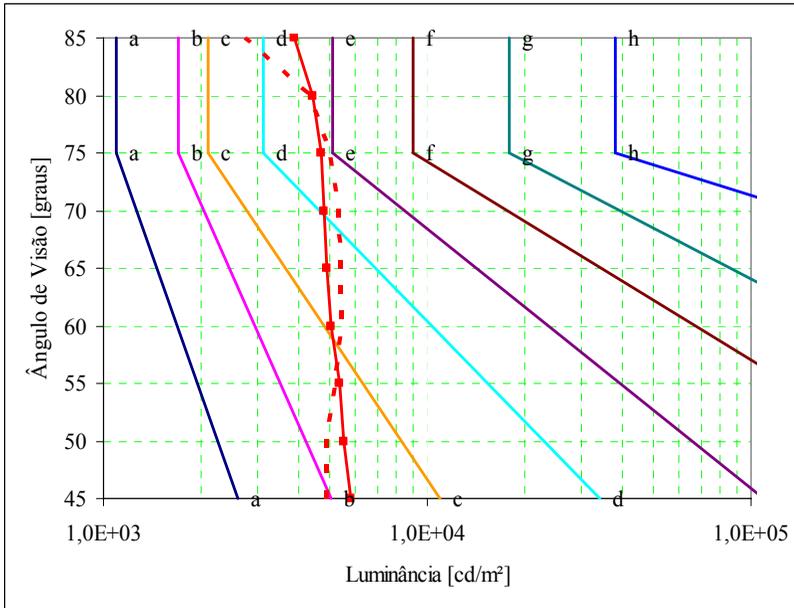


Figura 56. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária RASA.

A Figura 57 e a Figura 58 mostram graficamente as luminâncias produzidas pelas luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas para o uso com duas lâmpadas de 26W e 18W, respectivamente. As curvas das luminâncias produzidas, destacadas pela cor vermelha em traço

contínuo, mostra que a luminária com lâmpadas de 26W pode ser usadas em ambientes cuja iluminância seja não superior a 500 lux. Mostra também que a luminária com lâmpadas de 18W pode ser usada em ambientes com iluminância de até 1000 lux que garantem uma qualidade elevada de controle do ofuscamento direto (classe B), considerando para ambas as situações que as luminária sejam instaladas longitudinalmente ao sentido da visão.

Como as curvas de limitação de luminância não se aplicam para ambientes onde os ângulos de visão não sejam predominantemente horizontais ou para baixo, as mesmas não podem ser utilizadas para a avaliar as luminárias de teto utilizadas nas enfermarias (RBCD), entretanto, como estas são equipadas com difusor texturizado ou leitoso, admite-se que as luminâncias produzidas não provoquem desconforto para os pacientes acamados.

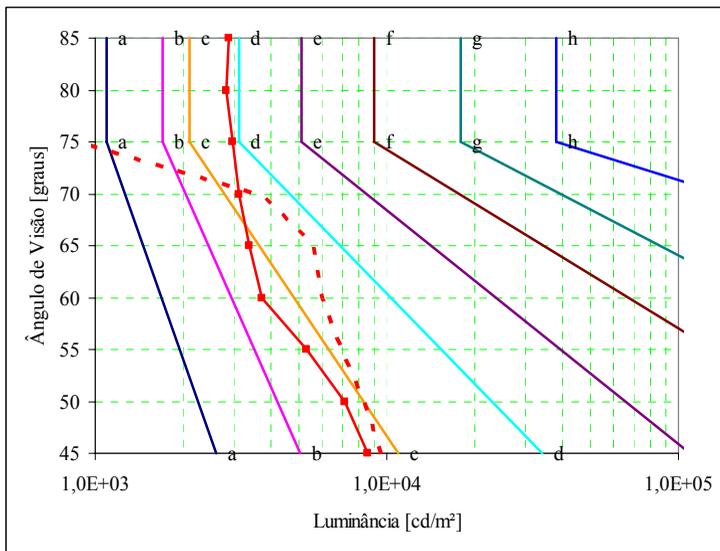


Figura 57. Verificação das luminâncias produzidas pela luminária fluorescente compacta com duas lâmpadas de 26W.

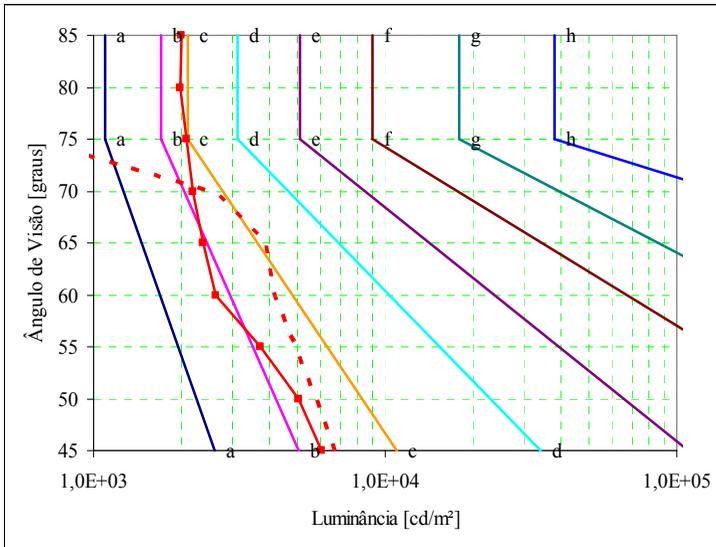


Figura 58. Verificação da luminância produzida pela luminária fluorescente compacta com duas lâmpadas de 18W.

Embora qualquer posição de instalação das luminárias garantam a ausência de ofuscamento direto, recomenda-se a instalação das mesmas no sentido transversal ao campo de visão do observador, uma vez que nesta posição os níveis de luminância produzidos são menores ainda para a maioria dos ângulos críticos. As análises acima elaboradas permitem afirmar, portanto, que as luminárias escolhidas são adequadas tecnicamente, quanto ao controle de ofuscamento direto, para a utilização em hospitais. Caso isto não ocorresse, seria necessário novos estudos luminotécnicos utilizando-se outros tipos de luminárias com controles mais severos de luminância.

4.7 Estudo de Viabilidade Econômica da Solução Adotada Para o *Retrofit*

Para se determinar a viabilidade econômica da implantação do *retrofit*, em face das soluções já sugeridas neste trabalho, é necessário a determinação dos custos envolvidos. As tabelas do Apêndice 15 trazem a descrição e a relação dos materiais e dos serviços necessários, enquanto que no final da subseção 4.7.1 encontra-se a consolidação das estimativas dos custos envolvidos.

4.7.1 Determinação dos Custos

Os custos a serem considerados para a implantação do *retrofit* no hospital, estudo de caso deste trabalho, são:

(i) Custo para a realização dos estudos preliminares, entendidos como sendo o diagnóstico energético e a elaboração dos projetos e cálculos luminotécnicos;

(ii) Custo da remoção das luminárias fluorescentes ineficientes, das luminárias incandescentes e/ou de seus conjuntos lâmpada e receptáculo e dos reatores e lâmpadas a vapor de mercúrio;

(iii) Custo para instalação dos novos equipamentos de iluminação eficientes;

(iv) Custo para adaptação da infraestrutura existente às novas condições de instalação, em função do eventual reposicionamento e forma de fixação das novas luminárias;

(v) Custo dos equipamentos de iluminação, propriamente ditos (luminárias, lâmpadas e reatores);

(vi) Custo dos materiais de instalação necessários, tais como: fiação, suportes, conduites, parafusos, buchas e chumbadores de fixação;

(vii) Custo para locação ou aquisição de equipamentos de medição.

Caso o hospital tenha recursos humanos próprios e disponíveis para a implantação do *retrofit*, pode-se desconsiderar os itens (i) a (iv). Se não houver possibilidade de se utilizar a própria mão-de-obra do hospital, os referidos custos devem ser obtidos através de cotação em empresas de engenharia e de instalações elétricas.

Para o hospital, objeto do estudo de caso, não se considerou os custos para a elaboração dos projetos e cálculos luminotécnicos. Segundo a gerência de manutenção, todos os trabalhos de engenharia a nível de projetos são encaminhados para a prefeitura municipal de Betim, a qual possui um setor de engenharia, vinculado à Secretaria Adjunta de Obras e Serviços Públicos, responsável pelo desenvolvimento de todo e qualquer tipo de estudos técnicos do município.

Não se considerou também os custos para a realização do diagnóstico energético, uma vez que a própria equipe de manutenção do HPRB tem plenas condições de efetuar as medições e levantamentos necessários, conforme entendimentos com a gerência de manutenção. Ressalta-se entretanto, que o HPRB não possui todos os aparelhos de medição necessários e aqueles existentes não têm laudos de aferição. Propõe-se, portanto, que o estabelecimento adquira esta aparelhagem.

Existe também a opção de locação dos mesmos, porém esta situação não pôde ser levada em conta, pois como será a própria equipe do hospital a responsável pelos levantamentos de campo, concomitantemente com os trabalhos da rotina de manutenção, não se consegue precisar o tempo de locação necessário, dificultando a estimativa destes valores. No Apêndice 15, encontra-se a Tabela 64 que relaciona os equipamentos de medição sugeridos para compra.

De acordo com a gerência de manutenção do HPRB, caso fosse determinado a realização do *retrofit*, não haveria necessidade de contratação de mão-de-obra externa, pois a atual equipe de manutenção já alocada no estabelecimento, mediante um planejamento adequado, poderia ser incumbida de realizar todos os trabalhos necessários para desmontagem e montagem do sistema de iluminação, bem como das intervenções necessárias na infraestrutura, sem comprometimento da atividade principal da mesma, ou seja, da manutenção do HPRB.

Desta forma os custos relativos a estas atividades foram desconsiderados, entretanto, para que o planejamento possa ser realizado, é necessário a determinação quantidade de luminárias existentes, uma vez que o volume de trabalho a ser realizado depende diretamente da quantidade de luminárias a serem removidas.

Em face das dificuldades de levantamento do quantitativo de luminárias em todos os ambientes, entre elas, da grande extensão do estabelecimento, estimou-se o número de luminárias existentes.

Para a realização das estimativas, as luminárias foram divididas segundo o princípio de funcionamento das lâmpadas que as compõem. No HPRB, existem lâmpadas à incandescência e à descarga elétrica (fluorescentes e vapor de mercúrio).

Para as luminárias incandescentes não houve a necessidade de efetuarem-se estimativas, uma vez que, devido à fácil identificação dos ambientes que as utilizam, foram contabilizadas com facilidade. Atualmente o estabelecimento conta com luminárias incandescentes apenas nas enfermarias (iluminação individual sobre os leitos e instalações sanitárias), nas salas de exames clínicos (raios-x, ultrassonografia, mamografia, tomografia, eletroencefalografia e eletrocardiografia), no setor de utilidades (casa das caldeiras, sala do gerador e subestação principal) e nas instalações sanitárias. Através da Tabela 47 pode-se observar os pontos de iluminação incandescentes encontrados.

Tabela 47. Quantitativo de luminárias incandescentes do HPRB.

Ambiente		Qde. de Ambientes	Luminárias por Ambiente	Total
Enfermarias	Iluminação sobre os leitos	230	1	230
	Instalações sanitárias	66	1	66
Ambientes com Leitos do Pavto. Térreo	Iluminação sobre os leitos	87	1	87
Exames Clínicos	Sala de raios-x	3	6	18
	Sala de eletroencefalografia	1	2	2
	Sala de eletrocardiografia	1	2	2
	Sala de ultrassonografia	1	4	4
	Sala de mamografia	1	5	5
	Sala de tomografia	2	12	24
Utilidades	Sala das caldeiras	1	17	17
	Subestação principal	1	8	8
	Sala gerador	1	4	4
Ambientes Diversos	Instalações sanitárias	123	1	123
Total				590

Da mesma forma que para as luminárias incandescentes, a quantidade de ambientes que utilizam a iluminação a vapor de mercúrio é facilmente identificável, a qual figura apenas nos locais externos, instaladas em postes. Assim, a determinação da quantidade de luminárias também foi feita por contagem, cujo resultado encontra-se relacionado na Tabela 48.

Tabela 48. Quantitativo de luminárias vapor de mercúrio do HPRB.

Ambiente		Qde. de Ambientes	Luminárias por Ambiente	Total
Fachada Principal	Estacionamento	1	24	24
	Jardim	1	10	10
Pátio Interno	Carga / descarga	1	3	3
Entorno	Pátio fachada norte	1	3	3
	Pátio fachada leste	1	4	4
	Pátio fachada sul	1	6	6
Total				50

A quantidade de luminárias fluorescentes foram estimadas, com base em amostras de ambientes típicos de todo o hospital. Estes ambientes são os mesmos escolhidos, como representativos para os cálculos luminotécnicos do novo sistema eficiente, relacionados na Tabela 34 da seção 4.6.1. Exceção feita apenas para as enfermarias, onde o total de luminárias fluorescentes existentes foi adicionado ao total estimado para os demais ambientes, uma vez que a quantidade de enfermarias é um número amplamente conhecido.

A Tabela 72 do Apêndice 16 reúne as informações levantadas para se chegar à quantidade estimada de luminárias, entre elas a localização do ambiente na planta baixa e o item da norma sobre o qual os critérios de níveis de iluminância requeridos foram considerados. A coluna de representatividade em área construída mostra a área total do estabelecimento que se enquadra nos critérios estabelecidos na respectiva linha da tabela.

A relação luminária/m² foi obtida através da razão entre a quantidade de luminárias existentes em cada recinto pela respectiva área, conforme levantamentos realizados em cada ambiente representativo. Desta forma pôde-se extrapolar, com o valor calculado, para todos os ambientes semelhantes, resultando, enfim, na quantidade total de luminárias atualmente existentes no HPRB. Foram encontradas 107 luminárias para uma lâmpada fluorescente, 1953 unidades para duas lâmpadas e 204 luminárias para quatro lâmpadas.

As intervenções na infraestrutura das enfermarias consistem basi-

camente na instalação de uma canaleta de PVC ou termoplástico entre a caixa de passagem do atual ponto de iluminação fluorescente sobre a porta de entrada e a nova luminária que será instalada no teto. Os pontos de iluminação das atuais lâmpadas incandescentes serão mantidos, apenas as luminárias serão removidas e em seus lugares instaladas as novas luminárias para lâmpada fluorescente compacta. É necessária a aquisição de um suporte angular que permita o ajuste da luminária de forma que o fecho luminoso se projete apenas para a área de interesse (sobre o leito), minimizando problemas de ofuscamento em outros pacientes. Embora exista disponível no mercado luminárias específicas já montadas com o suporte angular, optou-se neste trabalho, por utilizar suportes que possam ser fabricados artesanalmente, por mera questão de menor preço. No Apêndice 15 encontra-se a Tabela 65 que relaciona os materiais necessários para as intervenções na infraestrutura das enfermarias.

A Tabela 49 apresenta de forma consolidada a relação dos trabalhos necessários para a desmontagem do sistema de iluminação atual e montagem do novo sistema (eficiente).

Tabela 49. Desmontagem e montagem de luminárias a afins.

Descrição	Un.	Qde.
Retirada de luminárias fluorescentes existentes	pç	2264
Retirada de luminárias ou receptáculos incandescentes existentes	pç	590
Retirada de reatores e lâmpadas a vapor de mercúrio existentes	pç	50
Montagem e instalação de luminárias fluorescentes 1x28W (RASA, RAAA)	pç	872
Montagem e instalação de luminárias fluorescentes 2x28W (RASA, RAAA)	pç	877
Montagem e instalação de luminárias fluorescentes 2x28W (RBCD)	pç	66
Montagem e instalação de luminárias fluorescentes compactas 2x18W	pç	582
Montagem e instalação de luminárias fluorescentes compactas 2x26W	pç	8
Montagem e instalação de reatores e lâmpadas a vapor de sódio 250W	pç	24
Montagem e instalação de reatores e lâmpadas a vapor de sódio 150W	pç	26

Embora não sejam denominados de enfermaria, no HPRB existem ambientes localizados no pavimento térreo que existem leitos instalados. A iluminação incandescente sobre estes leitos também será substituída por fluorescente, utilizando-se lâmpadas compactas. De forma idêntica à situação das enfermarias, é necessária a aquisição de um suporte angular que permita o ajuste da luminária de forma que o fecho luminoso se projete apenas para a área de interesse (sobre o leito), minimizando problemas de ofuscamento em outros pacientes.

Não há necessidade de intervenções na infraestrutura das instalações sanitárias, uma vez que simplesmente as atuais lâmpadas incandescentes serão substituídas por fluorescentes compactas. Haverá a necessidade apenas de fixação das novas luminárias no suporte da caixa de passagem existente no teto

Os demais ambientes do HPRB não mencionados anteriormente, onde existem lâmpadas incandescentes, possuem as mesmas instaladas no teto, como nas salas dos raios-x, ou nas paredes, como sala do gerador, por exemplo. As lâmpadas instaladas no teto simplesmente serão substituídas pelas novas luminárias, não necessitando de intervenções na infraestrutura. Para as lâmpadas instaladas nas paredes haverá a necessidade de aquisição de um suporte angular que permita o ajuste da luminária de forma que o fecho luminoso se projete apenas para a área de interesse, maximizando a iluminância sobre os equipamentos.

Ao observar os cálculos luminotécnicos verifica-se que excetuando-se os recintos cuja iluminância média requerida é igual ou superior a 750lux, todos os ambientes do HPRB que atualmente são iluminados por lâmpadas fluorescentes tubulares, terão menores quantidades de luminárias eficientes bulbo T8 instaladas que as atuais bulbo T12. A grande maioria das luminárias existentes são instaladas por fixação em perfilados metálicos de dimensões 38x38mm. Admitiu-se, portanto, que não há necessidade de instalação de eletrodutos ou perfilados complementares e que a fiação atual seja utilizada para a ligação dos novos equipamentos.

Considerou-se apenas a utilização de novos parafusos de fixação das novas luminárias aos suportes existentes e cerca de três metros de fiação para conexões entre reatores e soquetes das lâmpadas na própria luminária.

Os recintos cuja iluminância requerida é de 750lux, terão maiores quantidades de luminárias eficientes bulbo T8 instaladas que as atuais bulbo T12. Desta forma admitiu-se que haverá necessidade de instalação de perfilados complementares e que a fiação atual também deve ser complementada. Após verificação *in loco*, constatou-se que em média, a

consideração do valor limite superior de cada faixa de índice de ambiente (K) representa com boa precisão a necessidade de complemento nos perfilados existentes. Assim, a quantidade de perfilados a ser considerada será de 1,0m por luminária instalada em recintos onde o índice de ambiente não supere a unidade; 1,5m para recintos onde $1,0 < K \leq 1,5$ e 2,0m para ambientes onde $1,5 < K \leq 2,0$.

Para a fiação complementar considerou-se o triplo (fase, neutro e terra) do valor do limite superior de cada faixa de índice de ambiente. Portanto, 3,0m por luminária instalada em recintos onde o índice de ambiente não supere a unidade; 4,5m para recintos onde $1,0 < K \leq 1,5$ e 6,0m para ambientes onde $1,5 < K \leq 2,0$. Não foram considerados os suportes para as luminárias adicionais dos recintos de iluminâncias requeridas maiores ou iguais a 750lux, pois como o número de luminárias total diminuiu, os suportes retirados podem ser utilizados nas luminárias excedentes destes recintos.

Da Tabela 66 até a Tabela 70 do Apêndice 15 pode-se encontrar a relação estimada dos materiais necessários para as complementações na infraestrutura existente dos ambientes acima citados.

Finalmente, a Tabela 71 do Apêndice 15 relaciona os equipamentos eficientes de iluminação necessários, que devem ser adquiridos para a realização do *retrofit*.

Tomando-se como referência os quantitativos informados nas tabelas desta subseção e do Apêndice 15 o gerente de manutenção poderá elaborar um planejamento para a execução das intervenções no sistema de forma que sejam conciliados os trabalhos da rotina de manutenção com a implantação do *retrofit*. Com o planejamento será possível se determinar, por exemplo, em quanto tempo que a obra pode ser implantada baseado nos recursos humanos e materiais disponíveis. Ao mesmo tempo a relação de materiais para aquisição deve ser encaminhada para o setor de suprimentos para a elaboração do edital de licitação.

Estima-se o custo dos aparelhos de medição citados na Tabela 64 do Apêndice 15 em R\$11.300,00; dos materiais para as intervenções na infraestrutura, citados da Tabela 65 a Tabela 70 em R\$14.900,00 e dos equipamentos eficientes de iluminação citados na Tabela 71 em R\$151.500,00.

Embora não se tenha considerado os custos da mão-de-obra para execução dos trabalhos, conforme explicado anteriormente, estima-se em cerca de R\$34.000,00 os custos para contratação de uma empresa de engenharia para a realização dos estudos técnicos e cerca de R\$390.000,00 para contratação de uma empresa de montagens e instalações elétricas para a realização de todo o escopo. Os preços citados fo-

ram obtidos após cotação em duas empresas de cada ramo, sediadas na região metropolitana de Belo Horizonte-MG.

As análises financeiras para implantação do *retrofit* basearam-se no consumo e custos de energia elétrica médios praticados para o ano bissexto de 2008, no HPRB. Os custos dos materiais foram coletados no segundo semestre de 2009 e o custo com a mão-de-obra foi obtido entre o final de 2009 e início de 2010.

4.7.2 Determinação dos Benefícios

Existem diversos benefícios que podem ser obtidos com a implantação do *retrofit*, a saber:

- (i) Maior bem-estar dos pacientes, funcionários e equipe médica, devido ao aumento do conforto luminoso. Certamente este bem-estar remeterá em maior produtividade das equipes médicas, menor tempo de internação de pacientes, redução do uso de medicamentos, entre outros. Entretanto, devido à dificuldade de se avaliar financeiramente estes benefícios, os mesmos não serão considerados na composição dos benefícios financeiros;
- (ii) Com o aumento da eficiência energética, os impactos ambientais serão reduzidos, entre eles, a redução da emissão de gases de efeito estufa, principalmente devido à menor atividade das usinas que utilizam combustíveis fósseis. Da mesma forma que no item (i), devido à dificuldade de se avaliar financeiramente estes benefícios, os mesmos não serão considerados na composição dos benefícios financeiros;
- (iii) A menor utilização de energia elétrica, disponibilizará a energia economizada para ser utilizada por outros consumidores, o que resultará em menores investimentos da sociedade na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Mais uma vez os benefícios financeiros são de difícil avaliação e não serão considerados;
- (iv) Não será considerada também a possível redução da demanda contratada;
- (v) Não será considerada a melhoria no fator de potência da instalação, que resultará em menos probabilidade de pagamentos de multas, tensões mais estáveis e menos perdas de energia no sistema elétrico do hospital;
- (vi) Não será considerada a redução da conta de energia devido à redução do consumo provocada pela retração da carga

- térmica a ser retirada dos ambientes condicionados artificialmente;
- (vii) Por fim, de forma bastante conservativa, considerar-se-á como benefícios financeiros apenas os custos diretos com a economia de energia, em face da redução do consumo com os novos sistemas eficientes de iluminação e a menor periodicidade de reposição de lâmpadas e reatores. Esta situação proporcionará, certamente, mais vantagens além daquelas aqui mensuradas.

A Tabela 50 consolida os indicadores energéticos após a implantação do *retrofit*. A redução da potência instalada em cerca 59%, remete à redução no consumo com iluminação na mesma proporção, supondo-se um período médio de utilização do sistema de iluminação com 100% das lâmpadas ligadas de 6,78 horas por dia. Esta redução representa uma economia anual de 14,0% na conta de energia do hospital. Ressalta-se entretanto, que a economia certamente será superior à informada, uma vez que no percentual apresentado não houve a consideração da redução no consumo do sistema de ar condicionado, devido à menor carga térmica imposta pelo sistema de iluminação eficiente.

Obteve-se o tempo médio de utilização do sistema de iluminação a partir do consumo anual estimado do atual sistema do HPRB que é de 738.095,78kWh, conforme mostrado na seção 4.4.2, e da potência instalada em iluminação de 297,62kW, calculada com base na estimativa da quantidade de equipamentos de iluminação existentes no estabelecimento.

Tabela 50. Indicadores de redução de consumo pós-*retrofit*.

Sistema de Iluminação - Após o <i>Retrofit</i>					
Potência Instalada	Consumo Anual	Economia Anual de Energia em Iluminação		Consumo Final de Energia do Estabelecimento	
[kW]	[kWh]	[kWh]	%	[kWh]	%
121,81	302.269,08	435.826,70	59,0	2.674.285,30	-14,0

Em termos de valores monetários, a economia mensal é de R\$7.327,77. Considerou-se que das 6,78 horas médias de uso diário do sistema de iluminação ao longo de um ano, 8,6% estão contidas dentro do horário de ponta e que o restante refere-se ao consumo com iluminação dentro do horário fora de ponta. O percentual de horas foi obtido a

partir da proporção anual entre as horas pertencentes ao horário de ponta (três horas consecutivas nos dias úteis¹²) e as horas totais do ano. A Tabela 51 reúne as informações supra citadas.

Tabela 51. Benefícios financeiros com a redução do consumo pós-*retrofit*.

Tempo Médio Diário de Uso [h/dia]		Tarifa Média em 2008 [R\$/kWh]		Economia Anual de Energia em Iluminação - Base 2008 [R\$]		
Horário Ponta	Horário Fora Ponta	Horário Ponta	Horário Fora Ponta	Horário Ponta	Horário Fora Ponta	Total
0,58	6,20	0,3087	0,1917	11.570,41	76.362,85	87.933,27

4.7.3 Viabilidade Econômica

Conforme definido na metodologia, para trazer os valores monetários das receitas e despesas, ao longo do ciclo de vida útil do projeto, para valores atuais, é necessário que se estabeleça o tempo de vida média do sistema de iluminação. Como os equipamentos envolvidos que devem ser repostos dentro do ciclo de vida tem vidas úteis diferentes, optou-se por estabelecer como vida média do sistema de iluminação, um período equivalente ao mínimo múltiplo comum entre os seus tempos de vida útil aproximados, porém desde que o resultado não seja inferior a dez anos.

O limite mínimo de dez anos, proposto neste trabalho, fundamenta-se na admissão de que a vida útil das luminárias seja de 120 meses, uma vez a informação real não consta nos catálogos e há muita dificuldade de obtenção destas informações junto aos fabricantes. Considera-se, pois, que após este período, o estabelecimento necessitará de novo *retrofit*, em função de novas tecnologias que certamente estarão disponíveis.

As luminárias e demais materiais de infraestrutura são contabilizados apenas na implantação do *retrofit*.

Em face da inexistência de informações nos catálogos de reatores sobre a vida útil e também pela dificuldade de obtenção destas informações junto aos fabricantes, admitir-se-á como vida útil destes equipamentos, o período equivalente a duas vezes o prazo de garantia dado pelos fabricantes. Para os modelos de reatores para lâmpadas fluorescen-

¹² Dias úteis: Aqui considerado como os dias totais do ano subtraído dos sábados, domingos e feriados nacionais, conforme definido pela Resolução ANEEL 090/2001.

tes T8 ou T12 utilizados neste trabalho considerou-se, portanto, a vida útil de 24 meses; reatores para lâmpadas a vapor de mercúrio, 60 meses; reatores para lâmpadas a vapor de sódio, 60 meses e reatores para lâmpadas fluorescentes compactas, 24 meses.

Ao contrário dos reatores e luminárias, o tempo de vida útil (ou vida mediana) das lâmpadas é amplamente divulgado nos catálogos. Para as lâmpadas fluorescentes tubulares T12 envolvidas neste trabalho considerou-se a vida útil de 7.500 horas; para fluorescentes tubulares T8, 20.000 horas; para fluorescentes compactas, 10.000 horas; para vapor de mercúrio, 15.000 horas; para vapor de sódio, 29.000 horas e para lâmpadas incandescentes, 750 horas.

Calculou-se o tempo de vida útil das lâmpadas baseado em um regime diário de 6,78 horas de funcionamento, exceto para as lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio que por serem acionadas por relés fotoelétricos permitem que se estime com facilidade seu regime de funcionamento diário para o qual considerou-se como 12 horas. Considerou-se também que os reatores e lâmpadas sejam substituídos em grupo quando atingirem o final de suas vidas úteis. É importante ressaltar que podem ser necessários alguns ajustes nos tempos de vida útil das lâmpadas de forma que o menor múltiplo comum resulte em valores considerados como razoáveis.

Desta forma, o ciclo de vida a ser considerado será de 240 meses, que é aproximadamente o menor múltiplo comum entres os períodos de reposição dos equipamentos de iluminação, citados anteriormente. Naturalmente, este período é elevado para a análise de sistemas de iluminação, pois atingido este prazo o sistema já estaria obsoleto e necessitado de novos *retrofits*, porém, o mesmo será mantido para que a análise econômica possa ser realizada.

Para a determinação da relação benefício-custo (RBC) admitiu-se que todas as lâmpadas e reatores sejam substituídos periodicamente após o final de suas vidas úteis consideradas. Após a elaboração do fluxo de caixa do investimento, pôde-se obter a RBC e o valor presente líquido (VPL) do investimento os quais estão demonstrados na Tabela 52.

Tabela 52. Demonstrativo da RBC e VPL do investimento.

	<u>Benefícios [R\$]</u>	<u>Custos [R\$]</u>
Implantação do <i>retrofit</i>		177.596,43
Economia com reposição de equipamentos	171.752,95	
Economia com energia elétrica	691.594,43	
Total	863.347,38	177.596,43
RBC		4,86
VPL		685.750,95

O *payback* ocorre entre o mês 13 e 14 após conclusão da obra, ou seja com pouco mais de um ano, conforme pode ser observado através da Figura 59.

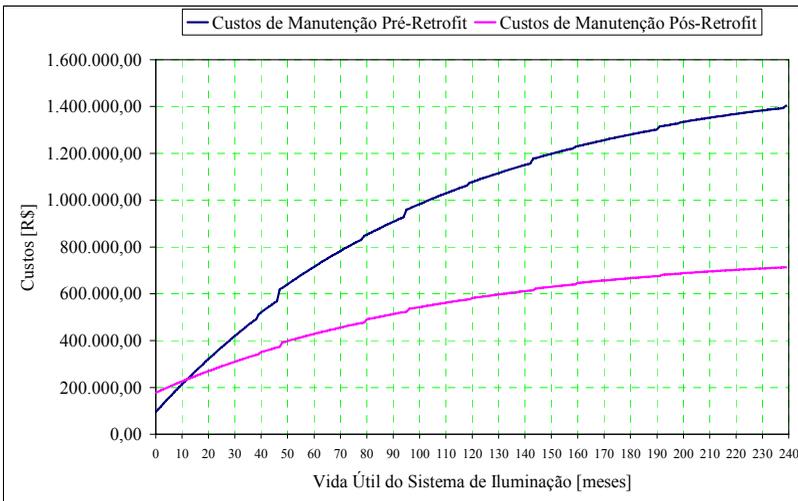


Figura 59. Tempo de retorno do investimento.

Através da Tabela 53 pode-se observar que com a implantação do *retrofit* haverá uma redução de 59% no gasto com energia elétrica em iluminação. Observa-se também que o gasto total com a reposição dos equipamentos eficientes ao longo da vida útil do sistema de iluminação adicionado aos custos de aquisição dos materiais necessários para a implantação do *retrofit* é cerca de 2,5% superior ao que seria gasto apenas com a reposição dos equipamentos ineficientes, assim, o novo sistema eficiente proporcionará uma economia total de mais de 48% ao

longo do ciclo de vida considerado para o sistema de iluminação.

Tabela 53. Valores presentes do investimento.

	VP pré-retrofit [R\$]	VP pós-retrofit [R\$]	Economia
Energia	1.171.252,08	479.657,65	59,0%
Equipamentos	232.801,54	238.645,02	-2,5%
Total	1.404.053,61	718.302,67	48,8%

Com os valores acima apresentados a taxa interna de retorno é de 8,03% a.m, que é bastante superior à TMA considerada de 0,95% a.m.

4.8 Medição e Avaliação da Iluminação Natural

De forma a se verificar o potencial de aproveitamento de iluminação natural com vistas a majorar a economia de energia elétrica com a implantação do *retrofit* no sistema de iluminação do HPRB, esta seção apresenta as medições realizadas, avalia a real possibilidade de integração da luz natural com a artificial e informa os valores do consumo de energia que poderiam ser evitados.

Seguindo-se os critérios da norma NBR 15215-4 (ABNT, 2005), para medição dos níveis de iluminação natural, cada ambiente foi dividido em retângulos imaginários de mesma dimensão, indicados pela linha tracejada nas figuras presentes nas próximas subseções. As medições foram feitas no centro destes retângulos, entretanto, respeitando-se sempre a distância mínima de 0,50m das paredes. Este limite está indicado nas figuras pela linha traço-dois-pontos. A sequência das medições ocorreu conforme a ordem numérica crescente indicada nas figuras.

Por razões construtivas, em algumas situações o número de pontos de medição sofreu pequenas variações em relação ao número proposto pela citada norma e o luxímetro em algumas medições teve o posicionamento alterado em função da presença de móveis e utensílios.

Todas as janelas das enfermarias do HPRB são de esquadrias de alumínio com vidros comuns incolores e transparentes e dotadas de venezianas externas de alumínio. Durante as medições as mesmas foram mantidas totalmente fechadas e com suas venezianas totalmente abertas. Nos momentos e posições de incidência de luz solar direta nos ambientes, não foram realizadas medições nos respectivos pontos de incidência.

4.8.1 Primeiro ao Quinto Pavimento

Entre o primeiro e quinto pavimento foram escolhidas uma enfermaria de quatro leitos com fachada voltada para o norte (número 212), com área de 25,8m² e 3,00m de pé-direito e duas com fachadas voltadas para o sul, sendo uma de quatro leitos (215) com as mesmas dimensões da enfermaria 212 e uma de dois (216) com área de 16,7m² e 3,00m de pé-direito.

Estas enfermarias estão localizadas no segundo pavimento, o qual foi escolhido para as medições em função do tipo de paciente que o ocupa ter um menor grau de gravidade (clínica médica), possibilitando o acesso e permanência por um período maior, conforme orientação da chefia de enfermagem. A localização destes ambientes pode ser observada através da Figura 60.



Figura 60. Planta baixa parcial do segundo pavimento.

As medições foram realizadas em 15 pontos para cada enfermaria, os quais estão posicionados conforme mostra a Figura 61, indicados pelas terminologia E1 a E15.

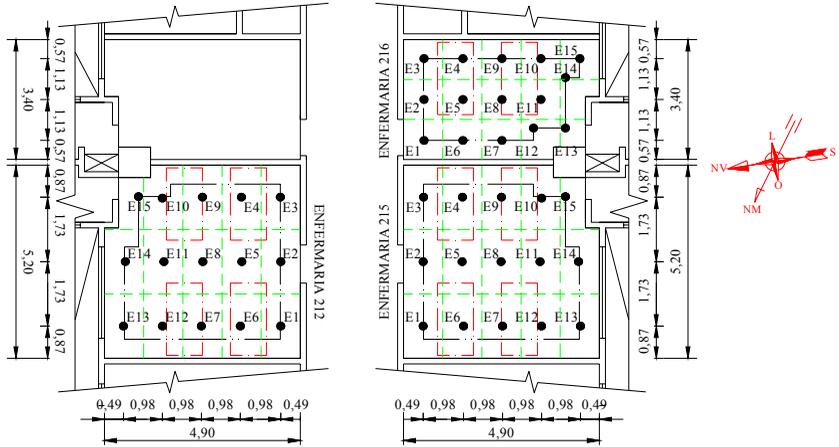
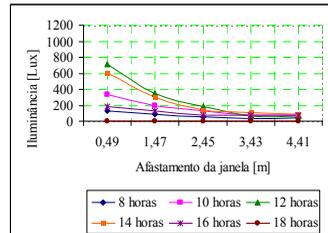
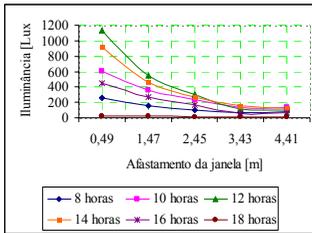


Figura 61. Malha de pontos para medição de iluminação natural nas enfermarias.

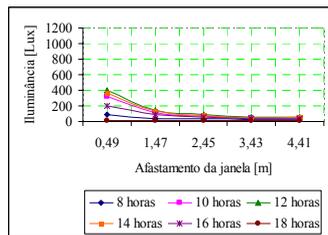
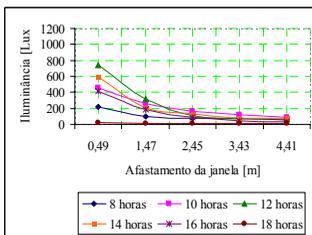
A Figura 62 mostra as curvas resultantes das medições para a enfermaria 215 e a Figura 63 para a enfermaria 216.



(a) Enfermaria 215 – Sul (Verão)

(b) Enfermaria 215 – Sul (Inverno)

Figura 62. Níveis de iluminação natural na enfermaria 215.



(a) Enfermaria 216 – Sul (Verão)

(b) Enfermaria 216 – Sul (Inverno)

Figura 63. Níveis de iluminação natural na enfermaria 216.

A grande área envidraçada das janelas possibilita uma luminosidade elevada em suas proximidades. A área das janelas coincide com a determinação encontrada em algumas normas, como no código de obras de Betim, de abertura de 1/6 da área de piso.

Elaborada por meio do *software* Dialux®, a Figura 64(a) ilustra a entrada e a distribuição de iluminâncias naturais ao meio dia na enfermaria 215 em um dia próximo ao solstício de verão com céu encoberto e sem incidência de luz direta no recinto. Através da Figura 64(b) pode-se observar a distribuição de luz, desta feita utilizando-se do esquema de cores falsas e sua escala de cores em lux.

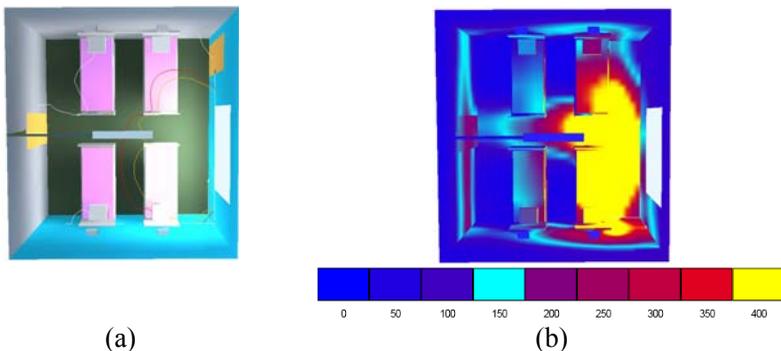


Figura 64. Entrada de luz natural no verão na enfermaria 215.

A Tabela 54 e a Tabela 55 mostram respectivamente os níveis médios de iluminância no verão e no inverno para a enfermaria 215, em todo o recinto (geral) e sobre cada leito. Os leitos 1 e 2 estão mais próximos da janela, estando o leito 1 defronte a mesma, enquanto que o 3 e 4 estão mais afastados, sendo que o leito 4 encontra-se mais distante da entrada de luz natural. Obteve-se a iluminância geral através da média aritmética de todos os pontos medidos para cada um dos afastamentos da janela. A iluminância sobre os leitos foi obtida pelo cálculo da média das iluminâncias verificadas nos pontos de medição mais próximos aos mesmos.

Pode-se observar, através da hachura verde, os horários nos quais a iluminação natural supre totalmente as necessidades luminosas do ambiente para o desenvolvimento das atividades correlatas, baseado na norma da NBR 5413 (ABNT, 1992).

No verão, praticamente durante todo o dia, a iluminação natural sozinha é suficiente para iluminar adequadamente quase todo o ambiente, sendo que entre 10 e 14 horas apenas o leito 4 não recebe iluminação

suficiente. A primeira e a última cota de afastamento estão a cerca de 0,49m das paredes e os afastamentos intermediários a cerca de 0,98m entre si.

Tabela 54. Enfermarias de quatro leitos (215), fachada sul. Iluminâncias naturais no verão.

Hora	Geral [lux]					Leito 1 [lux]	Leito 2 [lux]	Leito 3 [lux]	Leito 4 [lux]
	Afastamento da Janela [m]								
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41				
08:00	258	160	87	51	32	124	112	59	41
10:00	611	361	238	140	125	328	169	167	119
12:00	1136	565	337	114	102	830	183	155	80
14:00	915	461	273	159	126	280	206	190	85
16:00	448	268	171	72	43	256	112	77	60
18:00	21	18	13	10	7	23	13	12	9

A Tabela 55 mostra que mesmo no inverno, o acesso de luz natural entre as 10 e 16 horas permite uma iluminação geral de boa parte do recinto e sobre o leito 1 de forma satisfatória para os procedimentos médicos com segurança. Sobre os demais leitos a iluminação precisa ser complementada por luz artificial.

Tabela 55. Enfermarias de quatro leitos (215), fachada sul. Iluminâncias naturais no inverno.

Hora	Geral [lux]					Leito 1 [lux]	Leito 2 [lux]	Leito 3 [lux]	Leito 4 [lux]
	Afastamento da Janela [m]								
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41				
08:00	133	83	45	26	17	64	58	30	21
10:00	334	163	130	77	68	179	92	91	65
12:00	512	273	210	71	63	398	114	97	50
14:00	608	306	145	105	84	177	114	126	56
16:00	184	132	77	76	74	171	41	97	40
18:00	4	4	4	4	3	4	4	4	4

A Tabela 56 mostra os níveis de iluminância no verão para as enfermarias de dois leitos com orientação sul. Os resultados mostram uma diminuição da iluminância geral média durante um dia em torno de 34% em relação à enfermaria de maior índice de ambiente (quatro leitos),

embora os valores ainda continuem sendo satisfatórios durante quase todo o dia para quase todo o ambiente.

Tabela 56. Enfermarias de dois leitos (216), fachada sul.
Iluminâncias naturais no verão.

Hora	Geral [lux]					Leito 1 [lux]	Leito 2 [lux]
	Afastamento da Janela [m]						
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41		
08:00	215	97	75	73	56	94	67
10:00	463	264	161	125	91	272	141
12:00	743	312	110	65	61	273	70
14:00	590	207	131	80	73	222	89
16:00	416	184	89	48	36	191	51
18:00	17	14	11	10	8	14	10

A Tabela 57 evidencia que no inverno a disponibilidade de luz natural diminui significativamente e que a iluminação geral das enfermarias de dois leitos com orientação para o sul é suprida satisfatoriamente apenas entre as 10 e as 14 horas e em uma pequena parte do recinto. Fora destes horários e também sobre os leitos, a iluminação artificial suplementar precisa ser acionada.

Tabela 57. Enfermarias de dois leitos (216), fachada sul.
Iluminâncias naturais no inverno.

Hora	Geral [lux]					Leito 1 [lux]	Leito 2 [lux]
	Afastamento da Janela [m]						
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41		
08:00	89	37	30	27	21	41	26
10:00	322	113	72	44	40	121	48
12:00	404	142	90	55	50	152	61
14:00	368	129	82	50	46	138	55
16:00	203	86	55	33	30	92	37
18:00	7	6	6	6	6	6	6

A Tabela 58 relaciona o nível de iluminação geral e sobre os leitos da enfermaria de quatro leitos com orientação para o norte no verão. Pode-se observar que há uma abundância de luz natural praticamente durante todo o dia em quase todo o recinto. É notável também o grande

nível de iluminação durante as horas intermediárias do dia.

Tabela 58. Enfermarias de quatro leitos (212), fachada norte.
Iluminâncias naturais no verão.

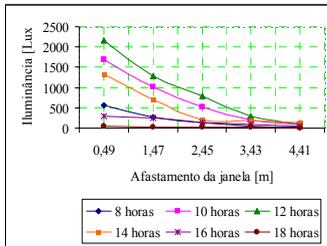
Hora	Geral [lux]					L. 1 [lux]	L. 2 [lux]	L. 3 [lux]	L. 4 [lux]
	Afastamento da Janela [m]								
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41				
08:00	568	274	139	54	35	317	89	82	32
10:00	1694	1023	517	201	131	1181	332	306	121
12:00	2157	1285	788	292	162	1547	472	409	155
14:00	1320	703	197	173	135	511	383	220	140
16:00	292	242	144	86	48	222	152	121	64
18:00	35	24	17	12	7	32	10	12	12

Finalmente, através da Tabela 59 pode-se observar que no inverno, as enfermarias com fachadas ao norte tem suas necessidades de iluminação geral supridas por luz natural durante praticamente todo o dia apenas nas proximidades da janela.

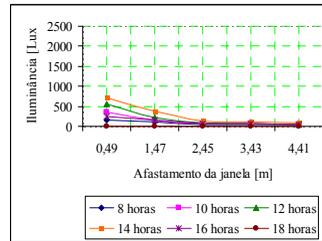
Tabela 59. Enfermarias quatro leitos (212), fachada norte.
Iluminâncias naturais no inverno.

Hora	Geral [lux]					L. 1 [lux]	L. 2 [lux]	L. 3 [lux]	L. 4 [lux]
	Afastamento da Janela [m]								
	0,49	1,47	2,45	3,43	4,41				
08:00	169	101	54	51	42	89	64	65	41
10:00	368	161	72	61	51	133	97	78	50
12:00	563	234	79	67	56	178	132	85	54
14:00	717	374	129	108	89	286	212	137	87
16:00	249	152	70	58	48	127	92	74	47
18:00	4	4	4	4	5	4	4	4	4

Observando-se a Figura 65, pode-se notar a intensa iluminação natural presente nas enfermarias voltadas para a orientação norte, especialmente no verão, onde a iluminância média sobre os leitos mais próximos da janela atinge níveis acima de 1000lux. No inverno o nível médio diário de iluminação geral do recinto, entre 8 e 18 horas, reduz quase 70%.



(a) Enfermaria 212
Norte (Verão)



(b) Enfermaria 212
Norte (Inverno)

Figura 65. Iluminâncias naturais nas enfermarias de quatro leitos em estações diferentes.

Embora em determinados horários e épocas do ano haja iluminação natural suficiente sobre os leitos, não se considerou a possibilidade de modificações na forma de comando da iluminação sobre os mesmos, uma vez que seu acionamento é esporádico e provavelmente durante os períodos mais claros do dia a iluminação realmente não seja acionada. Considerou-se apenas a possibilidade de manter desligada a iluminação geral das enfermarias durante os períodos do dia em que a iluminação natural supere 100 lux, considerado como valor mínimo aceitável, conforme discutido na seção 3.6.3.

Com base na distribuição de iluminâncias das enfermarias pôde-se calcular, tanto para os meses quentes (primavera e verão) quanto para os frios (outono e inverno), para cada hora do dia a fração de área destes ambientes que são supridos adequadamente por luz natural. Considerando-se a densidade de potência instalada nestes recintos pôde-se determinar a potência que poderia deixar de ser demandada nas respectivas horas do dia e assim obter-se o valor do potencial de economia de energia adicional pela utilização de luz natural. No caso das enfermarias no HPRB, estima-se que o potencial de economia anual de energia seja cerca de 6600kWh.

Admitiu-se que o aproveitamento de luz natural nas enfermarias de dois leitos com orientação norte seja idêntico ao que ocorre com as enfermarias com quatro leitos para a mesma orientação, pelo fato de não se ter medido efetivamente esta última.

4.8.2 Pavimento Térreo

A entrada de luz natural no interior do pavimento térreo é deficiente, haja visto as pequenas aberturas existentes através de vidraças

fixas, as quais apresentam-se com acúmulo de poeira. A Figura 66(a) mostra a cobertura do pavimento térreo e a Figura 66(b) mostra a vista interna da mesma cobertura, evidenciando a cor cinza do teto que dificulta a reflexão da luz e as condições de acesso da luz natural. As vidraças pelas quais a luz natural entra nos ambientes do pavimento térreo estão voltadas para a orientação leste.



(a) Entrada de luz natural
Vista externa



(b) Entrada de luz natural
Vista interna

Figura 66. Acesso de luz natural no interior do pavimento térreo.

Os maiores potenciais de aproveitamento de luz natural no pavimento térreo estão situados ao longo de seu perímetro, por apresentar amplas janelas em quase toda a sua extensão. Os ambientes hachurados, mostrados na Figura 67, foram os escolhidos para as medições. Selecionou-se alguns ambientes periféricos em cada orientação e um no interior do pavimento térreo.

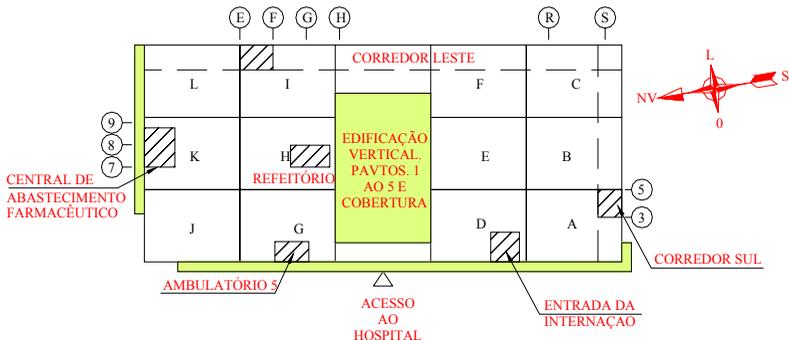


Figura 67. Planta baixa parcial do pavimento térreo.

O refeitório foi o escolhido para as medições, como representativo das condições de iluminação no interior do pavimento térreo, por estar posicionado aproximadamente no centro do mesmo, entre os eixos horizontais 7 e 8 e verticais F e H. Ele tem 166,1m² de área e pé-direito

de 4,50m. Foram realizadas medições em 44 pontos que apontaram níveis de iluminância bastante variáveis. A malha de pontos de medição pode ser vista através da Figura 73, encontrada no Apêndice 19.

Embora haja períodos em que o nível de iluminância é elevado nas proximidades das janelas, a média de disponibilidade de luz natural para todo o ambiente durante todo o dia entre as 8 e 18 horas é de apenas 83 lux no verão e 53 lux no inverno. As hachuras verdes das Tabela 60 e Tabela 61 destacam os níveis de iluminação não inferiores a 50 lux, considerados como níveis mínimos que devem ser atendidos para os ambientes internos, segundo a NBR 5413 (ABNT, 1992).

Tabela 60. Níveis médios de iluminância natural do refeitório no verão.

Hora	Afastamento da Janela [m]							
	0,87	2,65	4,43	6,21	7,99	9,77	11,55	13,33
08:00	448	298	152	102	43	27	25	21
10:00	618	407	193	101	27	18	18	14
12:00	442	111	59	29	9	7	6	6
14:00	206	115	51	32	11	7	6	6
16:00	142	102	46	29	9	6	6	5
18:00	17	12	6	3	1	1	1	1

Tabela 61. Níveis médios de iluminância natural do refeitório no inverno.

Hora	Afastamento da Janela [m]							
	0,87	2,65	4,43	6,21	7,99	9,77	11,55	13,33
08:00	316	221	145	100	38	26	22	21
10:00	271	212	112	70	25	17	17	14
12:00	148	105	56	39	14	10	10	8
14:00	93	79	48	33	12	9	9	8
16:00	51	52	33	23	8	7	7	6
18:00	9	9	6	4	1	1	1	1

As iluminâncias naturais obtidas no refeitório serviram de base para a projeção do potencial de aproveitamento de luz natural em todo o interior do pavimento térreo. Agrupou-se todos os ambientes internos segundo suas necessidades de iluminação de acordo com a NBR 5413 (ABNT, 1992) e efetuou-se a projeção do potencial de aproveitamento

de luz natural. Com base na distribuição de iluminâncias do ambiente representativo do interior do hospital pôde-se calcular tanto para as estações quentes quanto para as frias e para cada hora do dia a fração de área destes ambientes que são supridas adequadamente por luz natural. Considerando-se a densidade de potência instalada nestes recintos pode-se determinar a potência que poderia deixar de ser demandada nas respectivas horas do dia e assim obter-se o valor do potencial de economia de energia adicional pela utilização de luz natural, de forma similar ao já abordado para as enfermarias. Para os ambientes do interior do HPRB, o potencial de economia anual de energia estimado é cerca de 16700kWh.

A central de abastecimento farmacêutico é o ambiente representativo das condições de iluminação natural para a fachada norte, sendo que ao longo de toda sua extensão existe uma marquise que a protege contra penetração de raios solares diretos. A central está localizada entre os eixos 7 e 9, com 126,1m² de área e pé-direito de 4,50m. O leiaute dos 32 pontos medidos pode ser visto através da Figura 74 do Apêndice 19.

Apenas para efeito de análise das flutuações nos níveis de iluminação em dias diferentes, observa-se que entre as 8 e as 18 horas a iluminância média é de 111 lux no verão e 242 lux no inverno. Os níveis de iluminação mais altos no inverno que no verão podem ser devidos ao tipo de céu que se apresentara em cada estação, sendo que durante as medições de verão o dia manteve-se chuvoso com o céu totalmente encoberto e na medição de inverno o céu estava limpo. Utilizando-se da mesma metodologia de cálculo para as enfermarias, conclui-se que os ambientes da fachada norte tem um potencial de aproveitamento de luz natural que corresponde a uma economia anual de energia de cerca de 2450kWh.

Ao longo da fachada sul há um corredor no qual existem algumas vidraças para entrada de luz natural. Para as medições foi tomado o trecho entre os eixos 3 e 5, no qual metade do comprimento é frontal às vidraças e a outra metade é frontal à parede. Este trecho tem área de 27,2m² e 4,50m de pé-direito. As medições indicaram níveis de iluminância da ordem de 1.200lux em alguns pontos próximos às janelas, ao meio-dia, caindo para 250lux alguns metros à frente, defronte a parede. Foram medidos 16 pontos, conforme distribuição mostrada na Figura 75 do Apêndice 19.

Com base na mesma metodologia de cálculo utilizada para as enfermarias, pode-se concluir que os ambientes da fachada sul tem um potencial de aproveitamento de luz natural que corresponde a uma economia anual de energia de aproximadamente 1430kWh. Admitiu-se que a densidade média de potência instalada para os ambientes iluminados

por lâmpadas fluorescentes com exigência de iluminância de 100lux, represente também a densidade de potência instalada para os corredores que se enquadram neste nível de iluminância.

O aproveitamento de luz natural na fachada leste é possível apenas no corredor, o qual se estende ao longo de todo o comprimento do pavimento térreo. Entretanto, observa-se que a quantidade de luz é bastante reduzida em função do tipo de parede, a qual foi construída utilizando-se uma veneziana de concreto, conforme pode ser observado na Figura 68. A medição da iluminação natural foi feita entre os eixos E e F, em uma área de 15,8m² e pé-direito de 4,50m. As medições realizadas em 10 pontos, os quais podem ser observados através da Figura 76 do Apêndice 19, indicaram melhores níveis de iluminância nos pontos mais afastados da veneziana, como consequência de sua geometria. Os maiores índices de iluminância ocorrem às 12 horas, porém, em nenhum ponto chegam a 100lux, inviabilizando, portanto o efetivo aproveitamento de luz natural.



Figura 68. Ambiente para medição de iluminância natural na fachada leste.

Os maiores potenciais de aproveitamento de luz natural ocorrem na fachada oeste. Ressalta-se, entretanto, que em todos os ambientes, as janelas de vidro possuem uma película escura e em alguns deles existem também arbustos próximos dificultando o acesso da luz natural no interior do ambiente.

Há duas situações bastante distintas de entradas de luz: à esquerda do acesso principal existe uma série de ambulatórios pequenos, nos quais a entrada de luz se dá apenas pela janela de vidro e é ainda obstruída pela presença de alguns arbustos, conforme mostrado pela Figura 69(a); à direita, existem as entradas para o pronto socorro e para a internação, são áreas amplas, esta última com área de 103,4m² e pé-direito de 3,00m, possuindo grandes aberturas para entrada de iluminação natural,

conforme mostrado pela Figura 69(b).



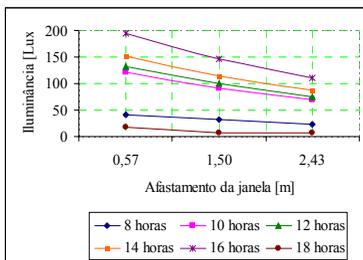
(a) Ambulatórios
Fachada oeste. Ambiente 1.



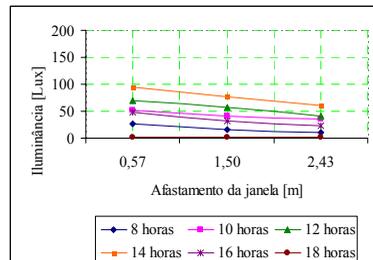
(b) Entrada da internação
Fachada oeste. Ambiente 2.

Figura 69. Recintos de medição de iluminância natural.

Para o estudo de aproveitamento de luz natural na fachada oeste foi utilizado o ambulatório 5 (entre os eixos F e G). Neste ambulatório, com área de $9,5\text{m}^2$ e pé-direito de $3,00\text{m}$, foram medidos 9 pontos, cujo leiaute pode ser visto pela Figura 77 do Apêndice 19, resultando nas curvas de iluminância mostradas na Figura 70.



(a) Ambulatório (Verão)

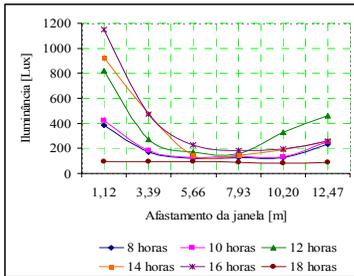


(b) Ambulatório (Inverno)

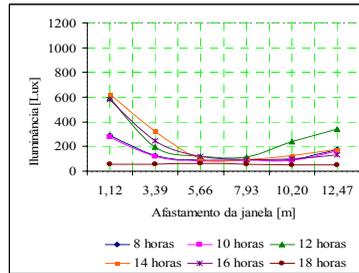
Figura 70. Iluminância Natural na Fachada Oeste (ambiente 1 - ambulatório).

O outro ambiente de estudo da fachada oeste é a entrada da internação, por ter uma geometria mais regular que a entrada do pronto socorro, facilitando as medições. As amplas vidraças permitem que os níveis de iluminância sejam bem superiores ao ambiente 1. Foram medidos 16 pontos, cujo leiaute pode ser encontrado no Apêndice 19, Figura 78.

Uma particularidade na medição deste ambiente é que não se pôde desligar a iluminação artificial, logo, foi feita também uma medição da iluminância à noite, cujos valores foram subtraídos das medições realizadas durante o dia. Através da Figura 71 pode-se observar as curvas de iluminâncias resultantes. No fundo da sala, a iluminância volta a subir devido a proximidade de uma outra vidraça, próxima ao corredor sul.



(a) Entrada Internação (Verão)



(a) Entrada Internação (Inverno)

Figura 71. Iluminância Natural na Fachada Oeste (ambiente 2).

Para o estudo do potencial de economia de energia na fachada oeste, considerou-se as iluminâncias médias medidas na entrada da internação como representativas para os recintos de acesso ao estabelecimento e as iluminâncias médias medidas no ambulatório como representativas dos demais ambientes da fachada oeste. Com base na distribuição de iluminâncias dos ambientes representativos desta fachada pôde-se calcular para cada hora do dia a fração de área destes ambientes que são supridos adequadamente por luz natural. Considerando-se a densidade de potência instalada nestes recintos pode-se determinar a potência que poderia deixar de ser demandada nas respectivas horas do dia e assim obter-se o valor do potencial de economia de energia adicional pela utilização de luz natural, de forma similar ao já abordado para as enfermarias. Para os ambientes da fachada oeste do HPRB, a estimativa do potencial de economia anual de energia é cerca de 5600kWh.

Pode-se afirmar que no entorno do HPRB não há possibilidade, a curto prazo, de construção de prédios que possam bloquear o acesso à luz solar, pois o mesmo ocupa todo o quarteirão. A fachada norte está voltada para uma avenida que tem um ribeirão central. A fachada oeste está voltada para o estacionamento do hospital. A fachada sul e a leste são voltadas para o interior do bairro onde o plano diretor de Betim não permite construção de prédios.

A vegetação do entorno do HPRB é constituída apenas de pequenos arbustos não consistindo de potenciais problemas de bloqueio da luz natural, exceto para alguns trechos da fachada oeste onde a quantidade de arbustos é significativa, impedindo um maior aproveitamento da luz natural, embora ainda assim seja o ambiente de maior potencial de aproveitamento. Todas as fachadas do HPRB são desprovidas de qualquer forma de proteções solares, exceto nas vidraças perimetrais do pavimento térreo onde há uma película escura instalada sobre os vidros, uma marquise ao longo das fachadas norte e oeste e venezianas de alumínio nas janelas das enfermarias.

Embora nos supra citados ambientes haja uma quantidade de iluminação natural suficiente durante uma grande parte do dia, a maior parte das lâmpadas fluorescentes permanecem acesas por 24 horas.

Cabe-se ressaltar, finalmente, que no Hospital Público Regional de Betim, em função de sua arquitetura, há o aproveitamento de luz natural. Ela aumenta os níveis de iluminação e em certos ambientes até superam os valores mínimos recomendados pela ABNT, entretanto, observa-se que não há o efetivo desligamento da iluminação artificial de forma sistemática, o que não permite que este aproveitamento seja transformado em economia de energia. Desta forma, para efeito de cálculo das economias de energia apresentadas neste trabalho considerou-se, em um primeiro momento, que durante as 6,78 horas médias diárias que o sistema de iluminação fica ligado não exista nenhuma luminária desligada devido ao aproveitamento de luz natural. Considerou-se também que, em um segundo momento, as luminárias posicionadas nos locais onde a luz natural supra os níveis de iluminação necessários dos ambientes possam ser desligadas. Através da análise destas duas considerações estimou-se o potencial de economia de energia.

4.8.3 Considerações sobre a determinação da energia elétrica economizada utilizando-se iluminação natural.

A Tabela 62 relaciona as datas em que as medições foram realizadas, bem como a condição mais freqüente que o céu se apresentara nos respectivos dias. As medições sofreram uma antecipação de cerca de dez minutos em relação aos horários previstos, uma vez que se dispôs de apenas um luxímetro para realização das medições. Os horários estipulados para as medições foram 8, 10, 12, 14, 16 e 18 horas, a exemplo das medições nas enfermarias, conforme pode ser observado no Apêndice 18, Tabela 74.

A condição céu mais frequentemente encontrada na região de Belo

Horizonte, durante todo o ano, é parcialmente encoberto, conforme pode ser constatado através da Tabela 17 da subseção 3.9. Nos dias da realização das medições de verão o céu variou entre parcialmente nublado e nublado, conforme pode ser visto através da Tabela 62. Desta forma, os níveis de iluminação encontrados - e sobre os quais os cálculos de conservação de energia se desenvolveram - representam bem as iluminâncias médias inferidas para os meses quentes, exceto para o refeitório e a farmácia central, cujos níveis de iluminação medidos poderão ser superados, uma vez que na ocasião das medições o céu apresentava-se encoberto. Os valores calculados de economia de energia elétrica em iluminação para as estações quentes, portanto, são conservativos e poderão ser superados, majorando a projeção de economia apresentada neste trabalho.

Nos dias das medições de inverno o céu variou entre parcialmente nublado, nublado e claro, como mostrado pela Tabela 62. De forma similar ao exposto no parágrafo anterior, os ambientes medidos sob céu parcialmente nublado e nublado representam bem as iluminâncias médias que podem ser encontradas nos meses frios. Ressalta-se, entretanto, que as medições feitas no refeitório e na farmácia central foram realizadas sob céu claro. Isto poderia refletir em uma superestimação dos níveis de iluminância encontrados em relação aos valores médios verificados nas estações frias.

A Tabela 17 da subseção 3.9 mostra que, em média, um céu considerado claro em Belo Horizonte produz cerca de 20,4% de horas de insolação a mais que em um céu considerado parcialmente encoberto. Considerando-se que os níveis de iluminação internos são uma proporção direta das iluminâncias externas, pode-se concluir que um céu parcialmente nublado produz, em média, cerca de 20,4% menos iluminância nos ambientes internos que um céu claro em Belo Horizonte. Com base nestas considerações, pôde-se fazer simulações, as quais apontam uma redução na economia de aproximadamente 14% no interior do hospital e 9% nos ambientes da fachada norte, o que implica em uma redução final para todo o estabelecimento de cerca de 7,8% em relação aos valores projetados de economia apresentados neste trabalho.

Tabela 62. Cronograma de medições de iluminação natural.

Ambiente	Medições de Verão		Medições de Inverno	
	Data	Condições de Céu	Data	Condições de Céu
Enfermaria 212	19/12/2008	Parc. Nublado	19/06/2009	Parc. Nublado
Enfermaria 215	19/12/2008	Parc. Nublado	19/06/2009	Parc. Nublado
Enfermaria 216	19/12/2008	Parc. Nublado	19/06/2009	Parc. Nublado
Refeitório	20/12/2008	Nublado	20/06/2009	Claro
Farmácia Central	20/12/2008	Nublado	20/06/2009	Claro
Ambulatório	21/12/2008	Parc. Nublado	22/06/2009	Parc. Nublado
Entrada Internação	21/12/2008	Parc. Nublado	22/06/2009	Parc. Nublado
Corredor Sul	22/12/2008	Parc. Nublado	23/06/2009	Nublado
Corredor Leste	22/12/2008	Parc. Nublado	23/06/2009	Nublado

Obs.: As condições de céu refere-se a como o céu se apresentara durante os momentos de medição.

4.9 Considerações Finais

Todas as análises presentes no capítulo 4 que envolveram lâmpadas fluorescentes tubulares basearam-se na tecnologia de bulbo T8. Entretanto, utilizando-se do mesmo método de escolha de luminárias, lâmpadas e reatores elaborou-se um estudo sobre a possibilidade de utilização de lâmpadas bulbo T5. A utilização desta tecnologia, embora mais recente, ainda não pode ser considerada uma alternativa economicamente viável quando comparadas à tecnologia T8.

As lâmpadas T5 embora tenham um diâmetro reduzido e uma emissão luminosa aproximadamente igual às T8, têm um custo de aquisição de cerca do dobro das T8, além da dificuldade de encontrá-las no mercado.

Igualmente difícil de encontrar no mercado são os reatores para lâmpadas T5. Existem poucas empresas que fabricam este tipo de reator os quais possuem um preço de aquisição cerca de três vezes maior que

os reatores para lâmpada T8. Outra particularidade dos reatores T5 é sua baixa eficiência. Enquanto que os reatores T8 podem ser encontrados facilmente com rendimento até de 98%, os T5 raramente são fabricados com rendimento superior a 90%. Reatores T5 com rendimento superior a 90% custam quase cinco vezes seus equivalentes T8. O baixo rendimento dos reatores T5 descaracterizam o que poderia ser uma vantagem das lâmpadas T5 em relação às T8 de terem uma menor potência, fazendo que no final o conjunto de iluminação (reator e lâmpada) tenham potência finais equivalentes.

Embora em quantidade de modelos inferior às T8, encontra-se no mercado com certa facilidade as luminárias T5, sendo que a maioria dos fabricantes as produzem com refletor e aletas de alumínio. O preço das luminárias para lâmpadas T5 é ligeiramente superior às T8.

Simulou-se neste trabalho a utilização de luminárias, reatores e lâmpadas T5. Concluiu-se que a quantidade total de luminárias do Hospital Público Regional de Betim seria praticamente igual à calculada para tecnologia T8 e sem alterações significativas na iluminância média dos ambientes. Verificou-se também que com a tecnologia T5, o *payback* do *retrofit* ocorreria entre os meses 24 e 25 após a implantação, contra um *payback* com tecnologia T8 ocorrendo entre os meses 13 e 14.

Os próximos parágrafos referem-se à utilização de luminárias, reatores e lâmpadas de tecnologia T8.

O atual sistema de iluminação artificial do HPRB, considerando-se apenas os ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes apresenta uma densidade média de 16,81W/m² para cada 100lux de iluminância. Considerando-se apenas os ambientes iluminados por lâmpadas incandescentes, a densidade média é cerca de 31,59W/m² para cada 100lux de iluminância. Nas enfermarias, desconsiderando-se a iluminação sobre os leitos, portanto, levando-se em conta apenas a iluminação geral dos recintos, a densidade média é cerca de 26,82W/m² para cada 100lux de iluminância.

Em termos gerais, nas áreas internas do hospital, a densidade atual de potência instalada é de 18,58W/m² para cada 100lux de iluminância, enquanto que o mínimo desejável para enquadramento do estabelecimento nos critérios de eficiência energética, mesmo que o menos eficiente, ou nível D (Brasil, 2009), seria de 4,14W/m²/100lux. Isto representa uma potência instalada aproximadamente 4,5 vezes superior à desejada, o que mostra a ineficiência do atual sistema de iluminação.

Estima-se que após a realização do *retrofit* a densidade de potência instalada global do hospital, com os equipamentos eficientes, seja de

3,03W/m² para cada 100lux de iluminância. Este valor é bem melhor que aquele necessário para enquadramento do estabelecimento nos critérios de eficiência energética, para o nível menos eficiente (nível D) que no caso representa de 4,14W/m²/100lux. Com a nova densidade de potência instalada o hospital poderia ser enquadrado na classe de eficiência B.

A iluminação externa do HPRB é bastante deficiente, especialmente a do estacionamento, onde as luminárias instaladas nos postes, com 25m de altura, corroboram para diminuir a iluminância que incide no solo, além da enorme dificuldade para manutenção. Sugere-se a substituição tanto do sistema de iluminação como da troca dos postes para outros com alturas menores, como 9m, por exemplo.

Devido à dificuldade de acesso e permanência em salas de cirurgia, os níveis de iluminação geral destes recintos não foram medidos, porém eles foram simulados através de programas computacionais. Os valores obtidos apontaram iluminâncias próximas das faixas recomendadas pela NBR 5413 (ABNT, 1992), embora a densidade de potência instalada esteja superior aos valores considerados eficientes, segundo a Portaria 163 (Brasil, 2009).

Constatou-se que a fabricação de lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas de qualidade são dominadas por quatro empresas multinacionais (GE, Osram, Philips, Sylvania).

Observa-se que existe uma quantidade muito grande de fabricantes de luminárias tubulares, entretanto, poucos disponibilizam dados técnicos suficientes para uma análise criteriosa, menos ainda fornecem arquivos ou diagramas fotométricos de seus produtos.

Ao contrário das luminárias para lâmpadas tubulares, existem poucos fabricantes de luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas. Por serem consideradas pelos fabricantes como luminárias decorativas, apresentam-se com preços bastante elevados, quando comparados com as luminárias para lâmpadas tubulares. Outro ponto importante sobre as luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas é que as mesmas praticamente só são fabricadas na versão para duas lâmpadas e com aletas.

A quantidade de luminárias para lâmpadas fluorescentes tubulares estimada por meio da projeção da densidade de luminárias existentes, para a situação atual do hospital, é de 2264 unidades contra 2224 unidades totalizadas através do diagnóstico energético. Após o *retrofit* a quantidade estimada diminui para 1790 unidades. A redução em cerca de 21% na quantidade de luminárias, certamente contribuirá para a redução no volume de trabalhos de limpeza e reposição de peças defeituoso-

sas, o que proporcionará mais economia com a manutenção do sistema.

Considerou-se para a iluminação externa, a manutenção das atuais luminárias e a substituição dos reatores e lâmpadas à vapor de mercúrio por vapor de sódio, o que resulta em significativa redução da potência instalada, em torno de 38%, e ao mesmo tempo aumento da iluminância média, superando, inclusive as iluminâncias mínimas recomendadas para ambientes externos.

A redução da potência das luminárias mais próximas às janelas não pôde ser considerada uma solução para o estudo de caso, pois a grande maioria dos recintos, por funcionar durante 24 horas, precisa de níveis de iluminação plenos durante a noite. A instalação de sensores e reatores dimerizáveis também não foi analisada, uma vez que, ainda os custos destes equipamentos são bastante elevados e em face de ainda não serem equipamentos populares, certamente haveria muita dificuldade em reposição em caso de defeito. Por fim, a análise considera como única possibilidade de economia de energia a instalação de interruptores exclusivos para as luminárias mais próximas à entrada de luz do dia.

No pavimento térreo foram considerados como tecnicamente viáveis de aproveitamento de luz natural todos os ambientes desprovidos de forro e que tenham entrada de luz natural oriunda das vidraças instaladas dos dente-de-serra da cobertura.

Nos recintos do interior do primeiro ao quinto pavimento, para efeito de estimativa de conservação de energia, considerou-se as mesmas condições de iluminância medidas no refeitório do pavimento térreo.

Para que possam ser utilizadas em ambientes hospitalares, as luminárias devem ter classe A ou B, quanto ao controle de ofuscamento direto. Para que as luminárias possam ser classificadas como A ou B, as curvas das iluminâncias produzidas por elas não devem ultrapassar, na pior hipótese, às seguintes curvas do gráfico de limitação de luminância, mostradas na Figura 20 da seção 3.7.5: curva 'c' para ambientes cujas iluminâncias estejam entre 501 e 1000 lux; curva 'd' para ambientes cujas iluminâncias estejam entre 301 e 500 lux, e curva 'e' para ambientes cujas iluminâncias sejam de até 300 lux.

A análise por curvas de limitação de luminâncias mostram que a escolha das luminárias é adequada apenas para recintos onde os ângulos de visão sejam predominantemente horizontais ou para baixo. Como esta situação não ocorre nas enfermarias, pois os pacientes acamados têm o campo de visão para cima, optou-se para estes recintos pela utilização de luminárias com difusor texturizado ou leitoso, de forma amenizar o contato de direto da visão com as lâmpadas.

Pelas análises realizadas pôde-se verificar que as luminárias escolhidas, mesmo aquelas sem aletas, produzem níveis de luminâncias que não causam ofuscamento direto. Caso isto não ocorresse seria necessário a elaboração de novos estudos luminotécnicos utilizando-se outras luminárias com sistema de controle de luminâncias mais severos.

A grande variabilidade de consumo entre os ambientes de um hospital, mesmo entre setores afins, como em enfermarias, que por terem especialidades distintas, não permitem que se possam inferir valores de consumo desagregado a partir da densidade de consumo calculada.

O custo médio para implantação de *retrofit* em sistemas de iluminação em hospitais de porte médio com baixos níveis de conforto, dentro dos critérios estabelecidos neste trabalho, é da ordem de R\$9,39/m² para aquisição de equipamentos eficientes e materiais para intervenções na infraestrutura e cerca R\$22,39/m² para contratação de empresas para execução dos trabalhos de engenharia e execução das obras.

A eficiência geral do sistema de iluminação após a implantação do *retrofit* seria de cerca de 61 lumens/Watt, comparável ao nível médio encontrado no Japão e Coréia (65 lm/W);

A densidade de potência em iluminação atual das áreas internas do HPRB é de 15,7W/m², que é um pouco inferior (cerca de 7,6%) ao limite máximo aceitável para este tipo de estabelecimento no estado de Massachussets nos Estados Unidos (17,0 W/m²);

Verifica-se uma discrepância muito grande entre as normas de diversos países com relação aos valores recomendados de níveis de iluminâncias para ambientes internos.

5 Conclusões

Esta dissertação estabeleceu uma metodologia para implantação de *retrofit* em sistemas de iluminação de hospitais públicos, a qual foi aplicada no Hospital Público Regional de Betim de forma a comprovar sua eficácia.

5.1 Cuidados Sobre a Estimativa dos Usos Finais de Eletricidade

- (i) O intervalo de integração de consumo registrado nas contas de energia geralmente não é realizado de 30 em 30 dias, sendo necessário a padronização para este intervalo para que as análises mensais possam ser realizadas. É necessária também a verificação da data da leitura de forma a se constatar se os consumos registrados referem-se ao mês-referência que vem estampado na conta ou se o mesmo deve ser creditado ao mês anterior ao mês-referência;
- (ii) O sistema de condicionamento ambiental por ter o maior peso no consumo de energia elétrica do hospital e por ter forte correlação com a temperatura ambiente, faz com que as variações no consumo registradas nas contas de energia ao longo dos anos e ao longo dos meses tenham também fortes correlações com a temperatura ambiente;
- (iii) Em média, ao longo de um ano, o condicionamento ambiental representa o maior sistema consumidor de energia elétrica de um hospital, principalmente para estabelecimentos que utilizam a cadeira como principal meio para aquecimento de água, portanto, esforços devem ser empenhados no sentido de se efetuar manutenções periódicas criteriosas. Estas manutenções visam a se inspecionar com frequência os equipamentos, tubulação de água gelada, dutos de ar, entre outros, de forma a minorar ao máximo as perdas do sistema;
- (iv) O consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento ambiental dentro das estações quentes (primavera e verão) e dentro das estações frias (outono e inverno) é bastante estável. Portanto, uma medição de consumo no verão e outra no inverno é suficiente para representar bem o consumo dentro das estações quentes e frias, respectivamente;
- (v) O consumo de energia elétrica dos aparelhos de ar condicionado de janela em hospitais que dispõem de sistema centralizado de climatização artificial, em relação ao consumo geral do estabele-

- cimento, é pouco representativo. Pode-se admitir, portanto, para efeito de cálculo do consumo anual, que os mesmos funcionem ininterruptamente durante o período de expediente do recinto onde estão instalados, durante as estações quentes e fiquem totalmente desligados durante as estações frias;
- (vi) Deve ser verificado se pode-se admitir que o mês de menor consumo de energia elétrica do hospital dentro de um ano refere-se ao mês de consumo mínimo do sistema de condicionamento de ar e o mês de maior consumo, ao consumo máximo do mesmo. Estas variações podem ser explicadas pelas variações das temperaturas ambientes médias do inverno e verão, respectivamente;
 - (vii) Em uma análise de consumo de energia elétrica de um hospital ao longo de uma série de anos, pode-se estimar o consumo do sistema de condicionamento ambiental de forma a admitir-se que o consumo dos demais sistemas é constante. Entretanto deve-se verificar que no período analisado não haja intervenções em algum sistema que altere significativamente o consumo do estabelecimento;
 - (viii) Deve ser verificado se o consumo da fábrica de oxigênio e da central de ar comprimido é homogêneo, de forma que para a avaliação do consumo anual deste sistema, apenas um dia de medição seja suficiente;
 - (ix) Para a análise do consumo da central de vácuo, não são necessárias medições de consumo, uma vez que o ciclo de funcionamento é bem conhecido. Basta que seja determinado o fator de carga que os equipamentos trabalham bem como a relação entre o tempo que os motores ficam acionados e desligados;
 - (x) A determinação do consumo do sistema de exaustão e ventilação mecânica é bastante trabalhosa. É necessário se identificar todos os equipamentos e os respectivos ambientes que eles atendem e estabelecer por meio de entrevistas o tempo que aproximadamente os mesmos ficam ligados diariamente;
 - (xi) Devido à diversidade do ciclo de trabalho de cada motor, a determinação do consumo do sistema de caldeiras é muito difícil;
 - (xii) Deve-se verificar se os *boilers* tem consumo constante e se o acionamento dos bancos de resistores de aquecimento tem dependência da temperatura ambiente média. Caso positivo, para a determinação do consumo com precisão são necessárias medições no verão e no inverno. Entretanto devido à pequena participação em relação ao consumo global do hospital (menos de 1%), como o observado no estudo de caso deste trabalho, sugere-se que se-

jam realizadas medições em apenas um dia em qualquer época do ano. Esta sugestão poderá diminuir o tempo de pesquisa sem comprometer significativamente a representatividade deste uso final frente ao consumo total do hospital;

- (xiii) A determinação do uso final com os exames clínicos (tomografia e raio-x) é muito difícil. Primeiro pela dificuldade de acesso a estas áreas que são restritas. Segundo pela alta variabilidade de consumo de um exame para o outro, em função da intensidade de aplicação de radiação. Terceiro pela variabilidade do tempo de aplicação da radiação e quarto pela dificuldade de obtenção dos dados estatísticos da quantidade de exames realizados no ano. Deve-se avaliar se a representatividade deste uso final é pequena, como no estudo de caso deste trabalho, que foi de apenas 0,2%, sugere-se que este uso final nem seja levado em conta. Esta admissão implicará em erros aceitáveis na avaliação geral dos demais usos finais;
- (xiv) Para a determinação do uso final com transporte vertical é necessária a medição da potência dos elevadores durante o trajeto de subida e descida e da avaliação da quantidade média de viagens realizadas por ano. A média das potências nestes dois trajetos representa com bastante precisão a potência absorvida por este meio de transporte, embora os elevadores estejam em constantes ciclos de arranque, momentos que drenam potências muito superiores às nominais durante o trajeto;
- (xv) A determinação do consumo com a cocção de alimentos deve ser iniciada pelo levantamento dos equipamentos elétricos existentes e seus respectivos tempos médios de utilização diário, que devem ser obtidos com a chefia do setor. As câmaras frigoríficas precisam ser monitoradas no verão e no inverno caso se queira a determinação de seu consumo com precisão. Deve-se avaliar a representatividade no consumo global do estabelecimento. Para efeito de simplificação, pode-se avaliar o consumo em um dia qualquer do ano não comprometendo os resultados finais;
- (xvi) O uso final com o sistema de esterilização de instrumentos e equipamentos é de determinação bastante simples. Basta que se conheça o ciclo diário de funcionamento das autoclaves, que pode ser obtido por medições ou por entrevistas com a chefia do setor, e da potência absorvida, que pode ser medida facilmente devido à constância no consumo durante o funcionamento. Fato importante é o conhecimento do tempo parado para manutenção, pois, segundo informações obtidas no setor, estes equipamentos dão de-

- feitos com muita frequência;
- (xvii) O uso final com o sistema de hemodiálise também é de fácil determinação. Basta que se verifique a quantidade de máquinas ativas, suas potências, seus ciclos de trabalho e limpeza e a quantidade de diálises realizadas por ano. Todas estas informações podem ser coletadas no próprio setor a partir de medições e entrevistas com a chefia;
- (xviii) O uso final em iluminação do HPRB com os atuais sistemas (ineficientes) representa 23,7% em relação ao consumo total de energia elétrica do estabelecimento em estudo. Após a implantação do *retrofit*, estima-se que o sistema de iluminação passe a representar apenas cerca de 11,3% do consumo total de energia elétrica.

5.2 Conclusões Sobre a Análise Econômica

- (i) A implantação do *retrofit* no HPRB possibilita a redução da potência instalada em iluminação em cerca de 176kW, que equivale a uma economia de aproximadamente de 59% de energia com iluminação e reflete na redução de 14% na conta de energia anual do hospital;
- (ii) A economia de energia citada no parágrafo anterior produz a redução da conta de energia em cerca de 88 mil reais anualmente, tendo como base as tarifas praticadas pela concessionária local em 2008. Esta redução pode ser ainda ampliada caso se aplique o reajuste médio das tarifas que ocorrera entre dezembro de 2008 e dezembro de 2009, que foi em torno de 18,8%, segundo levantamentos feitos nas contas de energia dos meses citados;
- (iii) Sob uma TMA de 12% a.a., a relação benefício-custo calculada para a implantação do *retrofit* no HPRB foi de 4,86. Este valor é bastante superior à RBC de 1,25 considerada pelo governo federal (Brasil, 2005b) como satisfatória para que o estabelecimento possa ser incluído nos programas de eficiência energética das concessionárias de energia elétrica;
- (iv) O tempo de retorno do investimento, com base na TMA de 12% a.a. ocorre entre o mês 13 e 14 após a implantação do *retrofit*, que está próximo da expectativa da maioria dos hospitais brasileiros de *payback* entre seis e doze meses, segundo o PROCEL (2008c);
- (v) A valores presentes, o gasto com a aquisição e reposição dos equipamentos eficientes ao longo do ciclo de vida considerado do projeto é superior em cerca de 2,5% ao que seria gasto apenas com a reposição dos equipamentos ineficientes, atualmente insta-

lados no HPRB;

- (vi) Diante das informações desta seção, pode-se concluir, portanto, que a implantação do *retrofit* no HPRB é altamente atrativo, o qual projeta uma taxa interna de retorno de 8,03% a.m.;
- (vii) Em simulação realizada, considerando-se que o hospital tenha que contratar empresas para desenvolvimento tanto da parte dos levantamentos de campo como da parte de montagens e instalações elétricas, ou seja da implantação total do *retrofit*, o *payback* ocorreria apenas entre os meses 95 e 96 após a implantação do *retrofit*. Mesmo nesta situação onde o tempo de retorno é de quase oito anos, ainda assim o investimento seria atrativo, sob o ponto de vista financeiro, onde a RBC aponta para o valor de 1,44 sob a mesma TMA considerada de 12% a.a. e a TIR seria ainda 1,54% a.m.

5.3 Conclusões Sobre a Possibilidade de Aproveitamento de Iluminação Natural

- (i) Com base na distribuição de iluminâncias dos ambientes representativos de todo o hospital pôde-se calcular, tanto para as estações quentes (primavera e verão) quando para as frias (outono e inverno), para cada hora do dia a fração de área destes ambientes que são supridos adequadamente por luz natural. Considerando-se a densidade de potência instalada pós-*retrofit* nestes recintos pôde-se determinar a potência que poderia deixar de ser demanda nas respectivas horas do dia e assim obter-se o valor do potencial de economia de energia adicional pela utilização de luz natural. No caso do Hospital Público Regional de Betim, o potencial de economia anual de energia com iluminação de todo o estabelecimento é cerca de 32.600kWh, que equivale a cerca de 11% do consumo total neste sistema;
- (ii) A iluminação do corredor existente na fachada leste precisa ser mantida ligada durante todo o dia. A melhor condição de iluminação em qualquer hora do dia em qualquer época do ano não chega a 100 lux;
- (iii) Já no corredor sul, as grandes vidraças existentes permitem que a luz natural supra e até supere as necessidades mínimas de iluminação durante praticamente o dia inteiro, tanto no verão como no inverno, conforme pode ser observado no Apêndice 18, Tabela 75. A referida tabela destaca pela hachura verde as iluminâncias mínimas necessárias para realização das tarefas normais neste ti-

- po de ambiente e sem hachura as iluminâncias insuficientes, as quais precisam ser complementadas pela luz artificial;
- (iv) Os ambientes voltados para a fachada norte têm necessidades de iluminação distintas, desta forma os mesmos foram agrupados segundo cada nível de iluminação requerido. Após estabelecida a densidade de potência instalada para cada nível de iluminância, calculou-se a potência efetivamente instalada nos ambientes em estudo a partir da área totalizada de todos os recintos sob as mesmas necessidades de iluminação e verifica-se um potencial de economia de cerca de 2450kWh por ano;
 - (v) A fachada oeste por ser a principal do hospital, contem as salas de recepção para o acesso ao estabelecimento (pronto socorro, internação e a entrada principal) onde predominam grandes aberturas envidraçadas, e outros ambientes com muita obstrução por arbustos que prejudicam a entrada de luz do dia, alterna entre ambientes com altos níveis de iluminâncias naturais e outros com baixos níveis;
 - (vi) Os recintos pesquisados, passíveis de aproveitamento de luz natural, representam 65,4% em relação ao total de área dos ambientes internos do Hospital Público Regional de Betim e juntos possuem um potencial de conservação anual de cerca de 10,8% de energia com iluminação, já considerado os consumos pós-*retrofit*. Isto equivale a uma economia aproximada de 9250 reais anualmente, utilizando-se luz natural. Este montante representa tão somente a economia com a energia não utilizada. Não considera, portanto, os custos efetivos normalmente presentes na conta de energia, como o custo da demanda disponibilizada na ponta e fora de ponta, entre outros. Este autor considera que a economia de energia pode aumentar significativamente caso sejam elaborados planos de limpeza periódicas nas vidraças dos dente-de-serra da cobertura do pavimento térreo, os quais encontram-se com um acúmulo de sujeita elevado.

5.4 Conclusões Gerais

- (i) O custo médio para implantação de *retrofit* em hospitais de porte médio com baixos níveis de conforto, dentro dos critérios estabelecidos neste trabalho, é da ordem de R\$9,39/m² para aquisição de equipamentos eficientes e materiais para intervenções na infraestrutura e cerca R\$22,39/m² para contratação de empresas para execução dos trabalhos de engenharia e execução das obras;

- (ii) Caso o *retrofit* fosse implantado, a densidade de consumo com iluminação do HPRB passaria dos atuais 39,04kWh/m²/ano para 23,05kWh/m²/ano, que representa uma redução de cerca de 41%;
- (iii) O consumo atual de energia elétrica do HPRB é cerca de 841kWh/leito/mês que é um valor típico para os hospitais brasileiros de seu porte. Este valor equivale a praticamente o dobro do consumo de hospitais italianos e é muito próximo do consumo de hospitais holandeses e belgas. Ressalta-se entretanto, que não se conhece o porte dos hospitais dos referidos países. Após a realização do *retrofit*, estima-se uma queda para 743kWh/leito/mês ou cerca de 12%.

5.5 Limitações do Trabalho

Muitas barreiras dificultam que análises como as realizadas neste trabalho possam ser realizadas em estabelecimentos públicos, dentre elas destacam-se:

- (i) Dificuldade de aquisição de autorização da diretoria do estabelecimento para acesso a dados estatísticos, principalmente em ano de pleito eleitoral. A dificuldade ainda é aumentada caso o atual governo municipal não seja reeleito. Esta situação gera muito estresse, perda de tempo e atraso no cronograma de trabalho;
- (ii) Cancelamento de medições e levantamentos agendados, por motivo de chegada ao hospital de grande quantidade de pessoas com gravidade, impossibilitando o acesso e permanência em determinados locais;
- (iii) Desconfiança dos próprios funcionários de alguns setores do hospital, que, em um primeiro momento, omitem informações importantes. Mais tarde, quando começam a ver o pesquisador com frequência, é que tomam confiança e as informações começam a ser passadas, muitas vezes completamente opostas à primeira informação, gerando trabalho em dobro;
- (iv) Nas análises de economia de energia não se considerou a redução adicional do consumo de energia do sistema de condicionamento ambiental como consequência da menor carga térmica imposta pelo sistema de iluminação eficiente;
- (v) O estudo do potencial de aproveitamento de luz natural, com vistas à redução do consumo com iluminação artificial realizado no hospital, estudo de caso deste trabalho, refere-se às condições de céu presentes em cada dia de levantamento, conforme informado através da Tabela 62 do Apêndice 18. Não se utilizou de

recursos estatísticos para uma avaliação mais profunda sobre a disponibilidade de luz natural;

- (vi) A medição das refletâncias das superfícies é uma tarefa muito difícil, uma vez que o mobiliário e a própria presença das pessoas nos ambientes dificultam sobremaneira o posicionamento do luxímetro, principalmente para medições nos tetos onde necessita-se de colocação de escadas.

5.6 Sugestões Para Trabalhos Futuros

- (i) Avaliação de outras alternativas para o *retrofit*. Cita-se, como exemplo, a verificação da viabilidade de substituição das luminárias existentes por outras eficientes, sem intervenções na infraestrutura, ou seja, aproveitando-se e/ou complementando-se os pontos de luz e de acionamentos existentes;
- (ii) Estudos da possibilidade de realização de *retrofit* utilizando-se lâmpadas de outras tecnologias, com a bulbo T5, por exemplo;
- (iii) Elaboração de estudos estatísticos das condições médias de céu durante o ano, de forma a se obter cálculos mais precisos do aproveitamento da luz do dia;
- (iv) Aplicação da metodologia proposta em hospitais de outros portes;
- (v) Aplicação da metodologia proposta em hospitais que tenham circuitos de iluminação segregados;
- (vi) Adaptação da metodologia proposta para a situação onde não se verifique correlação entre o consumo de energia elétrica com a temperatura ambiente média das estações.

Referências Bibliográficas

ALVAREZ, A.L.M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: Metodologia para determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. São Paulo. 1998. 183 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Elétrica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

AMERICAN SOCIETY FOR HEALTHCARE ENGINEERING (ASHE) = Sociedade Norte-americana de Engenharia para Área de Saúde. **New Releases**. 2008. Disponível em: <http://www.ashe.org/ashe_app/products/pubs/member/pdfs/ia/2008/16_4_c.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2008.

ASSISTÊNCIA MÉDICO-SANITÁRIA (AMS). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Estatísticas da Saúde: Assistência Médico-Sanitária 2005**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/ams/2005/default.shtm>>. Acesso em: 29 mai. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5413**: Iluminação de interiores: Procedimento. Rio de Janeiro, 1992. 13 p.

_____. **NBR 5382**: Verificação de iluminância em interiores: Procedimento. Rio de Janeiro, 1985. 4 p.

_____. **NBR 15215-4**: Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2005. 16 p.

AUSTRALIAN / NEW ZEALAND STANDARD. **AS/NZS 1680.2.5 1997**: Interior lighting. Part 2.5: Hospital and medical tasks. Homebush, Australia; Wellington, New Zealand, 1997.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). Brasília, DF, 2009. Ano base 2008. **Relatório Preliminar**. Disponível em: <https://www.ben.epe.gov.br/BENResultadosPreliminares_2009.aspx>. Acesso em: 16 mai. 2009.

_____. Brasília, DF, 2008a. **Resenha Energética 2007**. Disponível

em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=15304>. Acesso em: 28 dez. 2008.

_____. Brasília, DF, 2008b. Ano base 2007. **Relatório Final do Balanço Energético Nacional**. Disponível em: <<https://www.ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>. Acesso em: 16 mai. 2009.

BARROSO, A. F.; PORTO, M. M. Iluminação e cor nos ambientes hospitalares. Brasil - Fortaleza, CE. 1999. In: Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 5., 1999, Fortaleza. **Artigo técnico**. Fortaleza: ENCAC, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria número 50 de 21 de fevereiro de 2002. **Regulamento técnico destinado ao planejamento, programação, elaboração, avaliação e aprovação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. Brasília, DF. 2002

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ministério Das Minas e Energia. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 5 – Sistemas de Medição**. Brasília, DF. 2005a. 59 p.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ministério das Minas e Energia. Resolução Normativa número 176 de 28 de novembro de 2005. **Critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética**. Brasília, DF. 2005b.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria número 53 de 27 de fevereiro de 2009. **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília, DF. 2009.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI). **BSI 8206/92 – Lighting for buildings: Code of practice for daylighting**. London, 1992.

_____. **BSI 73/82 – Basic data for the design of buildings: Daylight**. DD 73. London, 1982.

CABÚS, R.C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de ilu-**

minação zenital em função da distribuição de iluminâncias. 1997. 195 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil). Curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 1997.

CEI - COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN. **Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria.** Madrid, 2001, 89 p.

CADDET - CENTRE FOR THE ANALYSIS AND DISSEMINATION OF DEMONSTRATED ENERGY TECHNOLOGIES - **Saving energy with efficiency lighting in commercial buildings.** CADDET Energy Efficient. Maxi brochure 01. The Netherlands, 1995. 24 p.

_____. **Learning from Experiences with Energy Savings in Hospitals.** CADDET Energy Efficient. Analyses Series no. 20. The Netherlands, 1996. 146 p.

_____. **Energy-efficient lighting and ventilation in an office building.** CADDET Energy Efficient. Maxi Result 280. The Netherlands, 1997a. 4p.

_____. **Saving energy with energy efficiency in hospitals.** CADDET Energy Efficient. Maxi Brochure 05. The Netherlands, 1997b. 24p.

CHARTERED INSTITUTE OF BUILDING SERVICES ENGINEERING. **Lighting Building: Hospitals and Health Care Buildings.** London: CIBSE, 1989.

CORBELLA, O.D.; YANNAS, S. **Em busca de arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental.** 1. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2003. v. 1 288p.

COSTA, G.J.C. **Iluminação econômica: cálculo e avaliação.** 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 576p.

COSTI, M. A luz em estabelecimentos de saúde. Brasil – São Pedro, SP. 2001. In: Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 3., 2001, São Pedro. **Artigo técnico.** São Pedro: ENCAC, 2001.

CREPALDI, L. A influência das cores na decisão de compras: um estu-

do do comportamento do consumidor no ABC paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 29., 2006, Brasília. **Anais...** . [s.i.]: Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, 2006. v. 1, p. 1 - 14.

CUNHA, L.C.R. A cor no ambiente hospitalar. In: CONGRESSO NACIONAL DA ABDEH, 1., e Seminário de Engenharia Clínica, 4., 2004, Salvador. **Anais...** Salvador, Bahia: ENCAC, 2004.

DALKE, H; LITTLE, J.; NIEMANN; E.; CAMGOZ, N.; STEADMAN, G.; HILL, S.; STOTT, L. **Optics & Laser Technologies**. v. 38, p. 343-365, 2006.

DAVIS, R. G.; GINTHNER, D.N. Correlated color temperature, illuminance level, and the Kruithof curve. **Journal Of The Illuminating Engineering Society**, New York, p. 27-38. Winter, 1990.

DEUTCHES INSTITUT FUR NORMUNG (DIN). **DIN 5034** – Daylight in interiors. Berlim, 1979.

DIALUX. *Software*. Versão 4.6.0.2. Dial. Alemanha. Disponível em: <<http://www.dial.de/>>. Acesso em: 26 dez. 2008.

DOULOS, L.; TSANGRASSOULIS, A.; TOPALIS, F. Quantifying energy savings in daylight responsive systems: The role of dimming electronic ballasts. **Energy and buildings**. v. 40, p. 36-50, 2008.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1987.

FRANCO, G. **Iluminação artificial, economia de energia e conforto**. Brasil - Florianópolis, SC. 1993. 42p. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2º, Florianópolis, 1993. Curso.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI) - **Advanced lighting guideline:1993**, revision 1. California Energy Commission. U.S. Department of Energy. Washington, 1993, 210 p.

ELETRICIDADE MODERNA: **Produtos do Ano de 2009**. São Paulo: Aranda Editora Técnica e Cultural, n. 429, dez. 2009. Mensal.

ELETRICIDADE MODERNA: **Prêmio Qualidade 2010**. São Paulo: Aranda Editora Técnica e Cultural, n. 430, jan. 2010. Mensal.

ELETROBRAS. Rio de Janeiro, RJ, 2009. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. **Sumário Executivo – Ano Base 2005**.

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2008a. **Releases**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com.br/elb/portal/main.asp?ViewID=%7BEB7EA1A1%2D360E%2D40FA%2D9360%2D742E53C8C220%7D¶ms=iteID=%7BFF1679AC%2D9E66%2D4B78%2D9C1F%2DDDD730E725F35%7D;&UIPartUID=%7B9E178D3B%2D9E55%2D414B%2DA540%2DEB790C1DF788%7D>>. Acesso em: 24 ago. 2008.

_____, 2008b. **Programa Procel**. Disponível em: <http://www.eletronbras.gov.br/EM_Programas_Procel/default.asp>. Acesso em: 12 fev. 2008.

ESCUYER, S.; FONTOYNTONT, M. Testing in situ automatic ambient and manually controlled task lighting: office occupants reactions. In: **Conference proceedings**, 9th. 2001, Reykjavik. Iceland, Iceland: European Lighting conference (Lux Europe) v. 1, p.70-75, 2001.

ESTIGON, B. **Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings**. World Business Council Development. Disponível em: <<http://www.wbcd.org/Plugins/DocSearch/details.asp?DocTypeId=251&ObjectId=MzQyMDY>>. Acesso em 16 mai. 2009.

EUPOREAN STANDARD. **EN 12464-1 - Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work**. European Committee for standardization (CEN), Brussels, Belgium, 2002.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE HOSPITAIS (FBH). **FBH Notícias**. Boletim n. 11/01. Brasília, DF, nov. 2001. Disponível em: <<http://www.fbh.com.br/>>. Acesso em: 24 maio 2008.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Eletrônico Aurélio**. 3. ed. São Paulo: Positivo, 2004. Versão 5.0. CD-ROM.

FIGUEIREDO, A. **Gestão do projeto de edificios hospitalares**. 2008. 214 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Curso de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Engenharia de São. São Carlos,

São Paulo, 2008.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS. **Energia Eficiente. Educar para Conservar**. Disponível em: <<http://www.furnas.com.br/educar.asp>>. Acesso em 20 mar. 2008.

GELLER, H.S. Governo não prioriza eficiência energética. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 27 maio 2007. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi2605200727.htm>>. Acesso em: 20 maio 2008.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: Estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. 1997. 246 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil). Curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 1997.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. Avaliação do potencial de conservação de energia elétrica através do estudo de *retrofit* no sistema de iluminação da Universidade Federal de Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, Bahia: ENCAC, 1997.

_____. Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistema de iluminação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, 7., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina: ENTAC, 1998a.

GHISI, E.; TINKER, J.A. Evaluating the potential for energy savings on lighting by integrating fibre optics in buildings. **Building and Environment**. v.41, p. 1611-1621, 2006.

GOOGLE MAPS BRASIL. Google. Disponível em: <http://maps.google.com.br/maps?utm_campaign=pt_BR&utm_source=pt_BR-ha-latam-br-bk-gm&utm_medium=ha&utm_term=google%00maps>. Acesso em: 11 nov. 2009.

GRASSO, R.; PILAR, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Avaliação energética do edifício sede da Telesc: *Retrofit* do sistema de iluminação e simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO

AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, 7., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina: ENTAC, 1998. v.1, p. 513-521.

GRUPO DE PESQUISA EM ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS (GEPEA). Universidade de São Paulo (USP). **Curso de diagnóstico energético**. São Paulo, 1999. 112 p.

IHM, P.; NEMRI, A.; KRARTI, M. Estimation of lighting energy savings from daylighting. **Building and Environment**. v.44, p. 509-514, 2009.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IESNA). **Lighting for Hospitals and Health Care Facilities**. ANSI/IESNA RP-29-06. New York. 2006.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA (IESNA). **Lighting Handbook: Reference & Application**. New York. 8th. edition. 1995.

_____. **Lighting for Hospitals and Health Care Facilities**. ANSI/IESNA RP-29-06. New York. 2006.

_____. **Lighting Handbook: Reference & Application**. New York. 9th. edition. 2000.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Light's Labor Lost. Fact Sheet Paris, France. 2006a. Disponível em: <http://www.iea.org/extbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1864>. Acesso em: 19 abr. 2009.

_____. Light's Labor Lost. Policies for energy-efficient lighting. 2006b. Paris, France. Disponível em: http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1695. Acesso em: 19 abr. 2009.

JANNUZZI, G. **Planejando o consumo de energia elétrica através de programas de difusão de tecnologias mais eficientes**. Campinas. 1992. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/EE-CBE.htm#_edn1>. Acesso em: 12 set 2008.

JANNUZZI, G. SWISHER, J. **Planejamento integrado de recursos energéticos**. Campinas: Autores Associados, 1997. 251 p. Campinas,

São Paulo, 1997.

JENNINGS, J.D., COLAK, N.; RUBISTEIN, F.M. Occupancy and time-based lighting controls in open offices. **Journal of the Illuminating Engineering Society**. New York, v.32, n.2, p. 86-100, 2002.

JENNINGS, J.D., RUBISTEIN, F.M., DiBARTOLOMEO, D., BLANC, S.L. Comparison of control options in private offices in an advanced lighting controls testbed. **Journal of the Illuminating Engineering Society**. New York, v.29, n.2, p. 39-60, 1999.

KENNEDY, K.A.; FIELDER, AL.R.; HARDY, RTUNG, B.; GORDON, D.C; REYNOLD, J. Reduced lighting does not improve medical outcomes in very low birth weight infants. **The Journal of Pediatrics**. v. 86, p. 527-531 Houston, USA, 2001.

KRUGER, E.; MIRANDA, P. L. K.; CERVELIN, S. Otimização do consumo de eletricidade em uma instituição de ensino superior. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, n. 335, p. 196-214, fev. 2002.

LAMBERTS. R.; WESTPHAL. F. Energy efficiency in building in Brazil. Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação na Construção (CIB), 2000. Florianópolis. **Anais...** São Paulo, São Paulo: CIB, 2000.

LAURENTIN, C.; BERRUTO, V.; FONTOYNONT, M. Manual control of artificial lighting in a daylight space. **Conference proceedings**, EPIC, 1998. v. 1, p.175-180, Lyon, 1998.

LEE, A.L.W. Verification of electrical energy savings for lighting *retrofit* using short and long-term monitoring. **Energy Conversion & Management**. Pergamon. v. 41, p. 1999-2008, 2000.

LI, D.H.W.; LAM, T.N.T.; WONG, S.L. Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming control. **Energy Conversion & Management**. v. 47, p. 1133-1145. 2006.

LUMDAT. *Software*. Versão 2.10. Inglaterra: Peters Research Ltd. Disponível em: <<http://www.light.peters-research.com>>. Acesso em: 05 jan. 2009.

MARTINI, J.L. Infraestrutura para centros comerciais. **Revista Lumière**, São Paulo, n. 122, p. 40-46, jun. 2008.

MILLER, C.L.; WHITE, R.; O'CALLAGHAN, M.O.; MAXWELL, S.E. The Effects of cycled Versus Noncycled Lighting on Growth and Development in Preterm Infants. **Infant Behavior and Development**. v. 18, p. 87-95, South Bend, Indiana, USA, 1995.

MILLS, E.; BORG, N. Trends in recommended illuminance levels: a international comparasion. **Journal of the illuminating Engineering Society**. New York, v.28, n.1, p. 155-163, 1999.

MOREIRA, J.R. **Iluminação e conservação de energia**. Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE). Universidade de São Paulo (USP). 2007. São Paulo. 44 p.

ONAYGIL, S.; GÜLER, Ö. Determination of the energy saving by day-light responsive lighting control systems with an example from Istanbul. **Building and Environment**. v.38, p. 973-977, 2003.

PEREIRA, F.O.R. **Thermal and Luminous Performance of Windows Shading and Sunlighting Reflecting Devices**. 301 f. Tese (Doutorado). University Of Sheffield, The United Kingdon, 1992.

PEREIRA, F.O.R; SOUZA, M.B. **Iluminação**. Apostila. 51 p. Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.

PHILIPS LIGHTING DIVISION. **Manual de iluminação**. 3. ed. Eindhoven, Holanda, 1981. 319 p.

POOLE, A. D.; GELLER, H. **O Novo mercado de serviços de eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), 1997. 50 p.

PROCEL. Rio de Janeiro, RJ, 2009a. **Econômicas x incandescentes: Os impactos sobre a natureza**. Disponível em: <

PROCEL. Rio de Janeiro, RJ, 2009b. **Um país em busca da eficiência energética**. Disponível em: <

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2009c. **Retrofit: um passo para a modernização de edifícios**. Disponível em: <

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2008a. **Potencial de luminosidade do céu paulista é pouco explorado**. Disponível em: <

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2008b. **Manual de iluminação eficiente**. Rio de Janeiro: 2002. 1. ed. 39 p. Disponível em: <

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2008c. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**. Classe Comercial – Alta Tensão. Relatório Completo. Ano base 2005.

_____. Rio de Janeiro, RJ, 2008d. **Prédios Públicos**. Disponível em: <

_____. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, RJ, 2006. **Relatório síntese do combate ao desperdício de energia elétrica no ciclo 1998/99**. Disponível em: <

_____. **Orientações gerais para conservação de energia em prédios públicos: Catálogo.** Rio de Janeiro, 2001. 1. ed. 63 p.

PROCOBRE - INSTITUTO NACIONAL DO COBRE. **Conservação de energia: Catálogo.** São Paulo. ed. nov. de 2000, 2000. 6 p.

_____. **Energia Eficiente.** Procobre. Disponível em: <http://www.procobre.org/pr/aplicacoes_do_cobre/energia_sustentable.html>. 2008. Acesso em 21 mar. 2008.

RAMIREZ, G. Portal Lumière. **A Ação da Iluminação Sobre o Homem.** São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.portallumiere.com.br/ver_projeto.php?id=50>. Acesso em 10 mar. 2009.

REGINO, A.A. **Conservação de energia elétrica através da readequação do sistema de iluminação.** 2002. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2002.

RIVKEES, A.S.; MAYES, L.; JACOBS, H.; GROSS, I. Rest-activity Patterns of Premature Infants are Regulated by Cycled Lighting. **American Journal of Health Education.** v. 113, 7p., 2004.

ROIZENBLATT, I. **Contribuição para uma iluminação eficiente.** 2003. 113 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

ROISIN, B., BODART, M., DENEYER, A., D'HERDT, P. Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. **Energy and Buildings.** v. 40, p. 514-523, 2008.

ROSA, L. P. COPPE/UFRJ. Procel Info. Reportagem 21 jan. 2008: **Panorama Nacional** Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?Vew=%7B8D1AC2E8%2DF790%2D4B7E%2D8DDD%2DCAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B1B5624AF%2D80B0%2D4CDD0%2DAE31%2D640EA9276697%7D%3BLumisAdmin=1%3B&UIPartUID=%7BD90F22DB%2D05D4%2D4644%2DA8F2%2DFAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 16 mar. 2008.

SANTAMOURIS, M.; BALARAS, C.A.; DASCALAKI, E.; AR-

GIRIOU, A.; GAGLIA, A. Energy conservation and *retrofitting* potencial in Hellenic hotels. **Energy and Buildings**. v. 24, p. 64-75, 1995.

SENZI, N. Portal Lumière. **A humanização da luz**. São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.portallumiere.com.br/ver_projeto.php?id=50>. Acesso em 10 mar. 2009.

SMIT, L. Iluminação - 1^a. Parte: Iluminação Interna. Rio de Janeiro: Biblioteca Técnica Philips, 1964. 222 p.

SOUZA, R.V.G.; ROBLEDO, L. Testing diffuse luminous efficacy models for Florianópolis, Brazil. **Building and Environment**. v. 39, p. 317-325, 2004.

SOUZA, R.V.G.; ROBLEDO, L.; SOLER, A.; PEREIRA, F.O.R. Clear sky and all sky direct luminous efficacies for Florianópolis, Brazil. **Energy Conversion & Management**. v. 46, p. 361-371, 2005.

SOUZA, R.V.G.; ROBLEDO L.; PEREIRA, F.O.R; SOLER, A. Evaluation of global luminous efficacy models for Florianópolis, Brazil. **Building and Environment**. v. 41, p. 1364-1371, 2006.

SOUZA, R.V.G.; FERREIRA, F. F. Determinação de céus típicos para Minas Gerais- Metodologia para obtenção a partir de dados simplificados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, 11., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina: ENTAC, 2006.

SZKLO, A.S.; SOARES, J.B.; TOLMASQUIM, M.T. Energy consumption indicator and CHP technical potencial in the brazilian hospital sector. **Energy Conversion and Management**. v. 45, p. 2075-2091, 2003a.

SZKLO, A. S.; TOLMASQUIM, M. T. ; SOARES, J. B., 2003b. **Mercado de Gás Natural na Indústria Química e no Setor Hospitalar do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ/Petrobras, v. 1. 346 p.

TEIXEIRA, R.R.G. Os segredos do *Retrofit*. **Revista Lumière**, São Paulo, jun. 2006.

TEIXEIRA, W. Arquivos fotométricos digitais - quinta parte. **Revista Lumière**, São Paulo, n. 62, p. 102-104, Jun. 2003.

UNITED STATES OF AMERICA. **Código de Obras de Massachusetts**. Cap. 13. 2001. Disponível em: http://www.mass.gov/Eeops/docs/dps/inf/780_CMR_Chapter_13_energy.pdf. Acesso em 10 abr. 2009.

VARGAS Jr. R.V. **Análise do potencial de conservação de energia elétrica em hospitais públicos de pequeno porte no Brasil: Sistemas de iluminação e ar condicionado do tipo Janela**. 2006. 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, Brasil, 2006

VASCONCELOS, R.T.B. **Humanização de ambientes hospitalares: Características arquitetônicas responsáveis pela integração interior/exterior**. 2004. 177 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VEITH, J.A.; HINE, D.W. End users knowledge, beliefs, and preferences, for lighting. **Journal for Interior Design**; v.19, p.15-26. 1993.

WALSH J.M., RABIN, B.S., DAY, R. WILLIAMS, J. CHOI. The effect of sunlight on post-operative analgesic medication usage: A prospective study of spinal surgery patients. **Journal of Biobehavioral Medicine**. Pittsburgh, v.67, p. 156-163, 2005.

WESTPHAL, F. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Simulação energética do edifício sede da FIESC: estudo de retrofit no sistema de iluminação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1998, 7., Florianópolis, Santa Catarina: ENTAC, 1998. v. 1, p. 429-437. Artigo técnico.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS. R. Proposta de melhoria na eficiência energética de um edifício comercial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2000, 7., Salvador. **Artigo técnico**. Bahia: ENTAC, 2000. v. 2, p. 1378-1385.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS. R. **Estudo de Viabilidade Econômica de uma Proposta de Retrofit** em um Edifício Comercial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1999, 5., Fortaleza. **Artigo técnico**. Fortaleza: ENTAC, 1999.

Apêndices**Apêndice 1. Refletância média de cores.**Tabela 63. Valores médios de refletância de algumas cores.

Cor	Refletância (%)
Branco teórico	100
Branco de cal	80
Amarelo	70
Amarelo limão	65
Verde limão	60
Amarelo ouro	60
Rosa	60
Alaranjado	50
Azul claro	50
Azul celeste	30
Cinza neutro	30
Verde oliva	25
Vermelho	20
Azul turquesa	15
Púrpura	10
Violeta	5
Preto	3
Preto teórico	0

Fonte: Pereira e Souza (2000)

Apêndice 2. Determinação do máximo desvio aceito entre grandezas estimadas e medidas.

As medições de grandezas elétricas feitas nos circuitos com o analisador de energia marca Sultech, podem conter um erro máximo de 1%, devido à classe de exatidão do referido analisador ($\pm 1\%$).

O medidor usado para as medições de potência dos aparelhos ligados nas tomadas, marca Circuitor, apresenta um erro máximo de +1,29% sobre a medição indicada pelo medidor Sultech, tomado como padrão. Logo as indicações do mesmo podem conter erros entre +0,28% e +2,30%. Porém, quando as medições do analisador Circuitor são comparadas com o consumo totalizado pelas contas de energia, podem ocorrer desvios entre -0,02% e +2,60%, pois acrescenta-se a exatidão do quilovatorímetro da concessionária que é de $\pm 0,30\%$.

Existe um outro fator que pode produzir erros de medição de consumo que são as flutuações de tensão. Como as medições nos equipamentos, nos QDL e nas tomadas não são feitas de forma simultânea, dependendo do momento da medição, eventualmente as tensões podem estar diferentes. Durante as medições realizadas, observou-se variações de tensões de $\pm 2,30\%$ em relação à nominal, o que em última análise, e em uma condição extremamente desfavorável (medições com analisador Circuitor, considerando a máxima flutuação da tensão da concessionária) poderia gerar erros de medição de até 4,90% entre as leituras realizadas em momentos distintos.

Adotou-se neste trabalho a tolerância de um erro máximo de $\pm 2,30\%$ entre as leituras, devido a variações de tensão, que adicionadas aos erros dos medidores, produzirão os seguintes desvios máximos:

-2,02% a +4,60% para comparação entre as medições e/ou estimativas de consumo, que envolvam comparação entre os dois analisadores de energia em momentos não simultâneos de medição;

-2,32 a +4,90% para comparação entre as medições e/ou estimativas de consumo em relação ao consumo registrado nas contas energia, utilizando-se o analisador Circuitor, e;

-1,00% a +3,60% para comparação entre as medições e/ou estimativas de consumo em relação ao consumo registrado nas contas energia, utilizando-se o analisador Sultech.

Adicionado aos erros acima citados, será arbitrariamente aceito desvios de aproximadamente 5% devido a imprecisões na informação de tempos de funcionamentos de aparelhos.

Isto remete a uma aceitação de diferenças entre os valores indicados nos diagnósticos energéticos em relação à medição efetiva de aproximadamente 10% ($4,60\% + 5,00\% \cong 10\%$).

Apêndice 3. Planilha de pesquisa sobre conforto luminoso nas salas de cirurgia.

Pesquisa sobre conforto luminoso nas salas de cirurgia

- 1- Sua função: () Médico(a) () Enfermeiro(a) () Outras
- 2- Para você, o nível de iluminação geral na sala de cirurgia, é:
() Muito alta () Alta () Confortável () Baixa () Muito baixa
- 3- Sua faixa etária é:
() Menor que 40anos () Entre 40 e 55 anos () Maior que 55 anos
- Caso queira faça aqui sua observação ou comentário:

Apêndice 4. Modelo de planilha para diagnóstico energético

Ambiente										Observações																		
Localização																												
Finalidade																												
Horário de funcionamento																												
Funciona todos os dias úteis?																												
Funciona sábado, domingo e feriados?																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">às</td> <td colspan="2">0h/dia</td> <td colspan="2">365dias/ano</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Sim</td> <td colspan="2">Não</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Sáb</td> <td colspan="2">Dom</td> <td colspan="2">Feriado</td> </tr> </table>										às		0h/dia		365dias/ano		Sim		Não				Sáb		Dom		Feriado		
às		0h/dia		365dias/ano																								
Sim		Não																										
Sáb		Dom		Feriado																								
Iluminação	Em funcionamento			Com defeito	Tempo funcionamento	Tempo Ligado	Tipo de reator	Cons. Estim. em 24h [Wh]																				
	Qde	Pot.Placa [W]	Pot.Medida [W]																									
Luminária fluorescente 1 x 40W					às		Etm	0,0																				
Luminária fluorescente 2 x 40W					às		Etm	0,0																				
Luminária fluorescente 4 x 40W					às		Etm	0,0																				
Luminária fluorescente 1 x 20W					às		Etm	0,0																				
Luminária fluorescente 2 x 20W					às		Etm	0,0																				
Luminária incandescente 1 x 60W					às		Etm	0,0																				
Equipamentos	Qde	Pot.Placa [W]	Pot.Medida [W]	Corrente [A]	Tempo funcionamento	T.monit/ T.func. estim.	Cons. Registrado [Wh]	F. Potência [V]	V																			
					às				127	0,0																		
					às				127	0,0																		
					às				127	0,0																		
					às				127	0,0																		
					às				127	0,0																		

Apêndice 5. Planilha com a relação dos *fan coils* do HPRB.

Condicionadores de ar tipo <i>fan coil</i>			
Tag	Local	Potência [cv]	Tensão [V]
FC-01	Cirurgia geral e pediatria 1	1,5	220
FC-02	Cirurgia geral e pediatria 2	1,5	220
FC-03	Cirurgia geral e pediatria 3	1,5	220
FC-04	Cirurgia geral e pediatria 4	1,5	220
FC-05	Cirurgia geral e pediatria 5	1,5	220
FC-06	Pequena cirurgia	1,5	220
FC-07	Circulação da recuperação	7,5	220
FC-08	CTI	12,5	220
FC-09	Chefia administração	0,75	220
FC-10	Administração CTI	4	220
FC-11	Cesária	1,5	220
FC-12	Parto normal	1	220
FC-13	Bloco obstétrico	4	220
FC-14	Curetagem	1	220
FC-15	CCIH	0,75	220
FC-16	Doadores e estoque de sangue	1,5	220
FC-17	Endoscopia	1	220
FC-18	Raio-x 1	1	220
FC-19	Raio-x 2	1,5	220
FC-20	Raio-x 3	1,5	220
FC-21	Tomografia	1,5	220
FC-22	Anatomia / patologia	7,5	220
FC-23	Sala asséptica	0,75	220
FC-24	Diretoria geral	1/15	220
FC-25	Recepção diretoria	1/8	220
FC-26	Diretoria clínica	1/15	220
FC-27	Gerência	1/15	220
FC-28	Sala reunião	1/15	220
FC-29a	Biblioteca	1/15	220
FC-29b	Biblioteca	1/15	220
FC-30	Multiuso	1/8	220

Apêndice 5. Planilha com a relação dos *fan coils* do HPRB (cont.).

Condicionadores de ar tipo <i>fan coil</i>			
Tag	Local	Potência [cv]	Tensão [V]
FC-31	Sala estudos / reunião 1	1/15	220
FC-32	Sala estudos / reunião 2	1/15	220
FC-33a	Isolamento / neurologia	2	220
FC-33b	Isolamento / neurologia	2	220
FC-34	Banho neurologia 1	0,75	220
FC-35	Banho neurologia 2	0,75	220
FC-36	Isolamento 1	0,75	220
FC-37	Isolamento 2	0,75	220
FC-38	Isolamento 3	0,75	220
FC-39	Circulação neurologia	0,75	220
FC-40	Sala cirúrgica neurologia	1,5	220
Total		69,03	

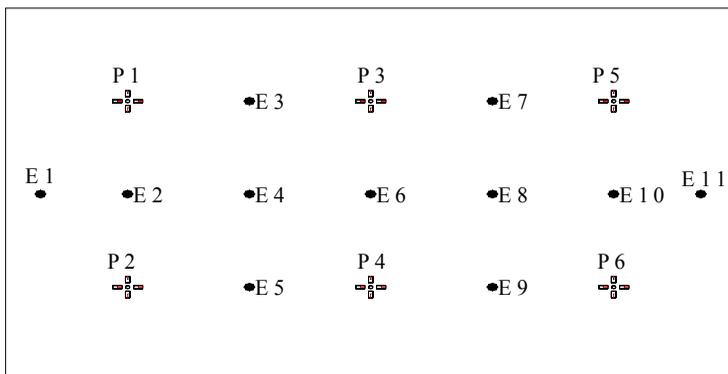
Apêndice 6. Iluminação externa.

Figura 72. Pontos de medição de iluminação no estacionamento do HPRB.

Apêndice 7. Planilha dos locais com sistema de exaustão e ventilação do HPRB.

Tag	Equipamento	Qde	Pot. Placa [cv]	Pot. Inst. [kW]	Pot. Absorvida [kW]	Tmf por dia [h]	Ndfa [dias]	Tmf por ano [h]	Consumo anual [kWh]
E-1a	Lavanderia 1	1	3,00	2,71	2,19	12,00	364,58	4.375,00	9.600,74
E-1b	Lavanderia 1	1	3,00	2,71	2,19	12,00	364,58	4.375,00	9.600,74
E-2	Lavanderia 2	1	5,00	4,36	3,19	12,00	364,58	4.375,00	13.972,39
E-3	Auto-claves	1	1,00	0,98	0,75	8,00	364,58	2.916,67	2.184,33
E-4	Cirurgia geral 1	1	0,50	0,52	0,28	10,00	364,58	3.645,83	1.007,82
E-5	Cirurgia geral 2	1	0,50	0,52	0,41	10,00	364,58	3.645,83	1.511,74
E-6	Cirurgia geral 3	1	0,50	0,52	0,47	10,00	364,58	3.645,83	1.709,70
E-7	Cirurgia geral 4	1	0,50	0,52	0,41	10,00	364,58	3.645,83	1.511,74
E-8	Cirurgia ortopédica	1	0,50	0,52	0,41	10,00	364,58	3.645,83	1.511,74
E-9	Pequena cirurgia	1	0,33	0,37	0,32	10,00	364,58	3.645,83	1.180,67
E-10	Vestiário do centro cirúrgico	1	0,25	0,29	0,24	10,00	364,58	3.645,83	873,48
E-11	Banho e sanitários func. do CTI/adm	1	0,16	0,23	0,23	5,00	364,58	1.822,92	412,82
E-12	Sanitário público (CTI)	1	0,16	0,23	0,23	5,00	364,58	1.822,92	412,82
E-13	Isolamento CTI	1	0,16	0,23	0,17	24,00	364,58	8.750,00	1.519,18
E-14	Parto normal	1	0,25	0,29	0,27	24,00	364,58	8.750,00	2.347,92
E-15	Cesária	1	0,33	0,37	0,34	24,00	364,58	8.750,00	2.972,31
E-16	Curetagem	1	0,25	0,29	0,24	24,00	364,58	8.750,00	2.096,35
E-17	Sanitário público	1	0,16	0,23	0,23	5,00	364,58	1.822,92	412,82
E-18	Separação / lavagem	1	1,50	1,44	1,23	8,00	364,58	2.916,67	3.573,11

Apêndice 7. Planilha dos locais com sistema de exaustão e ventilação do HPRB (cont.).

Tag	Equipamento	Qde	Pot. Placa [cv]	Pot. Inst. [kW]	Pot. Absorvida [kW]	Tmf por dia [h]	Ndfa [dias]	Tmf por ano [h]	Consumo anual [kWh]
E-19	Bacterologia	1	0,33	0,37	0,29	12,00	364,58	4.375,00	1.288,00
E-20	Raio-x 1 (Câm. escura)	1	0,16	0,23	0,24	24,00	364,58	8.750,00	2.060,80
E-21	Imunologia (Câmara escura)	1	0,25	0,29	0,29	24,00	364,58	8.750,00	2.515,63
E-22	Raio-x 3 (Câm. escura)	1	0,16	0,23	0,23	24,00	364,58	8.750,00	1.981,54
E-23	Tomografia (Câmara escura)	1	0,16	0,23	0,23	24,00	364,58	8.750,00	1.981,54
E-24	Necrópsia	1	1,50	1,44	1,27	24,00	364,58	8.750,00	11.097,65
E-25	Cozinha (coifa 5)	1	4,00	3,53	2,66	8,00	364,58	2.916,67	7.752,13
E-26	Cozinha (coifa 6)	1	3,00	2,71	2,09	8,00	364,58	2.916,67	6.084,42
E-27	Cozinha (coifa 7)	1	2,00	1,82	1,36	8,00	364,58	2.916,67	3.975,31
E-28	Cozinha (coifa 8)	1	2,00	1,82	1,51	8,00	364,58	2.916,67	4.403,42
E-29	Sala asséptica	1	0,16	0,23	0,23	24,00	364,58	8.750,00	1.981,54
E-30	Neurologia (Cirurgia)	1	0,33	0,37	0,32	12,00	364,58	4.375,00	1.387,08
E-31a	Lava-pratos	1	0,50	0,52	0,47	5,00	364,58	1.822,92	854,85
E-31b	Lava-pratos	1	0,50	0,52	0,52	5,00	364,58	1.822,92	944,84
V-1	Capela	1	3,00	2,71	2,71	6,00	364,58	2.187,50	5.926,38
CV-1	Separação / lavagem Sanitário (Mat. esterilizado)	1	0,50	0,52	0,49	12,00	364,58	4.375,00	2.134,22
CV-2a		1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26

Apêndice 7. Planilha dos locais com sistema de exaustão e ventilação do HPRB (cont.).

Tag	Equipamento	Qde	Pot. Placa [cv]	Pot. Inst. [kW]	Pot. Absorvida [kW]	Tmf por dia [h]	Ndfa [dias]	Tmf por ano [h]	Consumo anual [kWh]
CV-2b	Sanitário (Mat. esterilizado)	1	0,50	0,52	0,46	5,00	364,58	1.822,92	833,68
CV-3	Desinfecção química Sanitário (Dist. mat. Est.)	1	0,50	0,52	0,43	24,00	364,58	8.750,00	3.734,88
CV-4a	Sanit. (Dist. mat. Est.)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-4b	Sanit. (Dist. mat. Est.)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-5	Sanitário (Pacientes CTI)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-6	Sanitário (Consul. adm)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-7a	Sanitário (Adm)	1	0,50	0,52	0,47	5,00	364,58	1.822,92	861,47
CV-7b	Sanitário (Adm)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-8	Sanitário (Eixo JK-7,8)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-9a	Sanitário (Eixo JK-7,8)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-9b	Sanitário (Eixo JK-7,8)	1	0,50	0,52	0,43	5,00	364,58	1.822,92	778,10
CV-10	Sanitário (Eixo KL-4,5)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-11a	Sanitário (Raio-x)	1	0,50	0,52	0,46	5,00	364,58	1.822,92	833,68
CV-11b	Sanitário (Raio-x)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-11c	Sanitário (Raio-x)	1	0,50	0,52	0,34	5,00	364,58	1.822,92	611,36
CV-11d	Sanitário (Raio-x)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-12	Sanitário (Raio-x)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26

Apêndice 7. Planilha dos locais com sistema de exaustão e ventilação do HPRB (cont.).

Tag	Equipamento	Qde	Pot. Placa [cv]	Pot. Inst. [kW]	Pot. Absorvida [kW]	Tmf por dia [h]	Ndfa [dias]	Tmf por ano [h]	Consumo anual [kWh]
CV-13	Sanitário (Prep. Pac. Tomog)	1	0,50	0,52	0,40	5,00	364,58	1.822,92	722,52
CV-14a	Sanitário (Ultrassonografia)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-14b	Sanitário (Ultrassonografia)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-15a	Sanitário (Arquivo)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-15b	Sanitário (Arquivo)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-16	Sanitário (San. Necropsia)	1	0,50	0,52	0,44	5,00	364,58	1.822,92	805,89
CV-17	Sanitário (San. Neurologia)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-18	San. (Banco Sangue)	1	0,50	0,52	0,49	5,00	364,58	1.822,92	889,26
CV-19	DML	1	0,50	0,52	0,49	3,00	364,58	1.093,75	533,55
CV-20a	Sanitário (Copa/ Necropsia)	1	0,50	0,52	0,43	5,00	364,58	1.822,92	778,10
CV-20b	Sanitário (Copa/ Necropsia)	1	0,50	0,52	0,45	5,00	364,58	1.822,92	817,00

Legenda:

Tmf: tempo médio de funcionamento;

Nda: Número de dias de funcionamento por ano

Apêndice 8. Planilha dos equipamentos utilizados na cocção de alimentos.

Equipamento	Pot. Pla- ca [kW]	Fator de carga	Pot. Ab- sorvida [kW]	h/dia	Tmf por ano [h]	Consumo anual [kWh]
Cortador de frios	0,187	0,82	0,15	0,50	182,50	27,85
Cafeteria	12,000	0,95	11,43	2,00	730,00	8.342,86
Leiteira	8,000	0,86	6,86	2,00	730,00	5.005,71
Fritadeira 1	6,000	0,92	5,54	3,00	1.095,00	6.067,83
Fritadeira 2	5,000	0,91	4,55	3,00	1.095,00	4.977,27
Liquitificador industrial	0,187	0,94	0,18	0,50	182,50	32,03
Extrator de sucos	0,187	0,99	0,18	0,50	182,50	33,63
Balança	0,187	0,99	0,18	0,20	73,00	13,45
Freezer	0,373	1,00	0,37	16,00	5.840,00	2.178,32
Balcão térmico	5,000	0,96	4,81	2,40	876,00	4.211,54
Gealadeira	0,246	0,89	0,22	14,00	5.110,00	1.123,20
Banho Maria	5,000	0,99	4,96	2,50	912,50	4.527,67
Batedeira massa	0,373	0,88	0,33	0,10	36,50	12,01
Máquina lavar bandejas 1	10,000	0,97	9,70	1,00	365,00	3.539,39

Fonte: Medições em campo e entrevista com a gerente da cozinha.

Legenda:

Tmf: tempo médio de funcionamento.

Apêndice 9. Amostra do diagnóstico energético de iluminação e tomadas do HPRB.

Localização	5o. Andar											
Finalidade	Pequenas cirurgias											
Horário de funcionamento	8	às	17h		9h/dia	365dias/ano						
Funciona todos os dias úteis?	x	Sim								Não		
Funciona sábado, domingo e feriados?	x	Sáb	x	Dom	x	Feriado						
Iluminação	Em funcionamento				Com defeito	Tempo funcionamento	Tempo Ligado	Tipo de reator			Cons. Estim. em 24h [Wh]	
Luminária fluorescente 1 x 40W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 2 x 40W	3					8	às	17h	5,00h/dia	Elt	x Elm	1.512,0
Luminária fluorescente 4 x 40W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 1 x 20W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 2 x 20W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária incandescente 1 x 60W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Equipamentos	Qde	Pot.Placa [W]	Pot.Medida [W]	Corrente [A]	Tempo funcionamento	T.monit./ T.func. estim.	Cons. Registrado [Wh]	F. Potência	V [V]			
Frigobar	1	180	109	1,39	14:30	às	15:50	1,33h/dia	75	0,68	127	1.350,0
Forno	1	1772	1749	14,68		às		1,00h/dia		1	127	1.749,0
Filtro de água	1	60	53		16:00	às	17:15	1,25h/dia	24		127	460,8
Computador	1		122		17:25	às	18:50	1,42h/dia	45		127	762,4
Impressora	1	30	26			às		0,42h/dia			127	10,8
Ambiente	Enfermaria - Sala pós-operatório											
Localização	5o. Andar											
Finalidade	Recuperação											
Horário de funcionamento	8	às	17h		9h/dia	365dias/ano						
Funciona todos os dias úteis?	x	Sim								Não		
Funciona sábado, domingo e feriados?	x	Sáb	x	Dom	x	Feriado						
Iluminação	Em funcionamento				Com defeito	Tempo funcionamento	Tempo Ligado	Tipo de reator			Cons. Estim. em 24h [Wh]	
Luminária fluorescente 1 x 40W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 2 x 40W	1					8	às	17h	5,00h/dia	Elt	x Elm	504,0
Luminária fluorescente 4 x 40W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 1 x 20W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária fluorescente 2 x 20W						0	às	0h	0,00h/dia	Elt	Elm	0,0
Luminária incandescente 1 x 60W	4					8	às	17h	1,00h/dia	Elt	Elm	240,0
Equipamentos	Qde	Pot.Placa [W]	Pot.Medida [W]	Corrente [A]	Tempo monitorado	T.monit./ T.func. estim.	Cons. Registrado [Wh]	F. Potência	V [V]			
Rádio	1	10	12			às	4,00h/dia				127	48,0
						às					127	0,0
						às					127	0,0
						às					127	0,0
						às					127	0,0

Apêndice 10. Planilha para determinação das iluminâncias adotadas em alguns ambientes do HPRB.

Ambiente	Índice de Ambiente (K)	Iluminância Adotada	Item da Norma	Saldo	Idade [anos]			Velocidade e precisão			Reflet. do fundo da tarefa [%]		
					<40	≥40 e ≤85	>85	Sem importância	Importante	Crítica	RFT>70	≥30 e ≤70	<30
Pintura	0,89	300	5.3.63	0		x			x				x
Jardinagem	0,68	100	A3	-1				x					x
Eqto. Peças reposição	1,22	150	A3	-1	x			x					x
Administração da manutenção	0,89	750	B1	0		x			x				x
Chefia manutenção	0,84	750	B1	0		x			x				x
Vestário feminino	1,65	50	A2	-1		x			x				x
Secretaria (próxima ao necrotério)	0,73	750	B1	0		x			x				x
Recepção (próxima ao necrotério)	0,46	200	A4	-1		x			x				x
Sala atendimento necrotério	0,54	200	B4	-1		x			x				x
IS Sala atendimento necrotério	0,50	150	5.3.28	-1		x			x				x
Serralheria	1,79	200	A4	-1		x			x				x
Sector manutenção	1,78	750	B1	0		x			x				x
Sector manutenção (Elétrico e hidráulico)	1,18	750	B1	0		x			x				x
IS elétrica / hidráulica	0,64	150	5.3.28	0		x			x				x
Vestário feminino 2	1,52	50	A2	-1		x			x				x
Treinamento, sala de	1,34	300	5.3.13	-1		x			x				x
Depósito 1.1	0,41	100	A3	-1		x			x				x
Depósito 1.2	0,36	100	A3	-1		x			x				x
Chefia (próximo a macroscopia)	0,54	300	A4	-1		x			x				x
Necrotério	1,53	100	5.3.28	-1		x			x				x
Depósito 2	1,27	100	B3	-1		x			x				x
Controladoria e administração	0,99	750	B1	0		x			x				x
Motoristas	1,05	200	A4	-1		x			x				x
IS sala motoristas	0,52	150	5.3.28	-1		x			x				x
Informática	0,83	200	A4	-1		x			x				x
Depósito 3	1,10	100	B3	-1		x			x				x
Transporte	0,65	200	A4	-1		x			x				x
Copa	0,70	100	A3	-1		x			x				x
Higienização	0,74	300	A4	0		x			x				x
Vestário Masculino	1,41	50	A2	-1		x			x				x
Macroscopia	1,20	200	5.3.54	-1		x			x				x
Antecâmara necrotério	0,28	100	A3	-1		x			x				x
IS necrotério	0,47	150	5.3.28	-1		x			x				x
Utilidades	0,56	100	A3	-1		x			x				x
DML	0,45	50	A2	-1		x			x				x
IS Utilidades	0,51	150	5.3.28	-1		x			x				x
Central de abastecimento farmacêutico	2,49	150	5.3.28	-1		x			x				x
Controle de medicamentos	0,54	200	A4	-1		x			x				x
Ar condicionado	0,49	75	A2	0		x			x				x
Antecâmara	0,42	100	A3	-1		x			x				x
Sala asséptica	0,67	200	A4	-1		x			x				x
Assepsia de material	0,35	300	A4	0		x			x				x
Desinfecção	1,11	300	A4	0		x			x				x
Chefia	0,79	300	A4	0		x			x				x
Secretaria Desinfecção	1,03	750	B1	0		x			x				x
Manipulação domissanitários	0,88	100	A3	-1		x			x				x
Copa	0,62	100	A3	-1		x			x				x
Distribuição / Dispensação	1,03	150	5.3.28	-1		x			x				x
Freezers	0,70	50	A2	-1		x			x				x
DML	0,48	50	A2	-1		x			x				x
Sala administrativa	0,70	750	B1	0		x			x				x
Farmacotécnica	0,66	150	5.3.28	-1		x			x				x
Almoxarifado	0,80	200	A4	-1		x			x				x
Secretaria / administração	1,42	750	B1	0		x			x				x
Pátio	0,85	50	A2	-1		x			x				x
Circulação fachada leste	0,69	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 1	0,41	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 2	0,59	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 3	0,60	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 4	0,51	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 5	0,47	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 7	0,47	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 9	0,54	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 10	0,41	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 11	1,07	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 12	0,37	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 13	0,46	100	5.3.28	-1		x			x				x
Circulação interna 14	0,69	100	5.3.28	-1		x			x				x

Apêndice 11. Planilha da medição da refletância das paredes e tetos dos ambientes de referência do HPRB.

Iluminação Necessária (En) [lux]	Ambiente Representativo	Papel Branco	Paredes					Teto					Refletância			
			Med.1 [Lux]	Med.2 [Lux]	Med.3 [Lux]	Med.4 [Lux]	Med.5 [Lux]	Média [Lux]	Refletância	Med.1 [Lux]	Med.2 [Lux]	Med.3 [Lux]		Med.4 [Lux]	Med.5 [Lux]	Média [Lux]
50	Depósito de Material de Limpeza	Com papel	55	58	68	46	49	55	77%							0%
		Sem papel	49	50	54	42	42	47								
	Vestibário Masculino	Com papel	35		34	29	32	33	82%	24	23	25		27	25	88%
		Sem papel	32		31	27	29	30		24	23	24		26	24	
	Vestibário Masculino	Com papel	33	34	32	31	28	32	79%	22	20	29	24	23	24	83%
		Sem papel	31	30	30	26	22	28		21	20	29	20	19	22	
75	Vestibário Feminino	Com papel	29	29	31	25	26	28	77%	21	20	19	18		20	81%
		Sem papel	22	24	27	22	24	24		17	19	19	15		18	
	Sala do fan coil	Com papel	28	32	33		27	30	73%							0%
		Sem papel	22	26	25		24	24								
	Sala do fan coil	Com papel	30	31		26	27	29	79%							0%
		Sem papel	25	28		24	23	25								
100	Subestação secundária	Com papel	45	41	38	38	34	39	75%	42	40	39			40	89%
		Sem papel	35	32	35	33	29	33		41	40	39			40	
	Circulação interna	Com papel	22	26	23	20	21	22	72%							0%
		Sem papel	18	21	19	15	17	18								
	Circul. interna (CTI-BC)	Com papel	32	35	37	37	38	36	72%							0%
		Sem papel	29	30	29	25	30	29								
150	Sala de estar de pessoal	Com papel	63	64	67	75	72	68	79%	32	30	29	24	23	28	72%
		Sem papel	55	57	56	68	65	60		23	23	21	19	18	22	
	Guarda mat. esterilizado	Com papel	63	64	67	75	72	68	79%	32	30	29	24	23	28	71%
		Sem papel	55	57	56	68	65	60		26	24	24	19	16	22	
	Refeitório	Com papel	22	23	24	25	26	24	81%							0%
		Sem papel	22	23	24	25	26	24								
200	Arsenal	Com papel	55	58	68	46	49	55	77%	32	33	36	39	38	36	77%
		Sem papel	49	50	54	42	42	47		31	31	35	29	27	31	
	Sala de espera da hemodialise	Com papel	26	25	27	29	30	27	72%	14	13	15	16	17	15	85%
		Sem papel	22	19	22	22	24	22		13	13	14	15	16	14	
	Sala de espera do bloco cirúrgico	Com papel	61	58	55	49	52	55	79%	31	30		24	33	30	85%
		Sem papel	54	52	49	40	45	48		29	27		23	32	28	
300	Sala de observação ortopédica masculina	Com papel	65	63	61	59	61	62	88%							0%
		Sem papel	63	61	60	59	59	60								
	Sector de cocção de alimentos	Com papel	55	58	68	46	49	55	77%	32	33	36	39	38	36	78%
		Sem papel	49	50	54	42	42	47		31	31	33	29	31	31	
	Laboratório de bioquímica	Com papel	53	59	58	54	51	55	72%			25	26	27	26	87%
		Sem papel	42	47	47	43	42	44				24	25	26	25	
500	Sala de descanso	Com papel	49	47	47	49	52	49	88%	22	20	29	24	23	24	78%
		Sem papel	48	46	45	48	51	48		20	18	24	21	19	20	
	Serralheria	Com papel	21	19	18	25	19	20	64%							0%
		Sem papel	16	15	12	16	13	14								
	Almoxarifado	Com papel	65	63			61	63	87%							0%
		Sem papel	63	61			59	61								
750	Lavanderia	Com papel	33	37			29	33	70%							0%
		Sem papel	21	31			25	26								
	Chefia	Com papel	55	58	68	46	49	55	77%	22	23	26	29	28	26	85%
		Sem papel	49	50	54	42	42	47		21	21	26	28	25	24	
	Higienização de mãos	Com papel	43	49	48	44	51	47	88%	24	23	25	26	27	25	71%
		Sem papel	42	47	47	43	50	46		20	19	20	20	19	20	
500	Posto de enfermagem	Com papel	49	47	47	49	52	49	88%	22	20		24	23	22	72%
		Sem papel	48	46	45	48	51	48		19	18		17	17	18	
	CTI neonatal	Com papel	65	63	61	59	61	62	86%							0%
		Sem papel	63		55	59	59	59								
	CME	Com papel	75	73	71	69	71	72	79%							0%
		Sem papel	73	69	65	51	59	63								
500	Hemodialise	Com papel	65	63	61	59	61	62	88%							0%
		Sem papel	63	61	60	59	59	60								
	Suturas e curativos	Com papel	53	58	58	54	61	57	73%		23	25	26		25	86%
		Sem papel	42	47	47	43	50	46			22	24	25		24	
	Sala de cirurgia geral 4	Com papel														
		Sem papel														
750	Sala multiuso	Com papel	65	63	61	59	61	62	74%	34	33	35	36	35	35	76%
		Sem papel	53	51	51	49	49	51		28	25	30	31	33	29	
	Chefia da manutenção	Com papel	63	69	69	64	61	65	75%							0%
		Sem papel	52	59	57	53	50	54								
	Sala do faturamento	Com papel	119	115	110	117	115	115	74%	42	40	39	44	43	42	88%
		Sem papel	102	99	85	94	91	94		38	39	39	43	44	41	
750	Manutenção elétrica e eletrônica	Com papel	45	43	41	49	41	44	68%							0%
		Sem papel	33	31	31	39	31	33								

Obs: Os ambientes sem medições referem-se àqueles onde o pé-direito é muito alto ($\geq 4m$) ou que devido a presença de algum obstáculo impossibilitaram as medições.

Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RASA e RAAB).

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendimento
Abalux				
BR-08	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
BR-405	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
A-64	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
BR-14	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
BR-409	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
BR-60	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
BR-421	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
Blumenau Luminárias				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
Carolino Iluminação				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
FLC				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
Intral				
RS-832 (05832)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
RS-832 (05832)	T8/1x32W	Alumínio	Branca	75%
LS-832 (08506)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
OS-832 (05981)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
ES-832 (05548)	T8/2x32W	Alumínio	Branca	74%

**Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RSA e RAAB)
(cont.)**

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendimento
RS-812 (05567)	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
RS-812 (05557)	T8/1x32W	Alumínio	sem	84%
LS-812 (05360)	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
OS-812 (05624)	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
OS-812 (05971)	T8/1x32W	Alumínio	sem	84%
AS-810 (05185)	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
AS-810 (05609)	T8/1x32W	Alumínio	sem	86%
BS-810 (05195)	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
ES-812 (05862)	T8/2x32W	Alumínio	sem	87%
Itaim				
3790.332.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	69%
3780.332.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	69%
3570.232.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	69%
3950.232.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	64%
3950.132.300	T8/1x32W	Alumínio	Branca	64%
3740.232.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	71%
3520.232.300	T8/2x32W	Alumínio	Branca	72%
3320.232.300	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
3540.232.300	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%

**Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RSA e RAAB)
(cont.)**

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendimento
4650.232.300	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
Lumibras				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
Lumicenter				
CAC01-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
CAC01-S232	T8/1x32W	Alumínio	Branca	73%
CAC02-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	76%
CAC03-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
CAC04-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	77%
CAC09-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	79%
CAC09-S132	T8/1x32W	Alumínio	Branca	79%
CAC10-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	74%
CAC11-S232	T8/2x32W	Alumínio	Branca	75%
CAN01-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
CAN01-S232	T8/1x32W	Alumínio	sem	83%
CAN02-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
CAN02-S232	T8/1x32W	Alumínio	sem	83%
CAN03-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	84%
CAN04-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	79%

Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RASA e RAAB) (cont.)

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendimento
CAN06-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	88%
CAN06-S132	T8/1x32W	Alumínio	sem	88%
CAN07-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
CAN08-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	81%
CAN14-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
CAN14-S232	T8/1x32W	Alumínio	sem	83%
CAN16-S232	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
MB Luminárias				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
Philips				
TCS050/232-C100	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
TCS912/232-C100	T8/2x32W	Alumínio	Branca	68%
TMS600/232-00+RA600	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
TMS600/132-00+RA600	T8/1x32W	Alumínio	Branca	73%
TCS027/232-00	T8/2x32W	Alumínio	Sem	80%
Projeto				
C2636-CA	T8/2x32W	Alumínio	Branca	73%
DP-1935-05	T8/2x32W	Alumínio	Branca	72%

Apêndice 12. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RASA e RAAB) (cont.)

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aleta	Rendimento
DP-2102-04	T8/2x32W	Alumínio	Branca	69%
C2636-AS	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
C2328	T8/2x32W	Alumínio	sem	85%
C2328	T8/1x32W	Alumínio	sem	85%
C2359	T8/2x32W	Alumínio	sem	86%
RCG				
Sem informações técnicas suficientes para análise				
Salmerão				
IDRA-232	T8/2x32W	Alumínio	sem	83%
Taschibra				
Sem informações técnicas suficientes para análise				

Obs.: Considerou-se como ‘informações técnicas suficientes para análise’, dados de catálogo referentes ao rendimento, à tabela com fatores de utilização e aos diagramas fotométricos.

Apêndice 13. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RBCD).

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Corpo / cor	Difusor	Rend.
Abalux					
A-432	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Trasnsparente texturizado	80%
A-319 ACL	T8/2x32W	Branco	Chapa de aço/ branca	Poliestireno leitoso	78%
Intral					
VS-860 (08559)	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	84%
VS-860 (08611)	T8/1x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	84%
Itaim					
3024	T8/2x32W	Branco	Chapa de aço/ branca	Acrílico leitoso Policarbonato	45%
3300	T8/2x32W	Branco	Chapa de aço/ branca	texturizado	69%
LPT08	T8/2x32W	Branco	Poliéster com fibra de vidro/ cinza	Poliestireno texturizado	75%
LPT15	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	70%
LPT18	T8/2x32W	Branco	Policarbonato/ cinza	Policarbonato texturizado	74%

Apêndice 13. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias pré-selecionadas (RBCD) (cont.).

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Corpo / cor	Difusor	Rend.
Lumicenter					
CHT01-S232	T8/2x32W	Branco	Poliestireno/ cinza	Poliestireno texturizado	80%
Philips					
TCS020D23200	T8/2x32W	Alumínio	Chapa de aço/ branca	Acrílico tex- turizado	64%
TCWC016	T8/2x32W	Alumínio	Poliestireno/ Branca	Policarbonato texturizado	70%

Apêndice 14. Principais fabricantes nacionais e respectivas luminárias para lâmpadas fluorescentes compactas pré-selecionadas.

Referência	Lâmpada (Bulbo/ Potência)	Refletor	Aletas	Rendimento
Dautec				
3054	PL 2 / 18 a 26W	Alumínio	Branças	61%
Guarilux				
RBC-S	PL 1 e 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	67%
GSAC	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	54%
Indelpa				
DEC396 2x26W	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	66%
Itaim				
Bronze 8192	PL 1 / 18 a 2x42W	Alumínio	Sem	53%
Cobre 8195	PL 1 / 18 a 2x42W	Alumínio	Branças	43%
Lumicenter				
DRN01-S126	PL 1 / 18 a 26W	Alumínio	Sem	56%
DRN03-S226	PL 1 e 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	75%
DRN05-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Sem	72%
DAA09-S226	PL 2 / 9 a 18W	Alumínio	Branças	56%
DAC01-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	60%
DAC06-S226	PL 2 / 9 a 26W	Alumínio	Branças	67%

Apêndice 15. Equipamentos e materiais necessários para a implantação do *retrofit* no hospital regional de Betim.

Tabela 64. Aparelhos de medição sugeridos para aquisição.

Descrição	Un.	Qde.
Analizador de energia para medições de grandezas elétricas trifásicas através de três sensores flexíveis que suportem correntes de 3 a 3.000A. Deve ser possível efetuar as seguintes medições: corrente [A], tensão [V], potência ativa [W], potência reativa [VAr], fator de potência, energia ativa [kWh], energia reativa [kVArh]. Deve ser fornecido com o certificado de calibração.	pç	1
Analizador de energia para medições de grandezas elétricas monofásicas através de ligação direta à tomada, que suportem correntes de até 30A. Deve ser possível efetuar as seguintes medições: corrente [A], tensão [V], potência ativa [W], potência reativa [VAr], fator de potência, energia ativa [kWh], energia reativa [kVArh]. Deve ser fornecido com o certificado de calibração.	pç	1
Multímetro com amperímetro alicate que suportem correntes de até 600A. Deve ser possível efetuar as seguintes medições: corrente [A], tensão [V], resistência [Ohm]. Deve ser fornecido com o certificado de calibração.	pç	1
Fotômetro com sensor (luxímetro), com correção ótica, digital, 3 ½ dígitos. Deve ser fornecido com o certificado de calibração.	pç	1
Trena física de 5m	pç	1
Relógio termohigrômetro digital.	pç	1

Tabela 65. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura das enfermarias.

Descrição	Un.	Qde.
Luminárias de teto para iluminação geral:		
Acessórios para a adaptação da luminária ao teto do recinto (suporte ômega, barra ros-cada, parafusos e arruelas)	cj	66
Bucha de nylon com parafuso S8 para fixação do suporte da luminária ao teto	pç	264
Fio de cobre singelo, seção 1,5mm ² , classe 750V, utilizado para interligação entre os reatores e soquetes das luminárias.	m	198
Canaleta de termoplástico auto-extinguível, dimensões 20x10mm, referência sistema X de fabricação Pial Legrand ou equivalente, com acessórios.	m	264
Tampa cega para caixa de passagem embutida 4"x2"	m	66
Fio de cobre singelo, seção 1,5mm ² , classe 750V, utilizado para interligação entre a caixa de passagem sobre a porta e a luminária.	m	792
Luminárias sobre os leitos:		
Suporte em chapa de aço carbono tratada, pintada na cor branca, para ajuste de inclina-ção da luminária de forma a direcionar seu fecho luminoso à área de interesse.	pç	230
Bucha de nylon com parafuso S8 para fixação do suporte à parede	pç	920
Parafuso com porca e arruela M6x15 para fixação da luminária aos suportes	pç	920

Tabela 66. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura dos demais ambientes com leitos.

Descrição	Un.	Qde.
Suporte em chapa de aço carbono tratada, pintada na cor branca, para ajuste de inclinação da luminária de forma a direcionar seu fecho luminoso à área de interesse.	pç	87
Bucha de nylon com parafuso S8 para fixação do suporte à parede	pç	348
Parafuso com porca e arruela M6x15 para fixação da luminária aos suportes	pç	348

Tabela 67. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura das instalações sanitárias.

Descrição	Un.	Qde.
Parafuso com arruela M6x40 para fixação da luminária à caixa de passagem.	pç	326

Tabela 68. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos demais ambientes contendo lâmpadas incandescentes.

Descrição	Un.	Qde.
Suporte em chapa de aço carbono tratada, pintada na cor branca, para ajuste de inclinação da luminária de forma a direcionar seu fecho luminoso à área de interesse.	pç	55
Bucha de nylon com parafuso S8 para fixação do suporte à parede	pç	220
Parafuso com porca e arruela M6x15 para fixação da luminária aos suportes	pç	220
Parafuso com arruela M6x40 para fixação da luminária à caixa de passagem.	pç	110

Tabela 69. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos ambientes com iluminância não superior a 750 lux.

Descrição	Un.	Qde.
Fio de cobre singelo, seção 1,5mm ² , classe 750V, utilizado para interligação entre os reatores e soquetes das luminárias.	m	4575
Parafuso com porca e arruela M8x25 para fixação da luminária aos suportes	pç	6100

Tabela 70. Relação de materiais para intervenções na infraestrutura nos ambientes com iluminância requerida de 750 lux.

Descrição	Un.	Qde.
Fio de cobre singelo, seção 1,5mm ² , classe 750V, utilizado para interligação entre os reatores e soquetes das luminárias.	m	597
Parafuso com porca e arruela M8x25 para fixação da luminária aos suportes	pç	796
Perfilados metálicos em chapa de aço galvanizado, bitola 16MSG, dimensões 38x38mm.		
0,5 < K ≤ 1,0	m	127
1,0 < K ≤ 1,5	m	216
1,5 < K ≤ 2,0	m	68
Fio de cobre singelo, seção 1,5mm ² , classe 750V, utilizado para complementação da fiação existente.		
0,5 < K ≤ 1,0	m	381
1,0 < K ≤ 1,5	m	648
1,5 < K ≤ 2,0	m	204

Tabela 71. Relação de materiais do novo sistema de iluminação eficiente.

Descrição	Un.	Qde.
Sistema de iluminação fluorescente tubular		
Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor facetado em alumínio anodizado de alta pureza e refletância, para acomodação de duas lâmpadas fluorescentes bulbo T8, eficiência mínima de 84%, sem aletas.	pç	307
Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor facetado em alumínio anodizado de alta pureza e refletância, para acomodação de duas lâmpadas fluorescentes bulbo T8, eficiência mínima de 73%, com aletas brancas.	pç	545
Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente, refletor facetado em alumínio anodizado de alta pureza e refletância, para acomodação de uma lâmpada fluorescente bulbo T8, eficiência mínima de 84%, sem aletas.	pç	872
Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente ou policarbonato, refletor pintado na cor branca, para acomodação de duas lâmpadas fluorescente bulbo T8, eficiência mínima de 73%, com difusor texturizado ou leitoso.	pç	66
Lâmpada fluorescente tulular, bulbo T8, potência 32W, valores mínimos aceitos: eficiência: 80lm/W, vida mediana: 15000h, IRC: 80, TCC: 3300 a 5300K	pç	2708
Reator eletrônico duplo para lâmpada T8, de potência 32W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 92%, fator de fluxo: 1,0, fator de potência: 0,92.	pç	918

Tabela 71. Relação de materiais do novo sistema de iluminação eficiente (cont.).

Descrição	Un.	Qde.
Reator eletrônico simples para lâmpada T8, de potência 32W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 92%, fator de fluxo: 1,0, fator de potência: 0,92.	pç	872
Sistema de iluminação fluorescente compacta		
Luminária de sobrepor, com corpo em chapa de aço fosfatizada e pintada eletrostaticamente e refletor repuxado em alumínio anodizado, com soquetes para acomodação de duas lâmpadas fluorescentes compactas PL a 4 pinos para potências entre 9 e 26W, eficiência mínima de 57%, com aletas brancas.	pç	590
Lâmpada fluorescente compacta bulbo PL a 4 pinos, potência 18W, valores mínimos aceitos: eficiência: 65lm/W, vida mediana:10000h, IRC: 80, TCC: 3300 a 5300K	pç	1164
Lâmpada fluorescente compacta bulbo PL a 4 pinos, potência 26W, valores mínimos aceitos: eficiência: 65lm/W, vida mediana:10000h, IRC: 80, TCC: 3300 a 5300K	pç	16
Reator eletrônico duplo para lâmpada PL, de potência 18W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 92%, fator de fluxo: 1,0, fator de potência: 0,92.	pç	582
Reator eletrônico duplo para lâmpada PL, de potência 36W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 92%, fator de fluxo: 1,0, fator de potência: 0,92.	pç	8
Sistema de iluminação vapor de sódio		
Lâmpada vapor de sódio, potência 250W, valores mínimos aceitos: eficiência: 124lm/W, vida mediana:32000h, IRC: 23, TCC: 2000 a 3000K	pç	24

Tabela 71. Relação de materiais do novo sistema de iluminação eficiente (cont.).

Descrição	Un.	Qde.
Lâmpada vapor de sódio, potência 150W, valores mínimos aceitos: eficiência: 113lm/W, vida mediana:32000h, IRC: 23, TCC: 2000 a 3000K	pç	26
Reator eletrônico simples para lâmpada a vapor de sódio de potência 250W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 91%, fator de potência: 0,92.	pç	24
Reator eletrônico simples para lâmpada a vapor de sódio de potência 150W, valores mínimos aceitáveis: rendimento: 89%, fator de potência: 0,92.	pç	26

Apêndice 16. Luminárias fluorescentes existentes do hospital regional de Betim.

Tabela 72. Quantitativo de luminárias fluorescentes atualmente existentes do HPRB.

Ilum. necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Índice de ambiente- te (K)	Ambiente representativo	Item na NBR 5413: 1992	Representati- vidade em área construída [m ²]	Luminária / m ² (1x40W)	Luminária / m ² (2x40W)	Luminária / m ² (4x40W)	Qde. total lum. 2 x40W	Qde. total lum. 4 x40W	Qde. total lum. 1x40W
50	$K \leq 0,5$	0,76	Depósito de Material de Limpeza	A2	120,4	0,1741					21
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,76	Vestiário Masculino	A2	382,5		0,1700		66		
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,41	Vestiário Masculino	A2	1.153,2		0,1401		162		
	$1,5 < K \leq 2,0$	1,52	Vestiário Feminino	A2	1.348,8		0,1195		162		
75	$K \leq 0,5$	0,49	Sala do <i>fan coil</i>	A2	4,9		0,2049		1		
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,72	Sala do <i>fan coil</i>	A2	83,8		0,1523		13		
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,14	Subestação secundária	A2	98,9		0,1401		14		
100	$K \leq 0,5$	0,47	Circulação interna	5.3.28	288,8		0,1269		37		
	$0,5 < K \leq 1,0$	0,95	Circul. interna (CTI-BC)	A3	2.725,8		0,0650		178		
	$1,0 < K \leq 1,5$	1,03	Sala de estar de pessoal	A2	2.597,8		0,1253		326		

Tabela 72. Quantitativo de luminárias fluorescentes atualmente existentes do HPRB (cont.).

Ilum. necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Índice de ambiente (K)	Ambiente representativo	Item na NBR 5413: 1992	Representatividade em área construída [m ²]	Luminária / m ² (1x40W)	Luminária / m ² (2x40W)	Luminária / m ² (4x40W)	Qde. total lum. 2 x40W	Qde. total lum. 4 x40W	Qde. total lum. 1x40W
100	1,5 < K ≤ 2,0	1,75	Guarda mat. esterilizado	A3	482,2		0,1437		70		
	2,0 < K ≤ 3,0	2,07	Refeitório	B3	355,9		0,1735		62		
150	K ≤ 0,5	0,33	Arsenal	5.3.28	42,3		0,3987		17		
	0,5 < K ≤ 1,0	0,86	Sala de espera da hemodiálise	A3	472,8		0,1265		60		
	1,0 < K ≤ 1,5	1,05	Sala de espera do bloco cirúrgico	A3	689,4			0,0862		60	
	1,5 < K ≤ 2,0	1,52	Sala de observação ortopédica masculina	5.3.28	51,8			0,2436		13	
	2,0 < K ≤ 3,0	2,05	Setor de cocção de alimentos	5.3.28	718,4		0,1270		92		
200	K ≤ 0,5	0,49	Sala da assistente social	A4	18,6		0,4000		8		

Tabela 72. Quantitativo de luminárias fluorescentes atualmente existentes do HPRB (cont.).

Ilum. necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Índice de ambiente (K)	Ambiente representativo	Item na NBR 5413: 1992	Representatividade em área construída [m ²]	Luminária / m ² (1x40W)	Luminária / m ² (2x40W)	Luminária / m ² (4x40W)	Qde. total lum. 2 x40W	Qde. total lum. 4 x40W	Qde. total lum. 1x40W
200	0,5 < K ≤ 1,0	0,97	Laboratório de bio-química	5.3.28	594,1			0,1056		63	
	1,0 < K ≤ 1,5	1,12	Sala de descanso	A4	479,7		0,1951		94		
	1,5 < K ≤ 2,0	1,79	Serralheria	A4	139,6		0,1224		18		
	2,0 < K ≤ 3,0	2,15	Almoxarifado	A4	262,5		0,1257		33		
	K > 3,0	3,16	Lavanderia	5.3.54	422,3	0,0996	0,1544		66		43
300	K ≤ 0,5	0,43	Chefia	A4	12,2		0,2525		4		
	0,5 < K ≤ 1,0	0,74	Higienização de mãos	A4	484,2		0,1754		85		
	1,0 < K ≤ 1,5	1,00	Posto de enfermagem	A4	302,5			0,1968		60	
	1,5 < K ≤ 2,0	1,66	CTI neonatal	A4	112,6		0,2016		23		
	2,0 < K ≤ 3,0	2,05	CME	5.3.28	85,1	0,4689					40
	K > 3,0	3,06	Hemodiálise	B4	478,7		0,1263		61		

Tabela 72. Quantitativo de luminárias fluorescentes atualmente existentes do HPRB (cont.).

Ilum. necessária (En) [lux]	Faixa do índice de ambiente	Índice de ambien- te (K)	Ambiente representativo	Item na NBR 5413: 1992	Representativa- de em área cons- truída [m²]	Luminária / m² (1x40W)	Luminária / m² (2x40W)	Luminária / m² (4x40W)	Qde. Total lum. 2 x40W	Qde. Total lum. 4 x40W	Qde. Total lum. 1x40W
	0,5 < K ≤ 1,0	0,68	Suturas e curativos	B1	36,5			0,2139		8	
500	1,0 < K ≤ 1,5	1,25	Sala de cirurgia geral 4	5.3.28	422,0		0,2397		102		
	1,5 < K ≤ 2,0	1,76	Sala multiuso	B1	117,0		0,1282		15		
	0,5 < K ≤ 1,0	0,84	Chefia da manuten- ção	B1	305,3		0,2503		77		
750	1,0 < K ≤ 1,5	1,05	Sala do faturamento	B1	215,3		0,1585		35		
	1,5 < K ≤ 2,0	1,78	Manutenção elétrica e eletrônica	B1	65,9	0,0455	0,0911		6		3
Total									1.887	204	107
Total de Luminárias nas Enfermarias do Primeiro ao Quinto Pavimentos									66		
Total Geral									1.953	204	107

Apêndice 17. Luminâncias produzidas pelas luminárias fluorescentes.

Tabela 73. Luminâncias produzida pela luminária RAAB.

ângulos da visão [graus]	Intensidade luminosa [cd]		Área apa- rente [m ²]	Luminância [cd/m ²]	
	Longitudinal	Transversal		Longitudinal	Transversal
0	1952,1	1952,1	0,3998	4883,2	4883,2
5	2008,0	1867,7	0,3982	5042,2	4689,9
10	1871,8	2026,2	0,3937	4754,5	5146,7
15	1931,0	2179,8	0,3861	5000,8	5645,1
20	1937,0	2297,5	0,3757	5156,4	6116,0
25	1880,7	2313,0	0,3623	5190,9	6384,1
30	1821,8	2182,9	0,3462	5262,2	6305,3
35	1737,3	1861,4	0,3275	5305,3	5684,3
40	1589,2	1487,4	0,3062	5189,5	4857,1
45	1413,7	1073,4	0,2827	5001,2	3797,3
50	1188,0	688,8	0,2570	4623,3	2680,6
55	940,5	398,5	0,2293	4101,7	1738,0
60	689,0	179,4	0,1999	3447,1	897,5
65	468,4	66,3	0,1689	2772,5	392,4
70	277,7	40,4	0,1367	2031,1	295,5
75	147,9	28,0	0,1035	1429,5	270,6

Tabela 73. Luminâncias produzida pela luminária RAAB (cont.).

ângulos da visão [graus]	Intensidade luminosa [cd]		Área apa- rente [m ²]	Luminância [cd/m ²]	
	Longitudinal	Transversal		Longitudinal	Transversal
80	72,6	15,8	0,0694	1045,8	227,6
85	29,4	6,0	0,0348	843,8	172,2

Apêndice 18. Consolidação dos dados sobre iluminação artificial.

Tabela 74. Horários de medição de iluminação natural nas enfermarias.

Local	Segundo Pavimento					
Ambiente	Hora de início da medição					
Enfermaria 212	07:50	09:50	11:50	13:50	15:50	17:50
Enfermaria 215	08:05	10:05	12:05	14:05	16:05	18:05
Enfermaria 216	08:20	10:20	12:20	14:20	16:20	18:20

Tabela 75. Níveis Médios de iluminância natural no corredor sul.

Hora	Afastamento da Janela [m]			
	Verão E [lux]		Inverno E [lux]	
	0,85	2,55	0,85	2,55
08:00	132	75	73	58
10:00	344	196	246	185
12:00	734	418	466	352
14:00	550	293	233	182
16:00	446	209	159	96
18:00	70	24	6	5

Apêndice 19. Malha de pontos para medição de iluminação natural.



Figura 73. Malha de pontos para medição no interior do pavimento térreo.

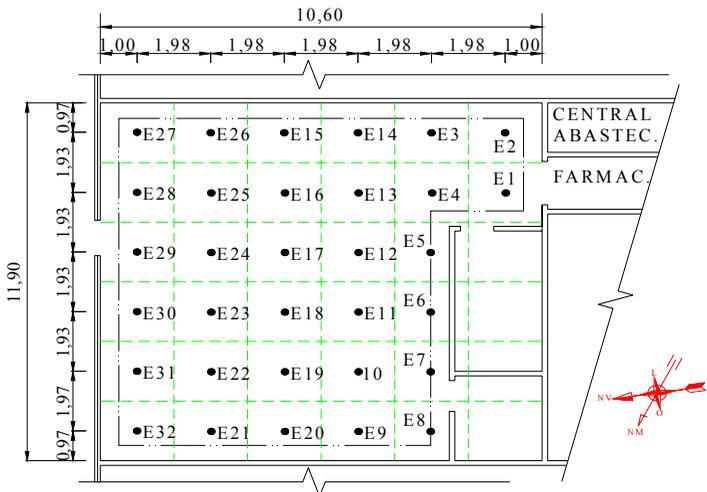


Figura 74. Malha de pontos para medição da fachada norte.

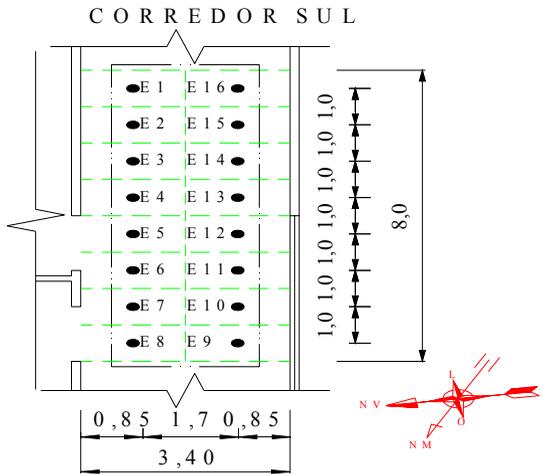


Figura 75. Malha de pontos para medição na fachada sul.

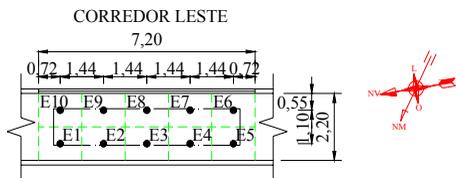


Figura 76. Malha de pontos para medição na fachada leste.

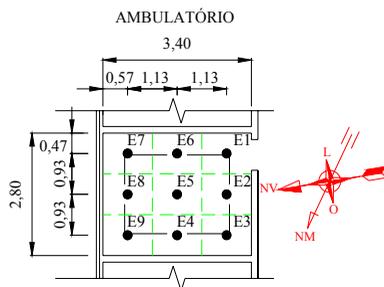


Figura 77. Malha de pontos para medição na fachada oeste (ambiente 1).

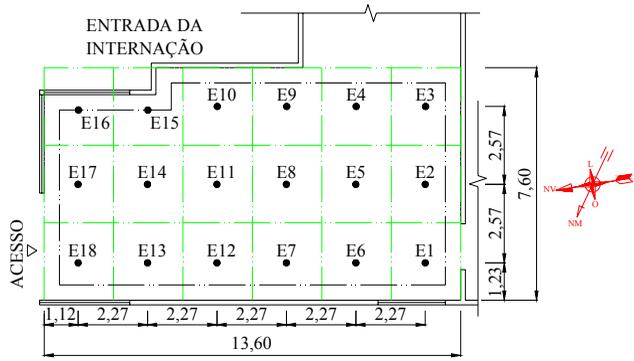


Figura 78. Malha de pontos para medição na fachada oeste (ambiente 2).