



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/CNPq – BIP/UFSC 2009/2010**

TÍTULO DO PROJETO:

Construção Conforto Ambiental e Uso Racional de Energia

***Determinação do Fator Solar em vidros e elementos de
sombreamento para janelas
(Relatório final)***

BOLSISTA:

Fabricio Pereira, graduando em Engenharia Mecânica.

PROFESSOR ORIENTADOR:

Roberto Lamberts, PhD.

CO-ORIENTADOR:

Dr. Deivis Luis Marinoski

Florianópolis, Agosto de 2010.

**CONSTRUÇÃO, CONFORTO AMBIENTAL E USO RACIONAL
DE ENERGIA**

***Determinação do Fator Solar em vidro e elementos de
sombreamento para janelas***

Fabricio Pereira

Bolsista

Roberto Lamberts

Professor Orientador

RESUMO

Em tempos de preservação dos recursos naturais é preciso utilizar os avanços da tecnologia a favor deste propósito e buscar alternativas que permitam a evolução, mas de uma maneira sustentável. No contexto da construção civil, o estudo das janelas mira o futuro ao desenvolver formas e materiais que caminhe junto com um desempenho energético eficiente, onde o calor absorvido seja útil e a luz transmitida seja aproveitada. Para alcançar esse ideal é fundamental aprofundar os estudos e investimentos na criação de ferramentas eficazes para caracterizar o desempenho deste elemento: a janela. Um caminho para isso é a quantificação do ganho de calor solar, determinado pelo índice termo-energético denominado Fator Solar (FS). Utilizando um calorímetro solar desenvolvido na UFSC, foram testados, sob condições reais, três amostras de vidros com diferentes espessuras e coloração (incolor, verde, prata), e também quatro elementos de sombreamento (3 internos e 1 externo) comumente aplicados nas edificações brasileiras. Para realizar as medições foi necessária a recalibração de alguns instrumentos empregados no processo, bem como encontrar condições ambientais de campo favoráveis. Os valores do Fator Solar foram determinados por dois métodos distintos (calorimétrico e fluximétrico), sendo também apresentada a incerteza das medições. Espera-se que os dados alcançados sejam utilizados como parâmetro nas especificações de vidros e proteções solares e que, aliado aos modernos sistemas computacionais existentes, permitam que sejam desenvolvidos projetos de edificações mais eficientes do ponto de vista energético.

Palavras-chave: Calorímetro; Instrumentação; Fator Solar; Vidros e Janelas; Proteções solares.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. JUSTIFICATIVA.....	5
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.2.1. <i>Objetivos Gerais</i>	6
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. DESENVOLVIMENTO DO CALORÍMETRO.....	6
2.2. OUTRAS PESQUISAS RELACIONADAS AO TEMA.....	7
2.3. INSTRUMENTAÇÃO.....	8
2.4. DISCUSSÕES GERAIS.....	9
3. RECALIBRAÇÃO DOS ANEMÔMETROS	10
3.1. PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO.....	10
3.2. EQUAÇÕES E CURVAS.....	13
4. AMOSTRAS DE TESTE	14
4.1. VIDROS.....	14
4.1.1. <i>Vidro Cristal Float incolor 6mm</i>	14
4.1.2. <i>Vidro Cristal Float verde 6mm</i>	15
4.1.3. <i>Vidro Laminado Refletivo Cool-lite prata 8mm (4mm + 4mm)</i>	16
4.2. PROTEÇÕES SOLARES.....	17
4.2.1. <i>Persiana horizontal interna branca</i>	17
4.2.2. <i>Persiana horizontal interna preta</i>	18
4.2.3. <i>Rolô interno</i>	19
4.2.4. <i>Brise horizontal externo</i>	19
5. METODOLOGIA E RESULTADOS DAS MEDIÇÕES	21
5.1. MEDIÇÃO DO FS DOS VIDROS.....	21
5.2. MEDIÇÃO DO FS DAS PROTEÇÕES SOLARES.....	25
5.2.1. <i>Proteções solares internas</i>	25
5.2.2. <i>Proteções solares externas</i>	28
6. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A consciência ecológica saiu dos discursos de entidades ambientais e se inseriu no cotidiano da sociedade. A questão sustentabilidade está cada vez mais presente nas ações governamentais, nas iniciativas científicas e na rotina dos trabalhadores. Aliado a este movimento cultural há o avanço da tecnologia que permite o desenvolvimento de novas ferramentas que vem contribuir para o fortalecimento desta mentalidade.

Na construção civil, as janelas sempre tiveram atenção especial para sua função arquitetônica, onde sua estética diferencia uma edificação de outra, seja pela sua forma, suas cores ou pela harmonia com o ambiente. Contudo, sob a motivação de melhor uso dos recursos naturais, tornou-se necessário aliar a beleza à funcionalidade, aproveitando melhor este elemento na construção de um modelo mais eficiente. A otimização das funções de transmitir luz, calor e ventilação têm papel muito relevante na concepção energética do sistema. Alternativas precisam ser encontradas para reduzir o impacto ambiental que a geração de energia provoca.

Nas cidades, podem-se empregar vidros com menor ganho de calor, contribuindo para menor consumo de energia pelos condicionadores de ar. Também em regiões frias, onde o calor fornecido pela radiação solar pode ser utilizado para aquecer um ambiente, desde que o material utilizado nas aberturas permita isto.

Sob esta ótica, destaca-se a importância do aprofundamento no estudo do comportamento das diferentes opções de vidros e elementos de sombreamento, componentes empregados maciçamente na construção civil, setor em constante crescimento e com participação econômica fundamental.

Para indicar a melhor escolha é preciso quantificar de que maneira determinado material contribui para um resultado positivo. No caso do aproveitamento da radiação solar como forma de melhorar o desempenho energético, pode-se determinar o chamado Fator Solar (FS) dos vidros e aberturas.

O Fator Solar representa a fração de ganho térmico devido à radiação solar que a abertura transmite para o interior da edificação. Conhecimento desta variável aliado às ferramentas computacionais proporciona projetos cada vez mais complexos e eficientes.

Dando continuidade ao desenvolvimento de um calorímetro para testes de vidros e janelas (Marinoski et al.,2009), fazem-se necessárias medições com diferentes tipos de vidros e proteções solares, as quais são apresentadas neste trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivos Gerais

Realizar medições com os vidros e elementos de sombreamento disponíveis comercialmente no mercado da construção civil brasileira, utilizando um calorímetro solar.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Verificar a necessidade de recalibração de instrumentos;
- Instalação de amostras de testes: vidros e proteções solares;
- Executar os testes com as diferentes amostras e verificação do Fator Solar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desenvolvimento do calorímetro

Marinoski et al. (2007) propõe a melhoria de um sistema de medição experimental, denominado de Radiômetro de Aberturas. O qual permite a quantificação da parcela térmica da radiação solar que penetra no ambiente, além de determinar o Fator Solar – índice de desempenho energético das aberturas, que é a fração da radiação incidente em uma janela. O protótipo também utiliza amostras em escala. O primeiro equipamento desenvolvido usa um novo tipo de medição de fluxo de calor, do gradiente tangencial, a principal característica destes sensores é a alta sensibilidade e pequena espessura. Nos testes iniciais, os resultados apresentaram erros, os quais foram atribuídos ao processo de fabricação dos sensores. O protótipo seguinte contava com duas cavidades, uma para medição e outra de referência. Com sensores menores aos empregados no sistema anterior, um isolamento térmico adequado e um sistema de resfriamento melhor dimensionado. Nos testes onde foram usados ventiladores e antes da calibração dos sensores, o erro médio do Fator Solar variou de 10,4% a 15,4%. Após a calibração baixou para 5,4%. Durante os testes verificou-se que houve excessivo aquecimento, ou seja, o sistema de ventilação era insuficiente. Porém, em uma nova oportunidade, com o banho termostático adotado para o resfriamento e tendo o ajuste de temperatura otimizado alcançou-se um erro médio de apenas 0,94%. Embora a última construção tenha sido eficaz, a dificuldade estava no espaço que o resfriamento por banho necessitava, bem como o aumento de custo e dificuldade de transporte.

Prosseguindo o trabalho anterior, *Marinoski et al. (2009)* iniciou o desenvolvimento de um novo equipamento, denominado de calorímetro. Onde, na mesma linha do anterior, desejava-se determinar o Fator Solar. Diferentemente dos antecessores, as amostras testadas seriam de tamanho real, contudo, haveria ainda uma cavidade menor para testes rápidos e que funciona como referência para comparação com a cavidade principal. O projeto foi dividido em subprojetos: absorvedores de calor, sistema de resfriamento, sistema de monitoramento e trailer de abrigo. Os absorvedores de calor foram posicionados do lado interno das duas cavidades, permitindo que o calor incidente seja quantificado e removido por um sistema de resfriamento. O resfriamento foi feito na forma de um grande banho termostático. A

água de um reservatório é bombeada e circula pelas cavidades em um circuito fechado. O controle de temperatura deste sistema é realizado pelo mesmo software que gerencia a aquisição de dados dos sensores de monitoramento. Para realizar a aquisição, durante a medição é usado um sistema de condicionamento e gravação do sinal gerado pelos sensores. Como o projeto envolve diversos componentes, foi escolhido um trailer para abrigá-los, pois além de proteger permite fácil movimentação. No trailer foram inseridas as cavidades, o reservatório do sistema de refrigeração, o sistema de monitoramento e todo o sistema elétrico e hidráulico. Concluída a fase de construção, iniciou-se o processo de calibração do equipamento. Onde foram acionados os sistemas de resfriamento e aquisição de dados. Após o ajuste manual das vazões, estabilizando a temperatura das cavidades, foi iniciada a primeira medição. O valor médio do FS obtido foi de 0,75 – diferindo 9,1% do valor teórico (0,83) – sendo aceitável.. Porém, o desvio-padrão foi muito elevado ($\pm 0,26$).

2.2. Outras pesquisas relacionadas ao tema

Alvarez et al. (2000) desenvolveu um calorímetro em forma de caixa, para testar amostras de vidros em escala reduzida. As paredes do equipamento são de acrílico e pintadas internamente com tinta de alta absorvância, na parte frontal há uma moldura onde são instaladas as amostras, no fundo do aparelho há uma placa com função de absorver o calor incidente pela abertura, nesta placa há uma serpentina conectada a um banho termostático para resfriamento. A quantidade de calor absorvida é obtida pelo balanço de energia absorvida pela placa e retirado pelo sistema de refrigeração. Termopares são distribuídos na superfície do vidro e na caixa, tanto internamente como externamente. Entretanto, a luz incidente é uma simulação da luz solar, realizada por uma lâmpada de halogênio-tungstênio de 1000W. Foram utilizados vidros incolores de 3mm e 6mm, vidro verde de 6mm e refletivo de 6mm. Com o equipamento foi possível determinar a temperatura da superfície do vidro, temperatura interna e temperatura transmitida para o interior. Através de cálculos, obteve-se os ganhos de calor, o coeficiente de sombreamento e a eficiência térmica para cada amostra.

Sardeiro e Caram (2009), através da técnica da espectrofotometria caracterizam e analisam a transmissão de radiação solar através de policarbonatos usados na construção civil. Eles são polímeros termoplásticos com transparência similar ao vidro, mas com resistência superior. A grande vantagem do uso do policarbonato é sua opacidade ao ultravioleta. Além disto, é leve, pode ser curvado a frio, possui alta resistência a impactos e sua condutividade térmica é consideravelmente menor do que a do vidro, $0,21\text{W/m}^2$ e $1,16\text{W/m}^2$, respectivamente. Mas, um obstáculo para a escolha do policarbonato é o curto período de tempo (5 a 7 anos) em que o material se mantém transparente, após há a transformação para translúcido (amarelecimento), modificando suas propriedades óticas. Negativamente também contribui a baixa resistência à fadiga e abrasão.

No estudo de *Gueymard e duPont (2009)* são analisadas as mudanças que ocorrem no coeficiente de ganho de calor solar (SHGC) e de transmitância visível (VT) quando há incidência sobre janelas verticais ou inclinadas, que pode resultar em uma alteração no espectro de referência utilizado como função espectral de

referência (SWF). Este índice é importante para avaliar as propriedades ópticas e obter a classificação desejada. A sua desatualização é indesejada e sua insuficiência é discutida. O efeito que a inclinação sobre o SHGC é discutido, bem como as variações do VT. Assim, para remover a inconsistência no Fator Solar (FS), é recomendável um único SWF ser usado para ambas as propriedades (SHGC e VT). Considerando que um vidro comum transmite relativamente constante em todo o espectro solar, vidros coloridos ou revestidos se comportam como filtros, com variadas propriedades ópticas espectrais (transmitância, refletância e absortância). Diante disso, o coeficiente de sombreamento – adotado por *Alvarez et. al. (2000)* –, mostrou-se insuficiente para prever o ganho de calor solar em sistemas mais complexos de aberturas. Sendo assim os cálculos mais recentes utilizam modelos baseados no SHGC e VT. Sabendo que o espectro incidente afeta ambas as propriedades, é conveniente adotar um espectro de referência adequado, que seria a representação das mais freqüentes condições ambientais. Mas isto é muito difícil de conseguir, já que há variação de geometria das construções e das condições ambientais, que influenciam significativamente os espectro solar. Há, então, uma discussão sobre qual espectro de referência adotar. A metodologia indica que seja usado o espectro de radiação direta E891 ou o espectro de radiação solar global E892, mas nenhum deles é ideal. Para tentar resolver o problema, novos espectros de referência foram aprovados pelas ASTM sob denominação G197-08, propondo tabelas espectrais da irradiação direta e difusa. O trabalho chama a atenção para a necessidade da adoção de metodologias baseadas em fonte adequada de função espectral de referência. As utilizadas são limitadas e não descrevem corretamente a realidade. Parte do problema foi resolvido, novos espectros de referência foram aprovadas pela norma ASTM G197. A vantagem deles é se aplicar a janelas verticais e inclinadas, além de separar as parcelas de radiação direta e difusa, permitindo cálculos mais precisos sobre os ganhos de calor solar.

2.3. Instrumentação

No calorímetro desenvolvido, há a presença de vários elementos de monitoramento, *Nicolau e Güths (1998)* assim os define:

- Fluxímetros: seu princípio de funcionamento consiste a desviar as linhas de fluxo de calor de modo a gerar uma diferença de temperatura num plano tangencial ao plano de medição. O desvio das linhas de fluxo é causado pelo contato pontual entre a superfície isotérmica superior e a parede auxiliar. As diferenças de temperaturas são medidas por termopares planares a eletrodos depositados ligados em série. Essa técnica permite a realização de termopares desprovidos de soldas, facilitando a fabricação de transdutores com grande superfície de medida, alta sensibilidade e espessura reduzida.
- Termopares: não mede diretamente a temperatura, mas sim uma diferença de temperatura entre dois corpos. Necessita-se então conhecer uma das temperaturas, chamada junção de referência (ou junta fria). Os termopares são, na realidade, transdutores de temperatura não lineares: o poder termoelétrico varia com a temperatura das junções. A escolha de um termopar para uma determinada aplicação, deve ser feita considerando

todas as possíveis variáveis, normas exigidas pelo processo e possibilidade de obtenção do mesmo.

- Termistores: são sensores que variam sua resistência elétrica com a temperatura. Os materiais de uso prático recaem em duas classes principais: condutores e semicondutores. Os de materiais condutores são chamados termo resistências. Os tipos a semicondutores são os termistores. A diferença básica é a forma de variação da resistência elétrica com a temperatura. Nos primeiros a resistência aumenta quase que linearmente com a temperatura enquanto que nos últimos ela varia de maneira não-linear, positivamente ou negativamente.

Além dos sensores citados, segundo *Marinoski et. al. (2009)* compõem o sistema de monitoramento do calorímetro mais quatro sensores:

- Pirômetros: responsável pela medição da radiação solar nos planos horizontal e de medição. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar.
- Anemômetro: mede a velocidade do ar externo e no interior da cavidade principal. Os anemômetros são instrumentos usados para medição da velocidade do ar e de outros fluidos; podem apresentar diferentes características de construção e operação. Para baixas velocidades, é indicado o uso de anemômetros que operam no princípio de trocas de calor e funcionam se baseando nas trocas de calor entre o fluido e o sensor aquecido, provocando alteração da resistência elétrica do sensor, a qual pode ser correlacionada à velocidade do fluido.
- Medidores de vazão: localizados nas saídas das cavidades. Medidor de vazão é todo dispositivo que permite, de forma indireta, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo.
- Medidor do coeficiente de convecção: que fica no plano de medição externo. Convecção é o processo de transmissão do calor, nos líquidos ou nos gases, por efeito das camadas aquecidas que se chamam correntes de convecção. Na convecção, não ocorre passagem de energia de um corpo para outro, mas movimento de partículas, levando consigo a energia de uma posição para outra

2.4. Discussões gerais

- É possível acompanhar ao longo do tempo o desenvolvimento ótimo para o qual se projetou o calorímetro solar, partindo de um modelo com luz artificial e amostra em escala até um equipamento que permite a quantificação de amostras em tamanho real, com resultados satisfatórios.

No entanto, o processo de pesquisa e concepção do dispositivo foi bastante complexo, dado pela falta de uma literatura sólida acerca do tema. Evidente é o fato de que a pesquisa para a confecção do projeto envolve muitas variáveis e detalhes que precisam ser aprofundados, assim como a normatização das propriedades de referência envolvidas no processo. Além disto, houve a necessidade de recalibração de alguns sensores de monitoramento.

- Somado ao fato da complexidade do projeto está a dificuldade em encontrar condições ideais para a realização das medições. Foi necessário aliar variáveis geográficas e ambientais, a fim de alcançar resultados concretos e plausíveis, quando comparado a números experimentais previamente conhecidos.
- Para o desenvolvimento da pesquisa, além da construção do calorímetro, é fundamental o conhecimento dos materiais utilizados no projeto, pois de acordo com as propriedades das amostras e elementos de sombreamento se espera um determinado resultado.
- As conclusões deste trabalho fornecerão subsídio para a otimização dos materiais empregados no segmento da construção civil, possibilitando uma maior eficiência energética nos sistemas de aberturas.

3. RECALIBRAÇÃO DOS ANEMÔMETROS

Em busca de melhores resultados, tornou-se necessária a recalibração dos anemômetros utilizados no calorímetro.

3.1. Procedimentos de calibração

Foi realizada em túnel de vento – Figura 3.1 – a calibração de dois anemômetros, um para uso interno e outro para utilização externa no calorímetro.

Os dois sensores foram posicionados no túnel de vento – Figura 3.2 – e ligados a dois canais (Front e Rear) de um multímetro digital. Além do multímetro foi usado durante a calibração um anemômetro digital para acompanhar a variação de velocidade e temperatura dentro do túnel de vento.



Figura 3.1 - Túnel de vento.



Figura 3.2 – Anemômetro no túnel de vento.

Na Figura 3.3 vemos o multímetro e o anemômetro posicionados sobre o túnel de vento e na Figura 3.4 a ligação dos dois sensores a serem calibrados com o multímetro.



Figura 3.3 – Multímetro e anemômetro digital.

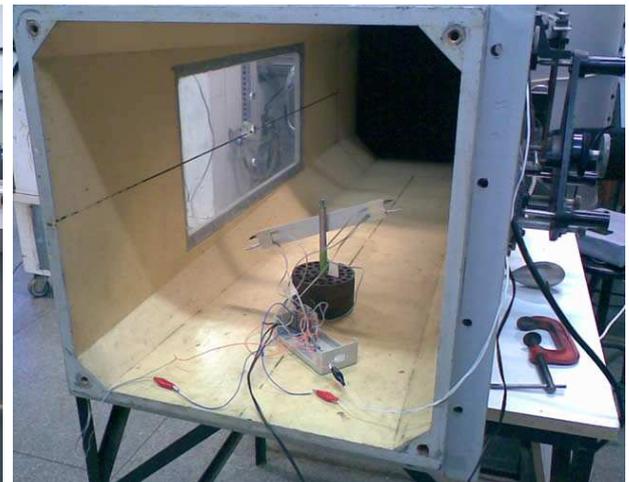


Figura 3.4 – Sensores ligados ao multímetro digital.

Após ligar os sensores ao multímetro e acionar o anemômetro digital para acompanhar a velocidade e temperatura no túnel de vento, ligamos o túnel de vento e através de comando elétrico – Figura 3.5 – variamos gradualmente a velocidade do ar dentro do equipamento.

A velocidade instantânea do ar e a temperatura eram verificadas através do anemômetro digital e anotadas em planilha, juntamente com as tensões observadas nos canais Front e Rear do multímetro digital – Figura 3.6. Os dados coletados foram organizados e apresentados na Tabela 3.1.



Figura 3.5 – Comando elétrico para variar a velocidade do ar no túnel de vento.



Figura 3.6 – Multímetro e anemômetro durante leitura.

Tabela 3.1 – Dados coletados durante calibração dos sensores.

Velocidade [m/s]	Anemômetro Externo - Front [V]	Anemômetro Interno - Rear [V]	Temperatura [°C]
0,00	1,61	1,89	19,2
0,09	1,53	1,81	19,2
0,18	1,40	1,72	19,1
0,22	1,32	1,60	19,1
0,31	1,26	1,55	19,0
0,40	1,17	1,49	19,0
0,51	1,11	1,40	19,0
0,60	1,06	1,36	19,0
0,70	1,01	1,29	19,0
0,79	0,97	1,25	19,0
0,89	0,94	1,21	19,0
1,01	0,91	1,18	19,1
1,21	0,87	1,13	19,2
1,39	0,83	1,08	19,2
1,62	0,79	1,04	19,2
1,79	0,77	1,01	19,2
2,01	0,74	0,98	19,3
2,22	0,72	0,95	19,3
2,42	0,70	0,92	19,4
2,61	0,68	0,90	19,5
2,79	0,67	0,88	19,5
3,06	0,65	0,85	19,6
3,47	0,62	0,81	19,6
4,01	0,59	0,77	19,7

3.2. Equações e curvas

Utilizando a Tabela 3.1 confeccionamos um gráfico para cada anemômetro, relacionando a velocidade [m/s] e a tensão [V]. As curvas obtidas e os polinômios gerados pelos anemômetros interno e externo estão, respectivamente, nos Gráficos 3.1 e 3.2.

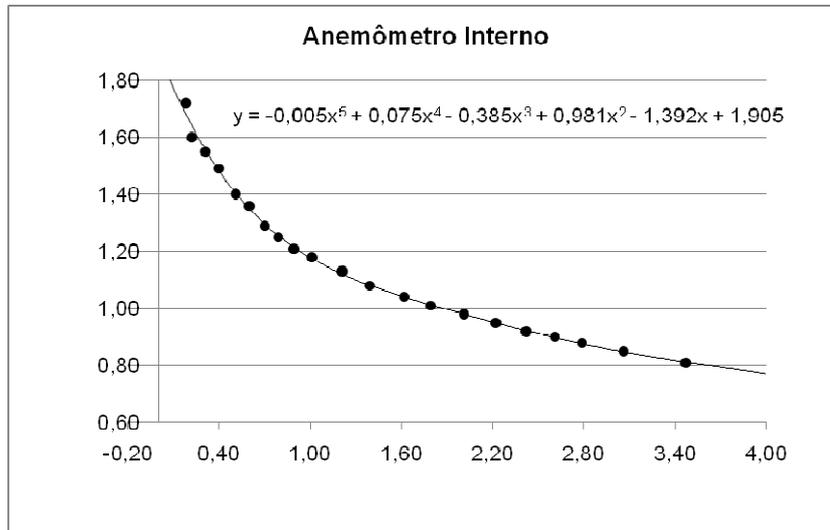


Gráfico 3.1 – Curva e polinômio do anemômetro interno.

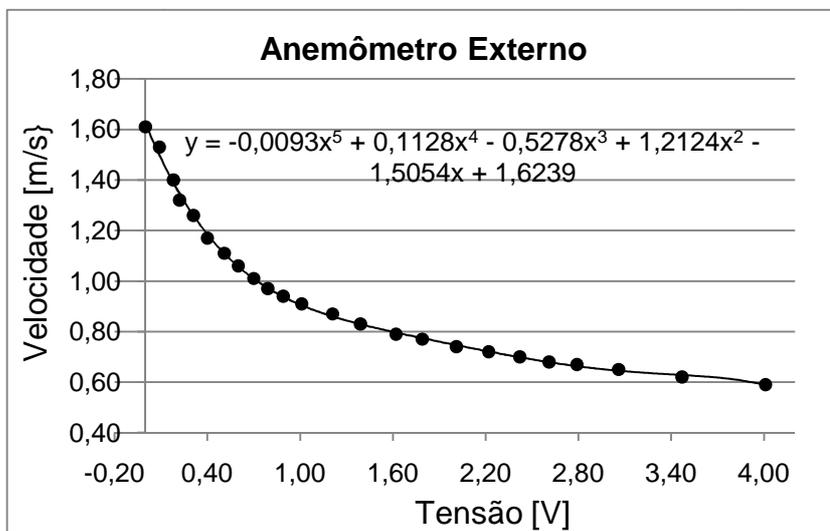


Gráfico 3.2 – Curva e polinômio do anemômetro externo.

4. AMOSTRAS DE TESTE

Como amostras de teste foram utilizadas vidros e proteções solares.

4.1. Vidros

Os vidros utilizados nas amostras são fabricados pela empresa Cebrace Cristal Plano Ltda, maior produtora de vidro float da América do Sul. Foram utilizados vidros das linhas Cristal Float e Laminado Refletivo Cool-lite.

Cristal Float é um vidro plano transparente, sem distorções ópticas, com espessura uniforme e massa homogênea. No projeto foram utilizados dois tipos desta linha: incolor 6mm e verde 6mm.

O vidro da linha Laminado Refletivo Cool-lite caracteriza-se por ser composto por duas chapas de vidro, uma de refletivo e outra de float, intercaladas com uma película plástica de grande resistência (PVB). A amostra usada no teste foi o Cool-lite prata de 8mm (4mm + 4mm).

Todas as chapas de vidro - 1490mm x 1190mm na cavidade principal; 500mm x 500mm na cavidade secundária - foram instaladas no calorímetro na mesma posição, como mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1 – Amostra de teste instalada no calorímetro

4.1.1. Vidro Cristal Float incolor 6mm

Assim como o vidro anterior, o vidro 6mm é incolor e se diferencia pela. Suas propriedades ópticas são apresentadas na Tabela 4.2 uma amostra da peça utilizada pode ser observada nas Figuras 4.4 e 4.5.



Figura 4.4 – Amostra (incolor 6mm)



Figura 4.5 – Transparência

Tabela 4.2 – Propriedades ópticas do vidro incolor de 6mm. (CARAM, 2002)

Material	Ângulo	Propriedades ópticas totais (300 - 2000nm)		
		Absorção	Reflexão	Transmissão
Vidro incolor 6mm	0	9	10	81
	10	9	10	81
	20	9	10	81
	30	9	11	80
	40	10	12	78
	50	11	14	75
	60	11	18	71
	70	10	30	60
	80	11	53	36

4.1.2. Vidro Cristal Float verde 6mm

Diferentemente das amostras anteriores, este vidro possui cor verde, alterando suas propriedades conforme Tabela 4.3 e Figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 – Amostra (verde 6mm)



Figura 4.7 – Transparência

Tabela 4.3 – Propriedades ópticas do vidro verde de 6mm. (CARAM, 2002)

Material	Ângulo	Propriedades ópticas totais (300 - 2000nm)		
		Absorção	Reflexão	Transmissão
Vidro incolor 6mm	0	9	10	81
	10	9	10	81
	20	9	10	81
	30	9	11	80
	40	10	12	78
	50	11	14	75
	60	11	18	71
	70	10	30	60
	80	11	53	36

4.1.3. Vidro Laminado Refletivo Cool-lite prata 8mm (4mm + 4mm)

A última amostra foi um vidro do tipo laminado 8mm indicado nas Figuras 4.8 e 4.9. Suas propriedades estão na Tabela 4.4.



Figura 4.8 – Amostra (prata 8mm)



Figura 4.9 – Transparência

Tabela 4.4 – Propriedades ópticas do vidro prata de 8mm. (CARAM, 2002)

Material	Ângulo	Propriedades ópticas totais (300 - 2000nm)		
		Absorção	Reflexão	Transmissão
Vidro prata 8mm	0	53	28	19
	10	53	28	19
	20	54	28	18
	30	54	28	18
	40	54	29	17
	50	54	30	16
	60	53	32	15
	70	48	39	13
	80	35	56	9

4.2 Proteções solares

As proteções solares garantem o controle dos ganhos de calor provenientes de fachadas e coberturas, iluminação natural difusa e mais eficiente, e controle do nível de ofuscamento nos planos de trabalho.

O vidro utilizado nessas medições foi o Cristal Float incolor de 3mm e as proteções utilizadas no projeto foram persianas horizontais internas nas cores branca e preta, rolô interno em tecido branco e brise externo metálico branco. Exemplos de suas aplicações em edificações podem ser vistas nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12, respectivamente.

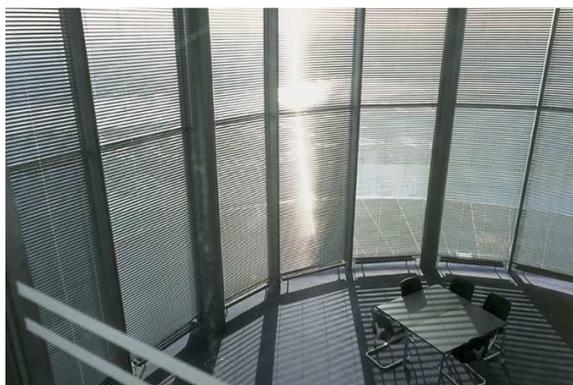


Figura 4.10 – Persianas horizontais internas (Fonte: HunterDouglas®)



Figura 4.11 – Rolô interno (Fonte: HunterDouglas®)



Figura 4.12 – Brise externo (Fonte: HunterDouglas®)

4.2.1. Persiana horizontal interna branca

A persiana horizontal de alumínio branca tem lâminas de 16mm de largura e foi regulada para atuar com ângulo de fechamento igual a 45° (Figura 4.13). A proteção instalada internamente na cavidade principal do calorímetro é vista na Figura 4.14. As dimensões da proteção são detalhadas no esquema da Figura 4.15, onde duas lâminas da persiana são representadas.



Figura 4.13 – Detalhe da branca persiana em 45°.



Figura 4.14 – Persiana branca instalada

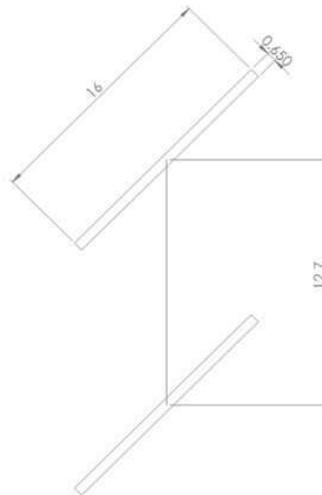


Figura 4.15 – Esquema de duas lâminas da persiana

4.2.2. Persiana horizontal interna preta

A persiana horizontal de cor preta também é de alumínio com lâmina de 16mm de largura e foi instalada internamente na cavidade principal. Na Figura 4.16 vemos o detalhe da proteção e na Figura 4.17 é visualizada a persiana na cavidade fechada. Nesta proteção a disposição das lâminas é o mesmo da anterior, descrita na Figura 4.15.

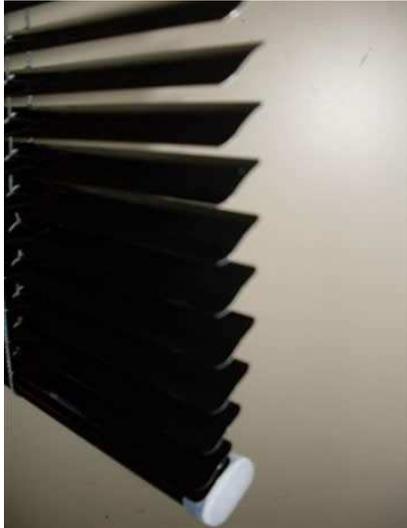


Figura 5.16 – Detalhe da persiana preta em 45°



Figura 5.17 – Persiana preta instalada

4.2.3. Rolô interno

A cortina rolô utilizada no experimento é da fabricante Luxaflex e é denominada de Rolô Light Screen White LSN – 088. Sua textura é detalhada na Figura 4.18 e na Figura 4.19 vemos como ficou a proteção solar instalada no calorímetro.



Figura 4.18 – Textura do rolô



Figura 4.19 – Rolô instalado

4.2.4. Brise horizontal externo

A última proteção aplicada foi o brise horizontal externo, denominado Metalbrise branco. Na Figura 4.20 vemos como foi feito o suporte para a fixação do brise, em seguida, na Figura 4.21 o brise já instalado. As lâminas da proteção foram reguladas em 45° – Figura 4.22 – e, com maiores detalhes, vemos a representação de uma lâmina isolada nas Figuras 4.23 e 4.24.



Figura 4.20 – Suporte para fixação do brise



Figura 4.21 – Brise instalado no calorímetro



Figura 4.22 – Detalhe do brise em 45°

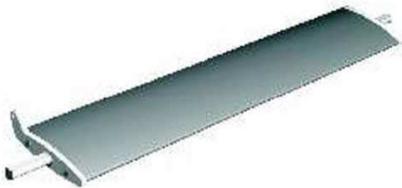


Figura 4.23 – Lâmina do brise isolada

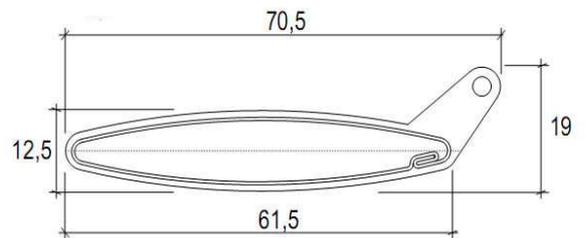


Figura 4.24 – Dimensões da lâmina

5. METODOLOGIA E RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

5.1. Medição do FS dos vidros

Após a fase de calibração que foi finalizada em julho de 2009 utilizando o vidro Cristal Float incolor 3mm, outros três tipos de vidros foram instalados para determinação do FS. Nesta determinação foi aplicada a nova metodologia para verificar o FS e também utilizada uma nova condição de controle para a temperatura das cavidades do calorímetro, conforme proposta por Marinoski (2010). Estes vidros foram:

- Vidro Cristal Float verde 6mm;
- Vidro Laminado Refletivo Cool-lite prata 8mm (4+4mm);
- Vidro Cristal Float incolor 6mm.

Destaca-se inicialmente aqui, a dificuldade da realização de medições em campo, pois estas estão muitas vezes sujeitas às variações ambientais desfavoráveis aos testes, como por exemplo, no caso de medições do FS, a presença de pequenas porções de nebulosidade mesmo em dias de “céu claro”. A influência deste fator pode ser observada nos gráficos de FS que são apresentados a seguir, onde existem algumas descontinuidades na seqüência dos valores do fator solar medido. Além disso, quedas acidentais no funcionamento do sistema de aquisição e controle também prejudicaram algumas leituras.

Apesar disso, os testes com os três tipos de vidros puderam ser realizados em condições que permitiram um tempo mínimo de medição de 30min. O período de estabilização das cavidades que antecede o tempo efetivo de medição também variou de teste para teste, mas em nenhum caso foi inferior a 50 minutos.

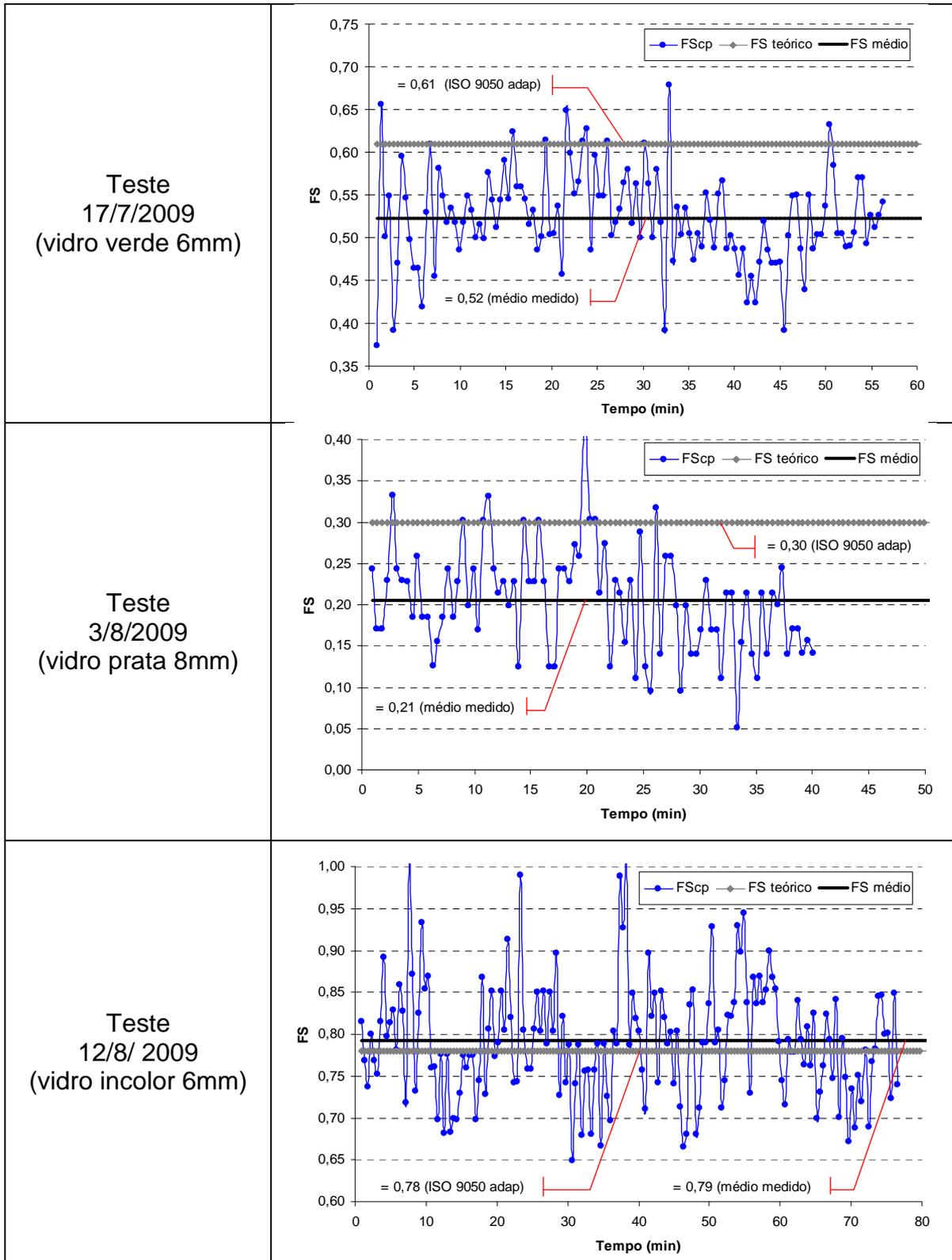
Todas as medições foram realizadas no intervalo de tempo entre às 11h da manhã e às 14h da tarde, durante diferentes dias dos meses de julho e agosto. A amplitude do ângulo de incidência da radiação solar atingida em todas as medições neste período ficou dentro do intervalo de 40° e 50°.

Foi aplicada a estes testes a mesma instrumentação e os mesmos procedimentos de controle empregados na fase final de calibração do calorímetro..

Com isso, os gráficos do Quadro 5.1 e

Quadro 5.2 apresentam, a seguir, os resultados das medições realizadas com as amostras de vidro: verde 6mm; prata 8mm; e incolor 6mm, na CP e na CS, respectivamente. Ao final da série de medições de cada amostra é apresentado um resumo (Tabela 5.1) com os valores médios do FS medido e as condições gerais de cada teste.

Quadro 5.1: Resultados de FS medido na CP



Quadro 5.2: Resultados de FS medido na CS

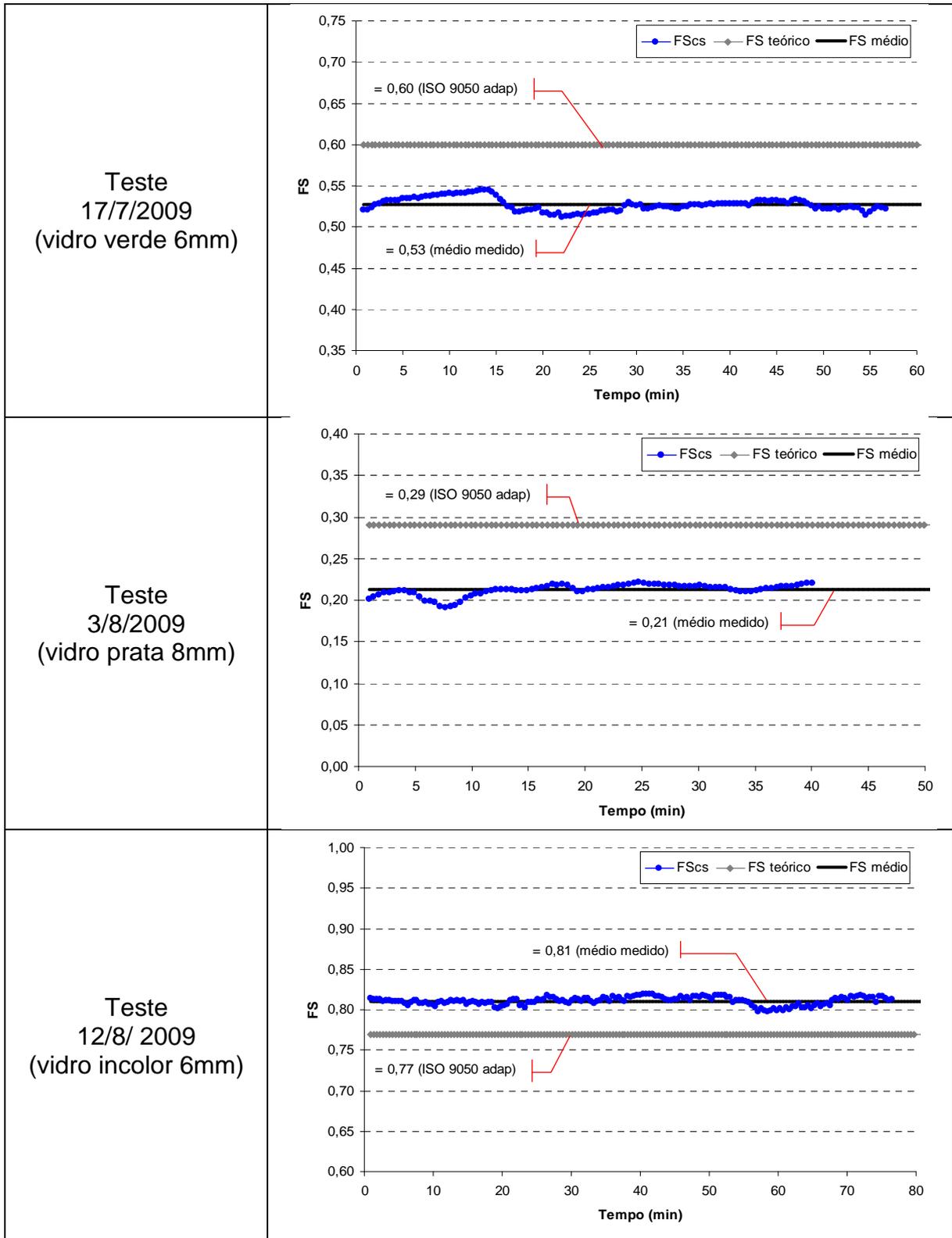


Tabela 5.1: Resumo das medições com vidros

Cavidade Principal														
Amostra	TESTE	FS médio ± DesvPad	FS teórico (ISO 9050 adap)	T (Tc-Tve) (°C)	Tc (°C)	Tar int (°C)	Tve (°C)	Tar ext (°C)	h int (W/m²K)	h ext (W/m²K)	Var ext (m/s)	Rad média (W/m²)	Âng Inc (°)	Tempo med (min)
Vidro verde 6mm	17/7/2009	0,52±0,05	0,61	-6,5	38,1	42,9	44,6	25,8	5,8	15,3	2,6	699	41°- 43°	56
Vidro prata 8mm	3/8/2009	0,21±0,06	0,30	-7,8	35,1	39,9	42,9	22,2	5,9	18,2	-	749	45°- 46°	38
Vidro incolor 6mm	12/8/2009	0,79±0,07	0,78	-3,4	28,3	31,7	31,7	22,3	5,6	16,3	-	713	47°- 50°	75
Cavidade Secundária														
Amostra	TESTE	FS médio ± DesvPad	FS teórico (ISO 9050 adap)	T (Tc-Tve) (°C)	Tc (°C)	Tar int (°C)	Tve (°C)	Tar ext (°C)	h int (W/m²K)	h ext (W/m²K)	Var ext (m/s)	Rad média (W/m²)	Âng Inc (°)	Tempo med (min)
Vidro verde 6mm	17/7/2009	0,53±0,01	0,60	-0,9	46,7	51,2	47,8	25,8	5,0	15,3	2,6	699	41°- 43°	56
Vidro prata 8mm	3/8/2009	0,21±0,01	0,29	-2,7	42,0	49,8	44,7	22,2	5,3	18,2	-	749	45°- 46°	38
Vidro incolor 6mm	12/8/2009	0,81±0,01	0,77	-0,1	36,6	39,4	36,7	22,3	4,8	16,3	-	713	47°- 50°	75

5.2. Medição do FS das proteções solares

5.2.1 Proteções solares internas

Em todos os testes com as proteções solares, o vidro incolor 3mm (vidro de referência) foi utilizado sempre como elemento de fechamento transparente associado.

Agora, apenas a cavidade principal (CP) foi empregada para a realização das verificações do FS. Novamente, em nenhuma das amostras foram utilizadas esquadrias, sendo a fixação dos elementos realizada diretamente no marco de madeira que delimita a abertura da cavidade principal.

Nesta nova série de testes, todas as medições foram realizadas no intervalo de tempo entre as 10h30min da manhã e as 14h da tarde, durante dias da segunda quinzena do mês de agosto e início de setembro de 2009. A amplitude do ângulo de incidência da radiação solar coberta nas medições neste período ficou entre 50° e 60°. Já o tempo mínimo de medição para os testes com as três proteções internas foi de 45min, sendo que o período mínimo de estabilização observado para a cavidade principal antes do tempo efetivo de medição foi de 40min.

Nestas medições também foi utilizada a mesma instrumentação e os mesmos procedimentos de controle empregados na fase final de calibração do calorímetro. No entanto, visto que a cavidade está sombreada e o fluxo de calor agora é inferior ao fluxo existente quando apenas o vidro é utilizado, então o ΔT cavidade-vidro foi mantido em torno de -10°C, para que o calorímetro estivesse em melhores condições de quantificar o ganho devido ao aquecimento do vidro e da proteção solar.

Como valor de referência para comparação com os resultados experimentais, o FS teórico foi estimado com base na ASHRAE (2005), onde no caso de proteções solares internas uma aproximação pode ser obtida de modo simplificado pela multiplicação do FS do vidro pelo IAC (Interior Solar Attenuation Coefficient) da proteção solar. Assim, o FS teórico para cada tipo de proteção foi obtido assumindo o FS do vidro incolor 3mm (para ângulo de incidência de 55°) igual a 0,78, e os seguintes valores de IAC (ASHRAE, 2005):

- 0,68 para persiana clara a 45° (Ref.: Table 19);
- 0,75 para persiana escura a 45° (Ref.: Table 19);
- 0,40 para cortina com tecido branco (Ref.: Table 19).

A seguir, os gráficos do Quadro 5.2 apresenta os resultados das medições realizadas com as três amostras de proteções solares associadas ao vidro incolor 3mm. Ao final da série de medições, é apresentado um resumo (Tabela 5.2) com os valores médios do FS medido e as condições gerais de cada teste.

Quadro 5.2. Resultados de FS medido na CP

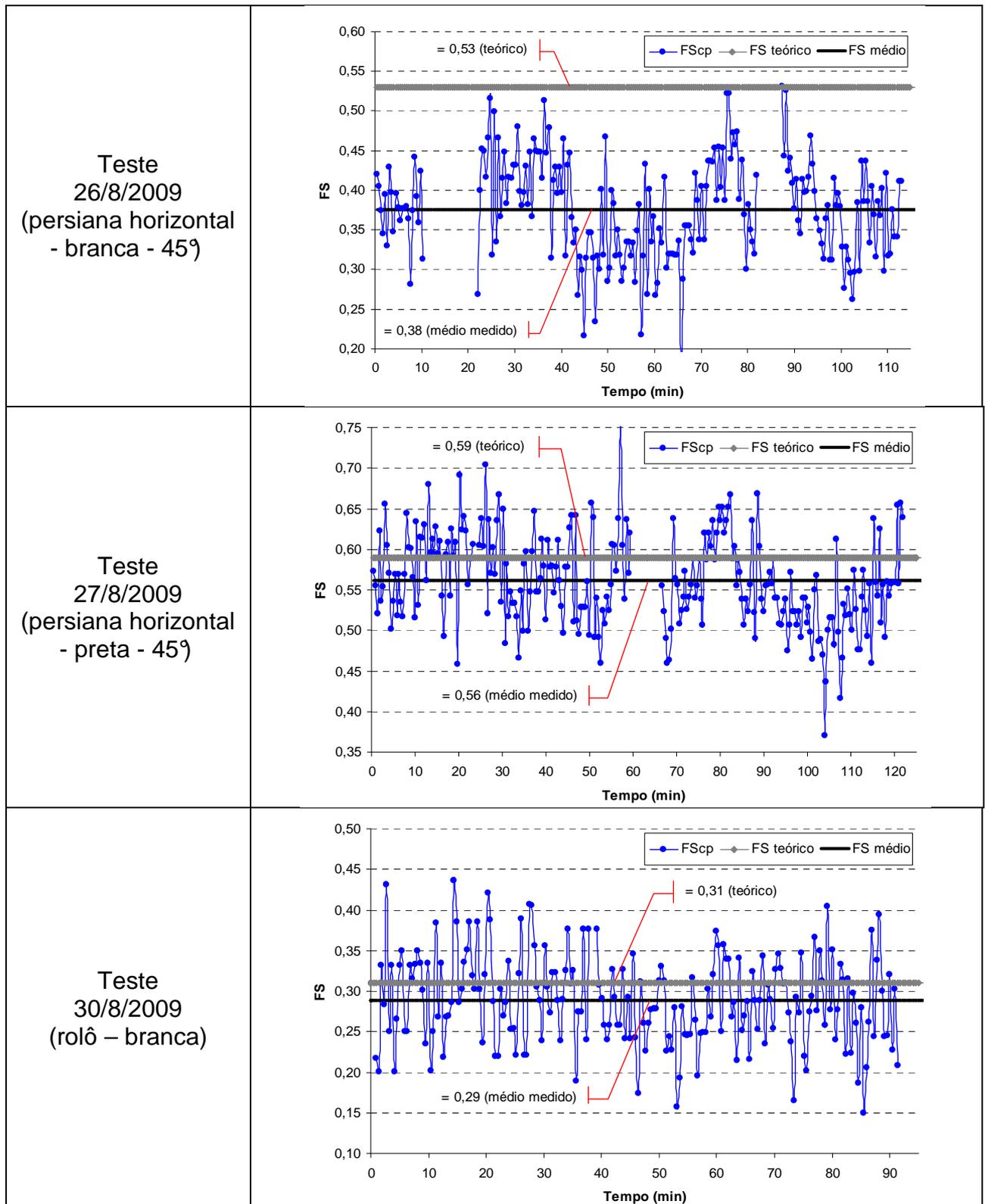


Tabela 5.2. Resumo das medições com as proteções solares internas

Cavidade Principal														
Amostra	TESTE	FS médio ± DesvPad	FS teórico	T (Tc-Tve) (°C)	Tc (°C)	Tar int (°C)	Tve (°C)	Tar ext (°C)	h int (W/m ² K)	h ext (W/m ² K)	Var ext (m/s)	Rad media (W/m ²)	Âng Inc (°)	Tempo med (min)
Persiana branca 45°	26/8/2009	0,38±0,06	0,53	-10,4	31,7	39,5	42,1	24,8	6,0	15,4	2,1	662	52°- 57°	113
Persiana preta 45°	27/8/2009	0,56±0,06	0,59	-10,0	32,6	49,4	42,6	26,0	6,0	16,9	2,5	673	52°- 55°	121
Rolô branco	30/8/2009	0,29±0,05	0,31	-10,0	32,3	36,2	42,3	27,4	6,0	17,7	3,7	636	55°- 60°	90

5.2.2 Proteções solares externas

Todas as medições realizadas com o brise ocorrem no intervalo entre as 10h30min da manhã e as 14h da tarde, durante dois dias da segunda quinzena do mês de outubro e um dia da primeira semana de novembro. Em Florianópolis, nesta época do ano, a altura solar já é elevada, por isso a amplitude do ângulo de incidência da radiação solar coberta nas medições ficou entre 70° e 80°. Em consequência disso, os níveis de radiação sobre o plano de medição foram baixos, mantendo-se aproximadamente entre 300W/m² e 400W/m². O tempo mínimo de medição para os testes foi de 30 minutos, sendo o período inicial mínimo observado para a estabilização da cavidade principal também de 30min. Já o T cavidade-vidro aplicado durante os testes variou na faixa entre -1°C e -8°C.

Nestas condições de medição, e ainda tendo em vista que o vidro está totalmente sombreado (recebendo apenas porções de radiação solar difusa mais a radiação refletida pelo brise), o ganho de calor esperado é bastante reduzido. Nas medições utilizando a CP, este ganho de calor reduzido gera uma dificuldade de medição, visto que o resultado do FS será dependente da variação da temperatura da água que circula na cavidade. Quando esta variação na temperatura da água é muito pequena, as incertezas do processo de medição passam a ser bastante significativas em relação ao resultado do FS. Como já discutido nos capítulos anteriores, algumas destas incertezas estão vinculadas ao funcionamento do banho térmico, em função das perturbações que o controle da temperatura da água ocasiona. Por isso, os testes com o brise foram classificados em duas condições de medição: uma com o banho térmico desligado (“off”) e outra com o banho ligado (“on”). Na condição de banho “off”, a água continua circulando pelo sistema, mas sem controle de temperatura.

Como valor de referência para comparação com os resultados experimentais, o FS teórico foi estimado com base nas considerações da ASHRAE (2005). No caso dos brises, uma simplificação para estimar o FS pode ser obtida na forma da equação [5.1]:

$$FS_{brise} = T_{brise} \cdot SHGC(D) \quad [5.1]$$

Aqui, T_{brise} representa a parcela de radiação solar que passa através do brise de forma difusa, e $SHGC(D)$ é o FS do vidro para radiação difusa. O $SHGC(D)$ é calculado pela equação [5.2]:

$$SHGC(D) = T_{difuso} + Nk \cdot A_{difuso} \quad [5.2]$$

Onde, T_{difuso} e A_{difuso} , são respectivamente a transmissão e absorção do vidro para a radiação solar difusa. E Nk é a parcela da fração absorvida que é reemitida para o interior do ambiente. Então, para estimar o FS_{brise} neste caso, aos seguintes valores foram adotados (ASHRAE, 2005):

- $T_{difuso} = 0,75$ (Ref.: Table 13, ID 1a - 3mm CLR)
- $A_{difuso} = 0,10$ (Ref.: Table 13, ID 1a - 3mm CLR)
- $Nk = 0,46$ (Ref.: Table 17, single glazing with exterior venetian blind 45°)

- $T_{\text{brise}} = 0,11$ (Ref.: Table 18, group 2, $>40^\circ$)

Por fim, o valor calculado do FS teórico utilizado como padrão de comparação nos testes com o brise é igual a 0,09 (absoluto).

A seguir, os gráficos do Quadro 5.3 apresenta os resultados das medições realizadas com a proteção solar externa. Ao final da série de medições, é apresentado um resumo (Tabela 5.3) com os valores médios do FS medido e as condições gerais de cada teste.

Quadro 5.3. Resultados de FS medido na CP

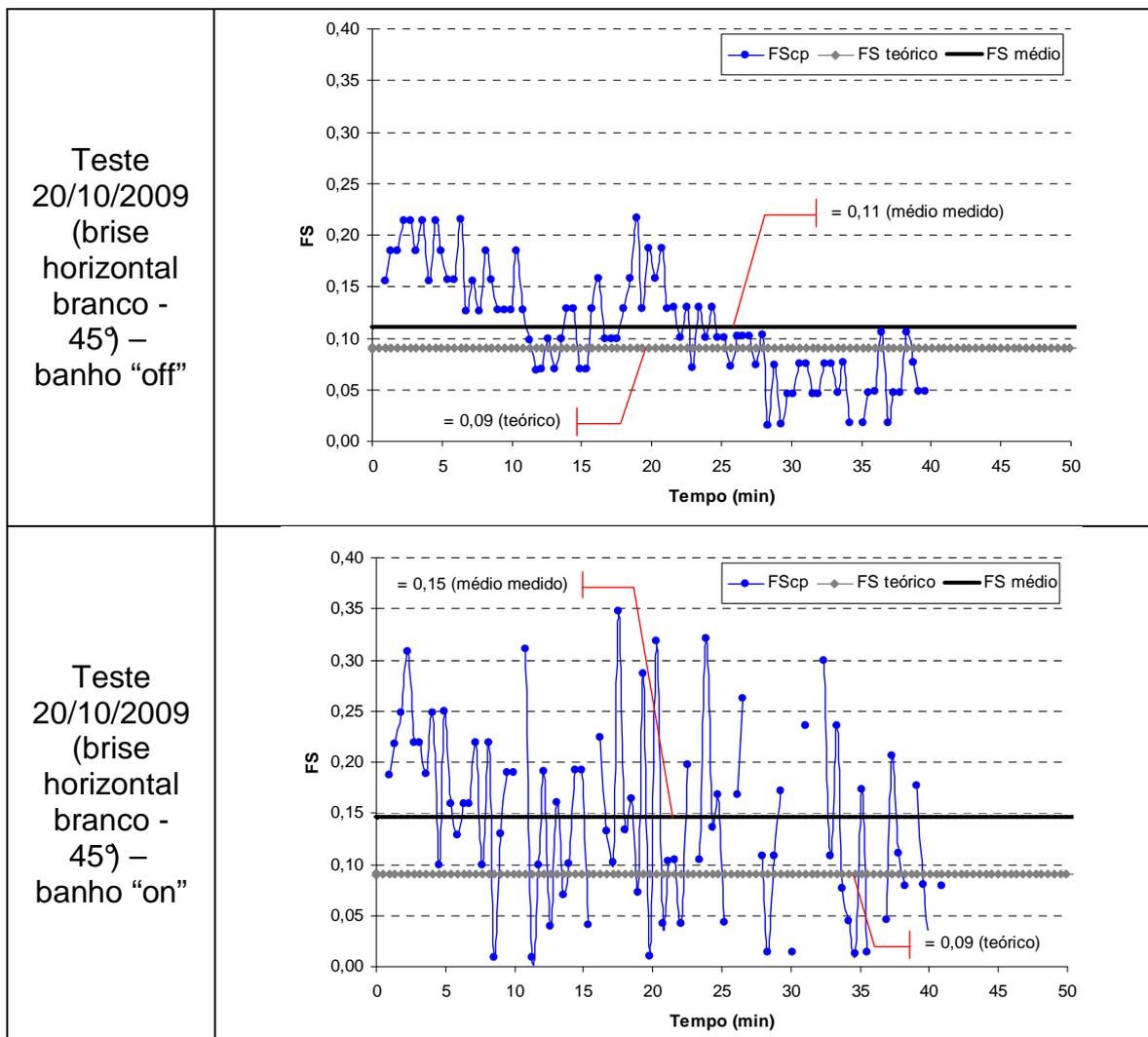


Tabela 5.3. Resumo das medições com as proteções **solares externas**

Cavidade Principal														
Amostra	TESTE	FS médio ± DesvPad	FS teórico	ΔT (Tc-Tve) (°C)	Tc (°C)	Tar int (°C)	Tve (°C)	Tar ext (°C)	h int (W/m²K)	h ext (W/m²K)	Var ext (m/s)	Rad media (W/m²)	Âng Inc (°)	Tempo med (min)
Brise horizontal branco 45°	20/10/2009 (banho off)	0,11±0,05	0,09	-7,0	18,7	22,2	25,7	26,4	5,8	19,7	3,8	380	73°-74°	38
	20/10/2009 (banho on)	0,15±0,09	0,09	-7,1	18,0	21,7	25,1	25,4	5,9	18,2	3,9	358	75°-76°	40

6. CONCLUSÕES

Durante o período de atividades foram realizadas medições utilizando o calorímetro, envolvendo a instalação de diferentes amostras de vidros e proteções solares. Foram necessárias recalibrações em sensores e houve uma constante atualização na maneira de proceder as medições. Fato acarretado pelas dificuldades encontradas na aplicação do dispositivo, seja por variáveis ambientais, como a nebulosidade, ou por condições geográficas, por exemplo, escolha dos horários com melhor incidência solar.

Em relação aos resultados medidos, houve uma diferença de precisão nos valores do Fator Solar obtidos através das duas cavidades de teste, explicado pelos diferentes métodos de medição empregados (calorimétrico e fluximétrico) aliado a circunstâncias ambientais já mencionadas. Na cavidade principal o desvio padrão ficou na faixa de 0,05-0,09, enquanto que para os testes dos vidros na cavidade secundária o desvio foi de no máximo 0,01.

Sobre as amostras de vidros testadas, destaca-se o melhor desempenho do vidro prata 8mm no que diz respeito a evitar ganhos de calor, com um fator solar em torno de 0,21. Já no caso das proteções solares internas o melhor resultado obtido foi com o uso do rolô branco, com fator solar de 0,29. Para o brise horizontal externo o resultado médio do fator solar encontrado ficou na faixa de 0,11 a 0,15.

Particularmente no que diz respeito ao crescimento intelectual do aluno, o projeto atendeu os anseios de uma iniciação científica. Para compreender o processo, foi preciso uma revisão bibliográfica, bem como um melhor conhecimento das propriedades e tipos de materiais empregados no segmento de aberturas e elementos de sombreamento. Isso foi importante para entender todo o processo de concepção do calorímetro, o porquê de sua escolha e compreender a função de cada tipo de amostra e proteção solar. A oportunidade de ter contato com um segmento até então pouco explorado no ambiente acadêmico, estimula o aprofundamento no tema e facilita o entendimento futuro de tópicos relacionados.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, G.; PALACIOS, M. J.; FLORES, J. J. **A test method to evaluate the thermal performance of window glazings.** Applied Thermal Engineering, V. 20 (2000), p. 803-812.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Fundamentals Handbook 2005.** Capítulo 31 – Fenestration. Atlanta, GA, USA, 2005.

CARAM, R.M. **Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética.** 2002. Texto de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

GUEYMARD, C. A.; DUPONT, W. C. **Spectral effects on the transmittance, solar heat gain, and performance rating of glazing systems.** Solar Energy, V. 83 (2009), p. 940-953.

MARINOSKI, D. L. **Desenvolvimento de um calorímetro para determinação do fator solar de vidros e janelas.** 2010. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; LAMBERTS, R.; ARMELIN, J.L.; OLIVEIRA, S.M. **Desenvolvimento de um calorímetro para verificação do Fator Solar de vidros e janelas.** 2009. V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Belém, PA, Brasil.

MARINOSKI, D. L.; GÜTHS, S.; PEREIRA, F. O .R.; LAMBERTS, R. **Improvement of a measurement system for solar heat gain through fenestrations.** Energy and Buildings, V. 39 (2007), p. 478-487.

NICOLAU, V. P.; GÜTHS, S. **Instrumentação em ciências térmicas.** 1998. Apostila – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

SARDEIRO, P. S.; CARAM, R. M. **Caracterização ótica de policarbonatos visando o conforto térmico da edificação.** 2009. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, RN, Brasil.