



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

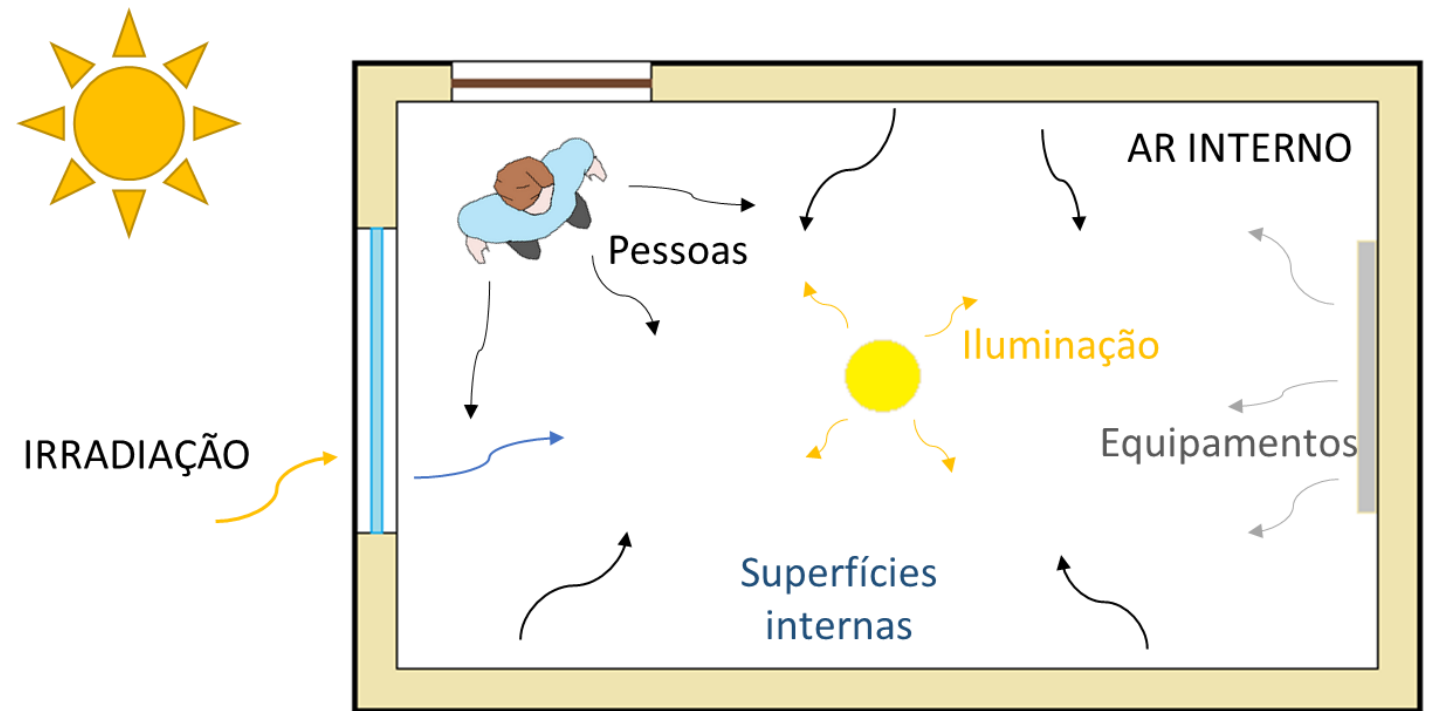
Balanço Térmico

Conceito e método de análise pelo EnergyPlus

Letícia Gabriela Eli, MSc Eng. Civil

○ Balanço Térmico

○ *desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.*

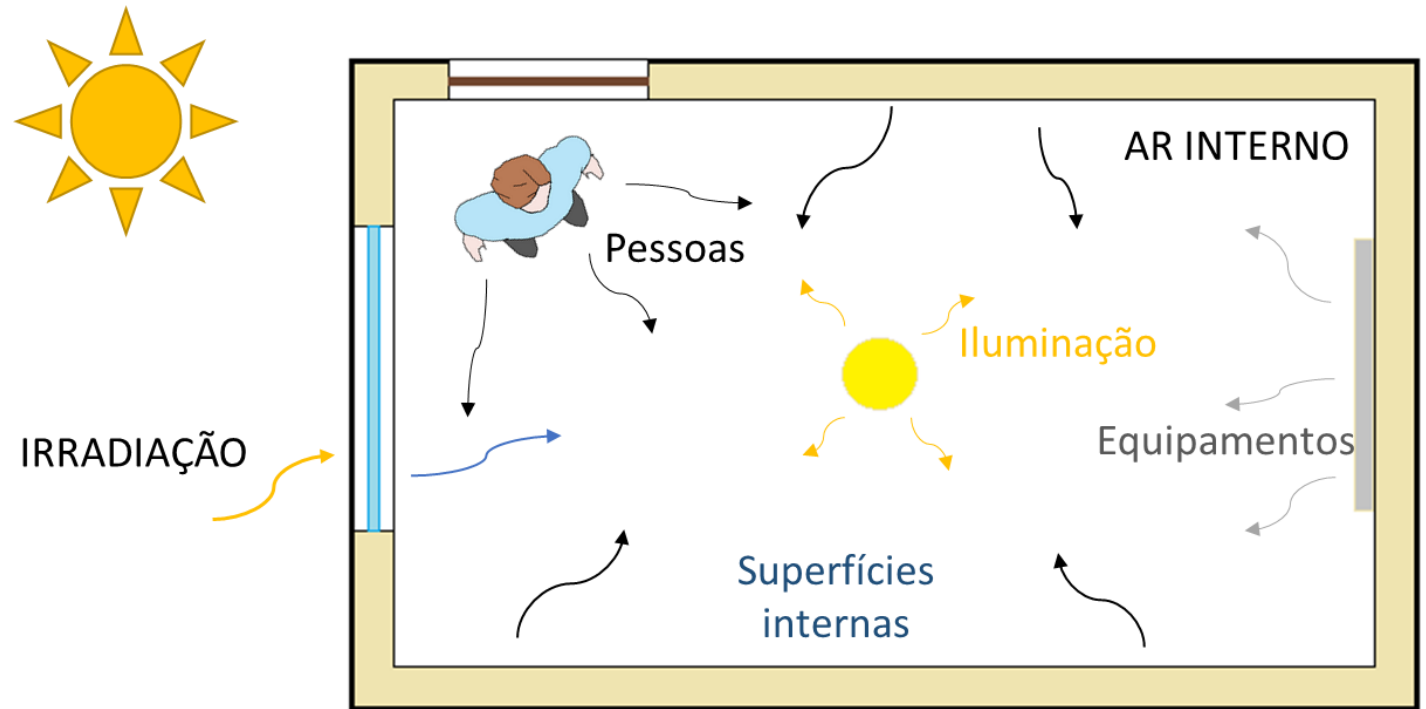


○ Balanço Térmico

○ *desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.*

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.

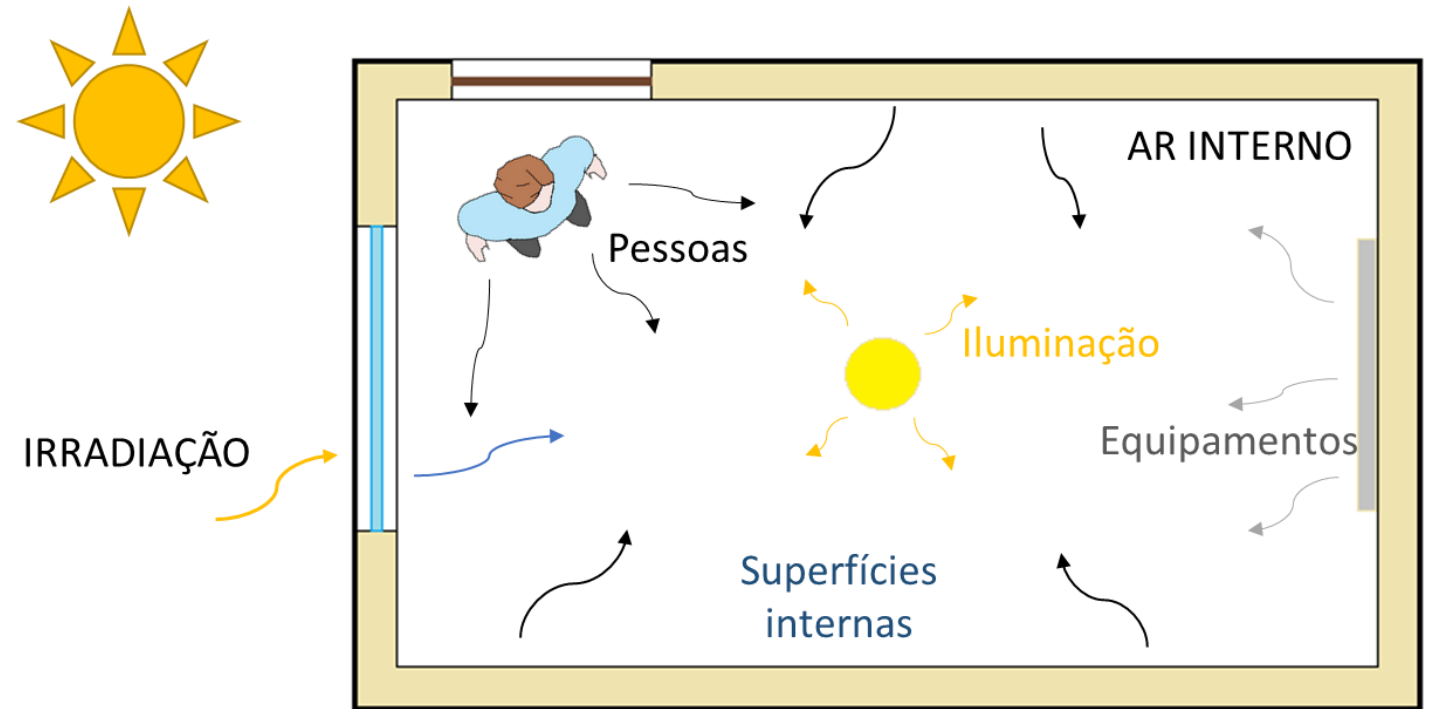


○ Balanço Térmico

○ *desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.*

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.
2. **Condução:** troca de calor que ocorre nos sólidos.

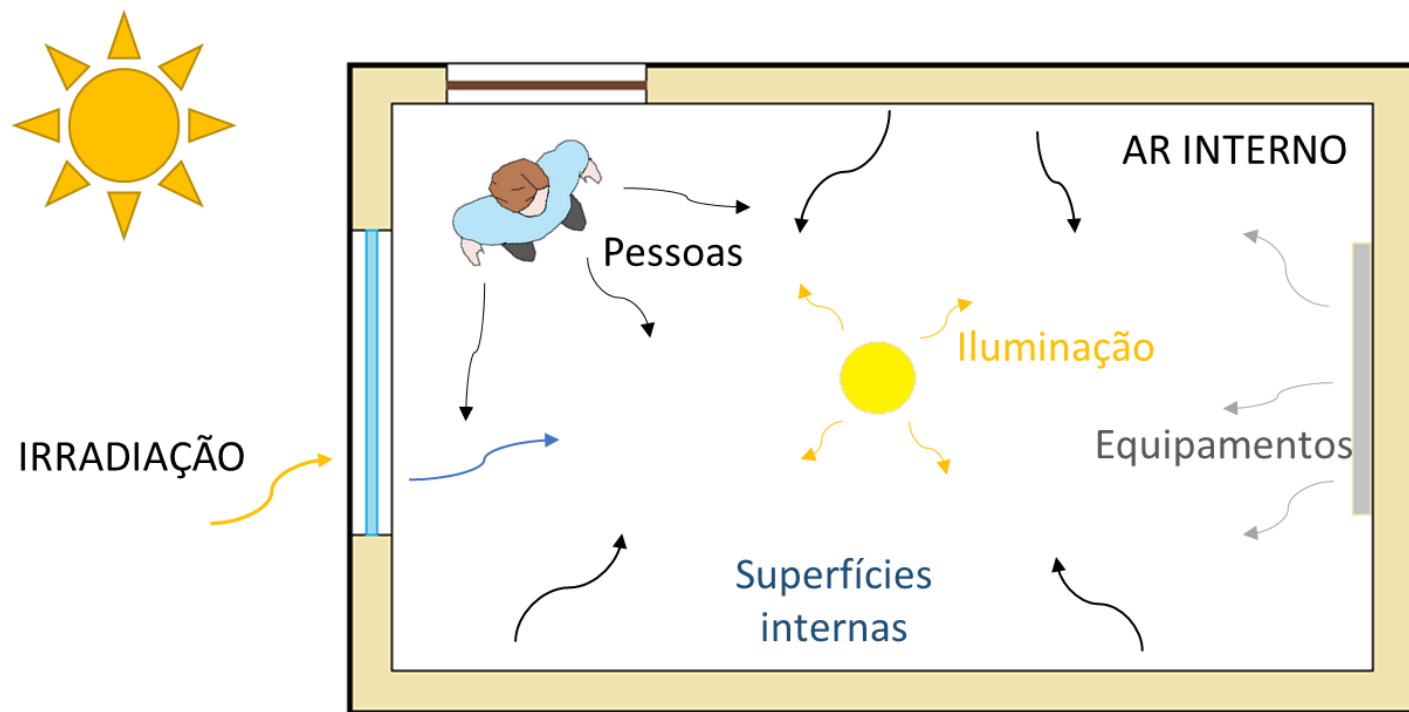


○ Balanço Térmico

○ *desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.*

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.
2. **Condução:** troca de calor que ocorre nos sólidos.
3. **Radiação:** troca de calor que ocorre entre superfícies.

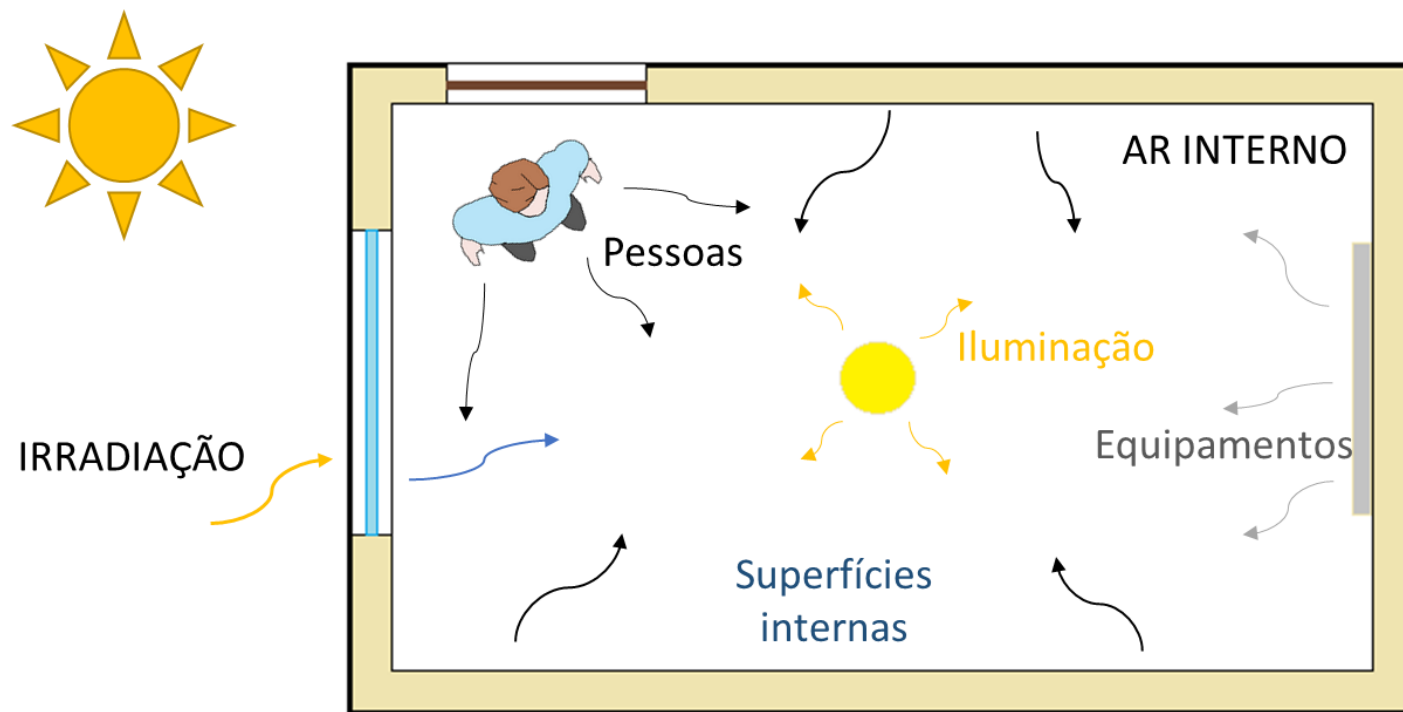


○ Balanço Térmico

○ desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.
2. **Condução:** troca de calor que ocorre nos sólidos.
3. **Radiação:** troca de calor que ocorre entre superfícies.

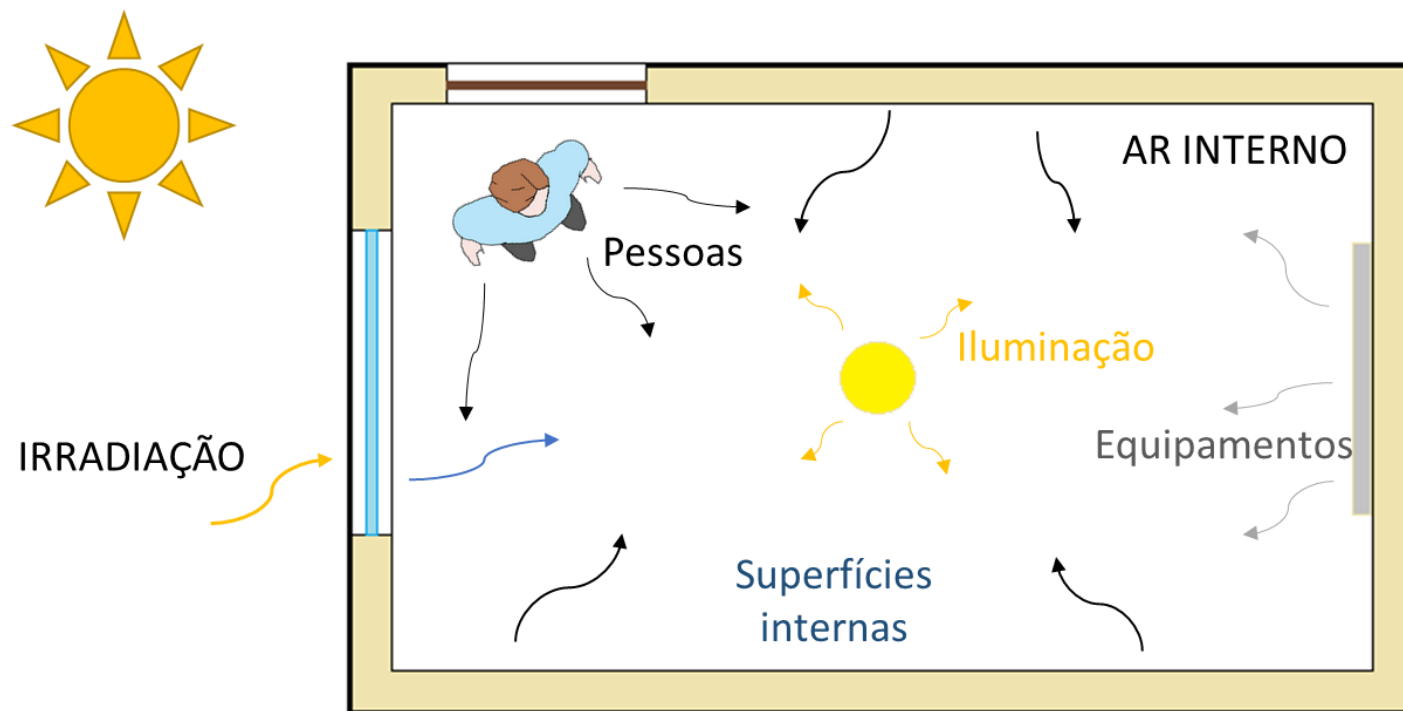


○ Balanço Térmico

○ desempenho térmico de uma edificação é resultado das trocas de calor que ocorrem nos seus ambientes.

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.
2. **Condução:** troca de calor que ocorre nos sólidos.
3. **Radiação:** troca de calor que ocorre entre superfícies.



○ Balanço Térmico

Fonte:
EnergyPlus Engineering Reference

Formas de troca de calor:

1. **Convecção:** troca de calor que ocorre no ar da zona térmica.
2. **Condução:** troca de calor que ocorre nos sólidos.
3. **Radiação:** troca de calor que ocorre entre superfícies.

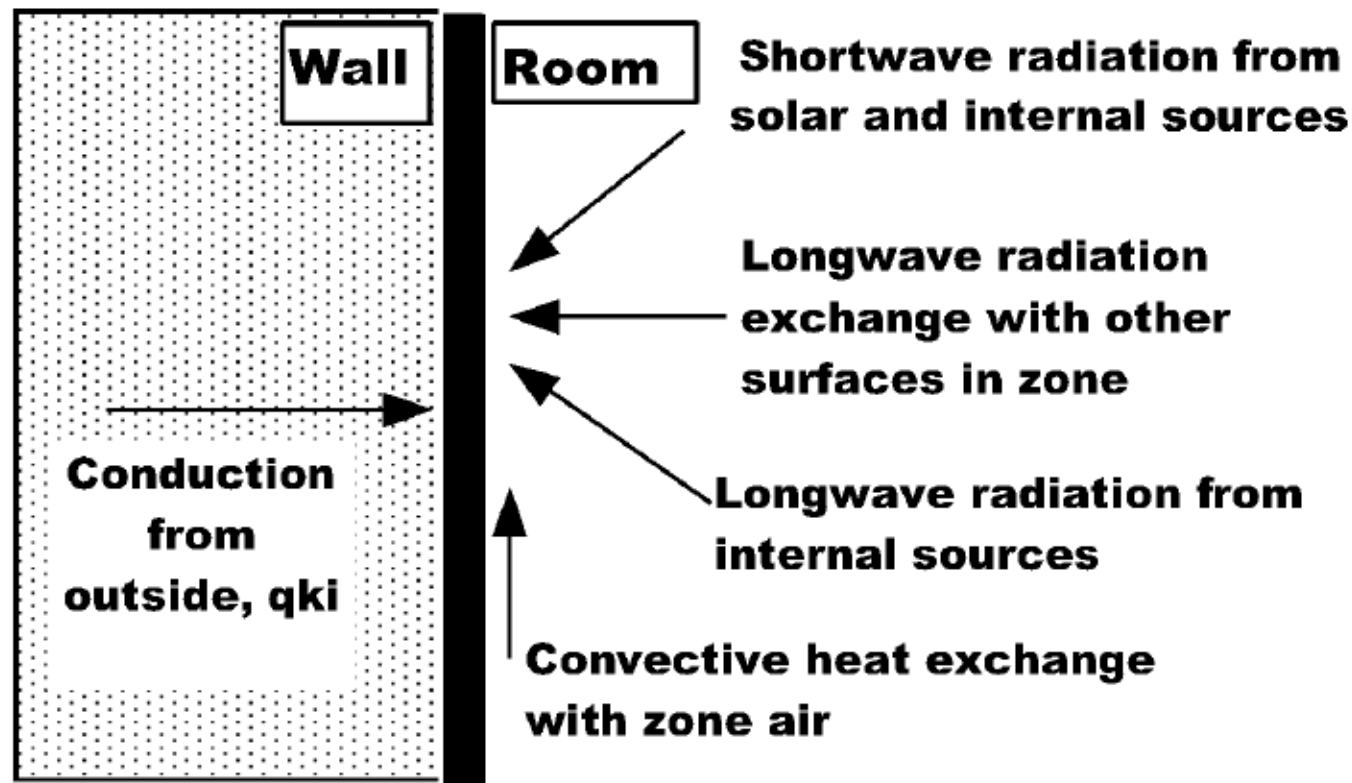
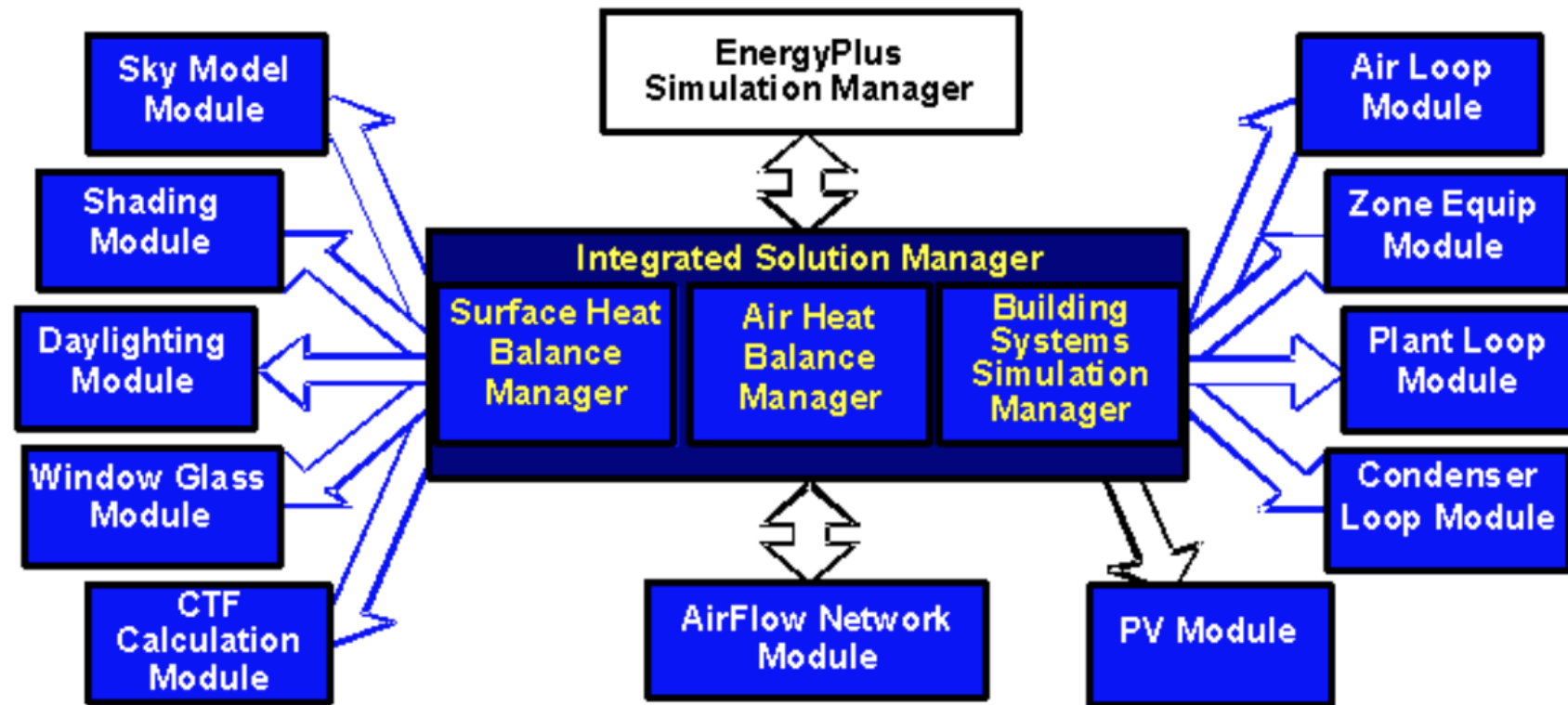


Figure 3.11: Inside Heat Balance Control Volume Diagram

Rotinas de Cálculo do EnergyPlus



Fonte:
EnergyPlus Engineering Reference

Figure 1.1: EnergyPlus Program Schematic

Balanco Térmico no Ar

Análise do balanço térmico no ar do ambiente

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- **Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].**
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- **CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].**
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + \textcircled{VN_G} + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- **VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].**
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - \{VN_P\} + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- **VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].**
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- **CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].**
- CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$BT = |Env + CI + VN_G + CgTA| - |VN_P + CgTR|$$

- Env = Ganho ou perda de calor de cada superfície da envoltória [J].
- CI = Ganho de calor pelas cargas internas – posso dividir em pessoas, iluminação e equipamentos [J].
- VN_G = Ganho de calor pela ventilação natural [J].
- VN_P = Perda de calor pela ventilação natural [J].
- CgTR = Carga térmica retirada do ambiente pelo condicionamento de ar [J].
- **CgTA = Carga térmica adicionada no ambiente pelo condicionamento de ar [J].**

A Análise

Analisar esse balanço ajuda a responder questões como:

- A ventilação natural é suficiente para reduzir a temperatura do ambiente?
- Quais superfícies adicionam calor no ambiente?
- Por quais superfícies o ambiente está perdendo calor?
- O calor gerado pelas cargas internas é maior do que o que a envoltória transmite para o ar?



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Leticia Gabriela Eli

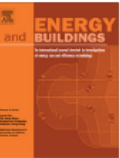
O IMPACTO DO PADRÃO DE USO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES NO BRASIL



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Energy & Buildings

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enb



Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context

L.G. Eli ^{*}, A.F. Krelling, M.S. Olinger, A.P. Melo, R. Lamberts

Laboratory for Energy Efficiency in Buildings, Federal University of Santa Catarina, Brazil



O Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus

	Dado de saída	Nomenclatura	Significado
Env	<i>Surface Inside Face Convection Heat Gain Energy [J]</i>	Superfícies	É o calor que o ambiente ganha ou perde devido à convecção que ocorre em cada superfície da envoltória.
CI	<i>Zone Total Internal Convective Heating Energy [J]</i>	Cargas Internas	São os ganhos de calor por convecção devido às cargas internas (iluminação, equipamentos e pessoas).
VNG	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain Energy [J]</i>	Ganhos por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado ganha devido à ventilação natural.
VNP	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Loss Energy [J]</i>	Perdas por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado perde devido à ventilação natural.
CgTA	<i>Zone Air System Sensible Heating Energy [J]</i>	Aquecimento	É a carga térmica adicionada no ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (18°C).
CgTR	<i>Zone Air System Sensible Cooling Energy [J]</i>	Refrigeração	É a carga térmica retirada do ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (23°C).

Outputs para análise de edificações residenciais, considerando *Ideal Loads* para o cálculo de carga térmica.

O Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus

	Dado de saída	Nomenclatura	Significado
Env	<i>Surface Inside Face Convection Heat Gain Energy [J]</i>	Superfícies	É o calor que o ambiente ganha ou perde devido à convecção que ocorre em cada superfície da envoltória.
CI	<i>Zone Total Internal Convective Heating Energy [J]</i>	Cargas Internas	São os ganhos de calor por convecção devido às cargas internas.
VNG	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain Energy [J]</i>	Ganhos por Ventilação Natural	Ganhos de calor devido à ventilação natural.
VNP	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Loss Energy [J]</i>	Perdas por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado perde devido à ventilação natural.
CgTA	<i>Zone Air System Sensible Heating Energy [J]</i>	Aquecimento	É a carga térmica adicionada no ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (18°C).
CgTR	<i>Zone Air System Sensible Cooling Energy [J]</i>	Refrigeração	É a carga térmica retirada do ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (23°C).

Essas variáveis, Env, VNP e CgTR tenho que considerar negativas no somatório do balanço térmico.

Outputs para análise de edificações residenciais, considerando *Ideal Loads* para o cálculo de carga térmica.

O Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus

	Dado de saída	Nomenclatura	Significado
Env	<i>Surface Inside Face Convection Heat Gain Energy [J]</i>	Superfícies	É o calor que o ambiente ganha ou perde devido à convecção que ocorre em cada superfície da envoltória.
CI	<i>Zone Total Internal Convective Heating Energy [J]</i>	Cargas Internas	São os ganhos de calor por convecção devido às cargas internas (iluminação, equipamentos e pessoas).
VNG	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain Energy [J]</i>	Ganhos por Ventilação Natural	É o calor sensível que o ambiente analisado ganha devido à ventilação natural.
VNP	<i>AFN Zone Infiltration Sensible Heat Loss Energy [J]</i>	Perdas por Ventilação Natural	É a perda de calor sensível que o ambiente analisado perde devido à ventilação natural.
CgTA	<i>Zone Air System Sensible Heating Energy [J]</i>	Aquecimento	É a carga térmica adicionada no ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (18°C).
CgTR	<i>Zone Air System Sensible Cooling Energy [J]</i>	Refrigeração	É a carga térmica retirada do ambiente, para satisfazer o limite de temperatura estipulado no termostato (23°C).

Essas variáveis, CI, VNG e CgTA tenho que considerar positivas no somatório do balanço térmico.

Outputs para análise de edificações residenciais, considerando *Ideal Loads* para o cálculo de carga térmica.

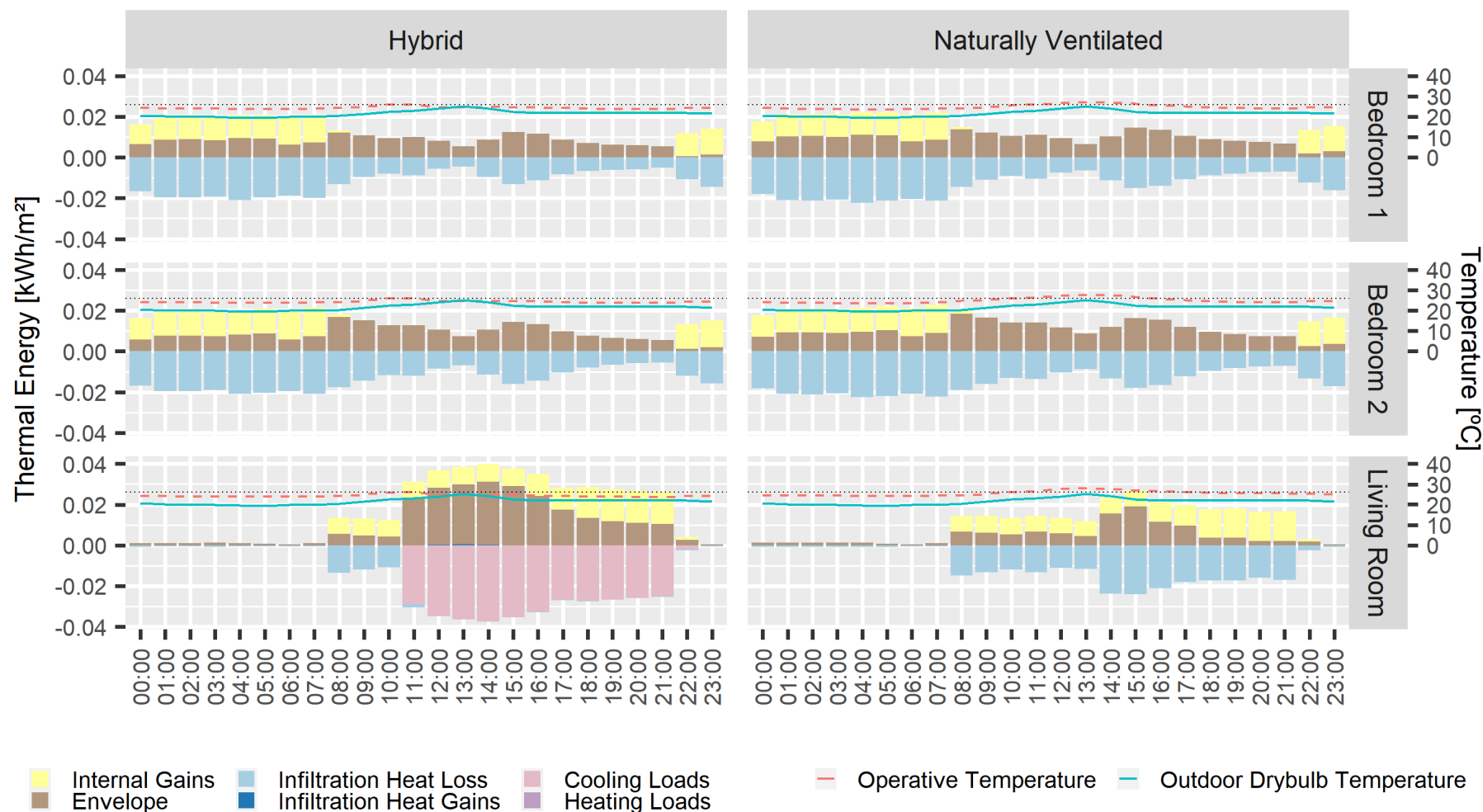
○ Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus

Exemplo de análise do balanço térmico.

Casos idênticos, somente tipo de climatização distintos: híbrido e naturalmente ventilado.

A análise foi durante o dia 20/05 para a cidade do Rio de Janeiro, sistema construtivo isolado com baixa inércia térmica.

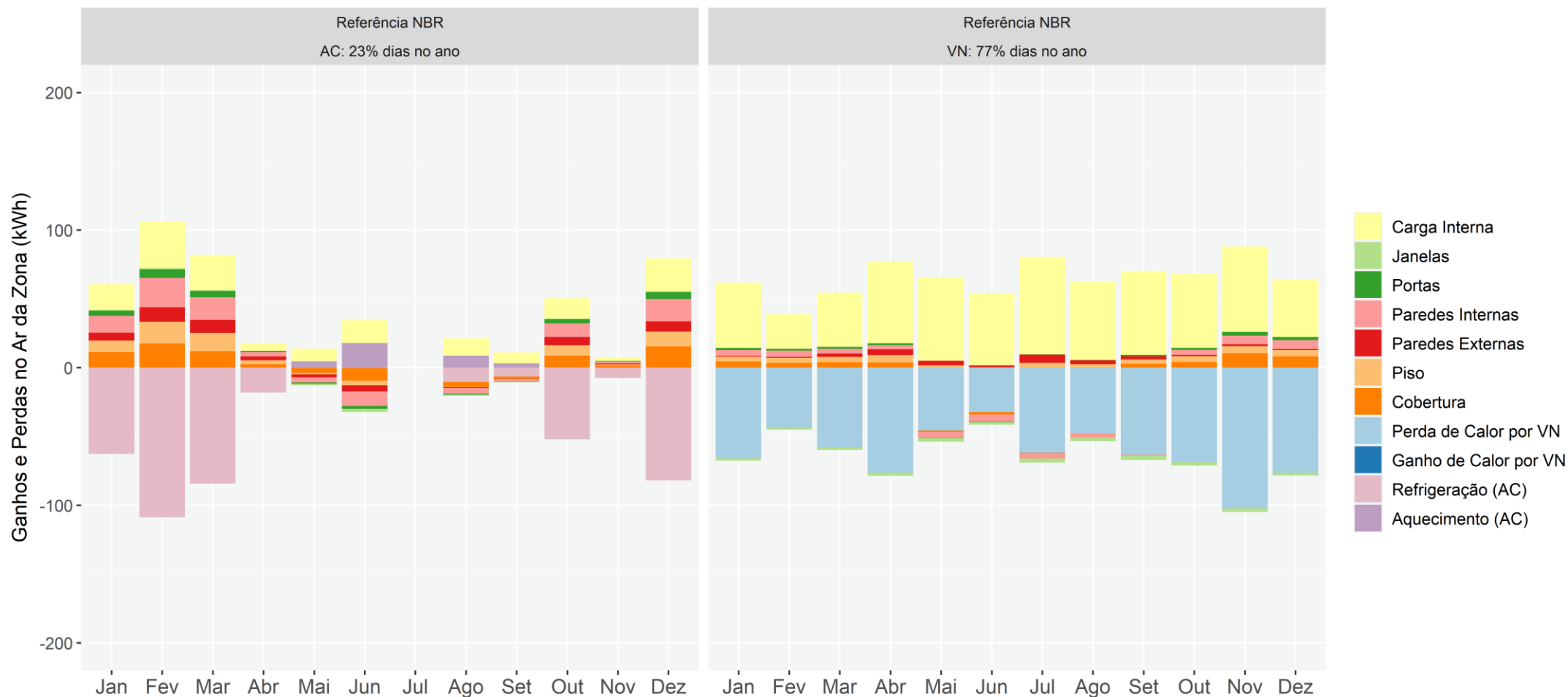
Essa imagem está no artigo DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111047



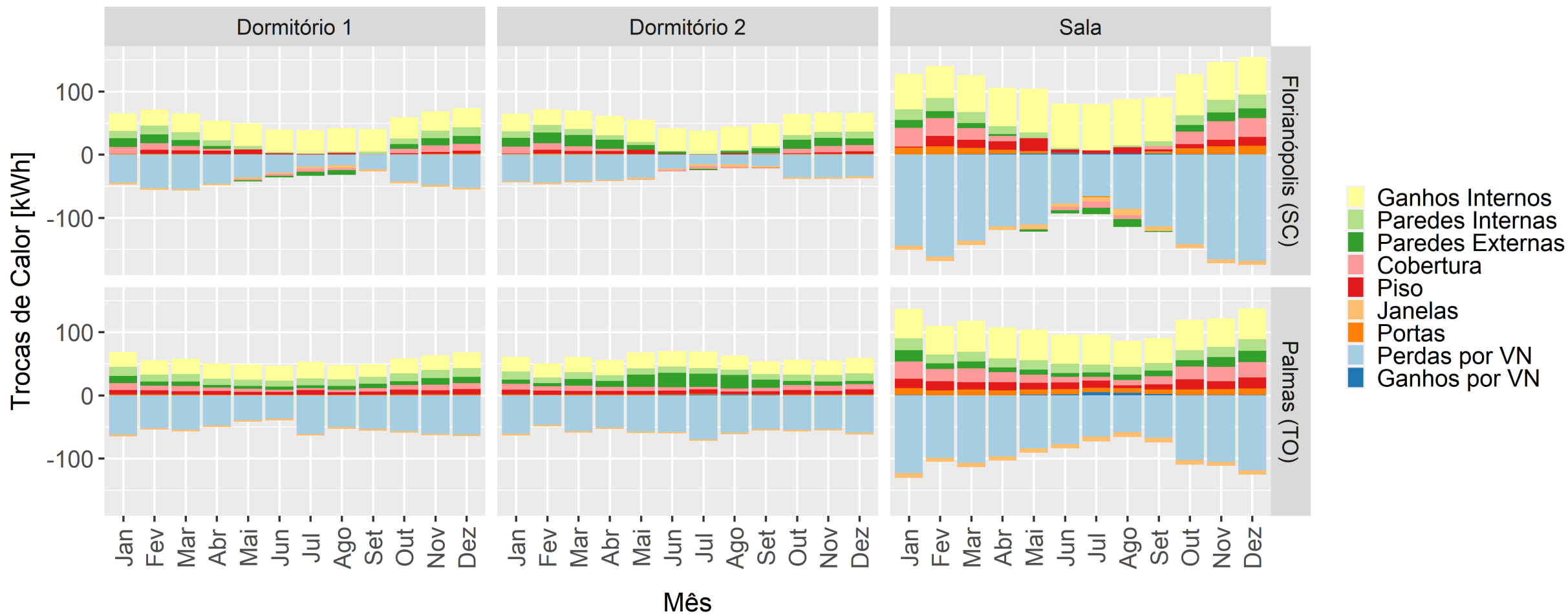
○ Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus

Ganhos e Perdas de Calor pelos Componentes no APP Sala

Curitiba: Edificação de Referência NBR



○ Balanço Térmico no Ar dentro do EnergyPlus



Balanço Térmico nas superfícies

Análise do balanço térmico nas superfícies do ambiente

A Análise

O que deve ser analisado:

$$q_{rad_{solar}} + q_{convecção} + q_{rad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{rad_{solar}}$ = É o ganho de calor pela radiação solar incidente na superfície, é basicamente a radiação solar que entra no ambiente pelas janelas [J].
- $q_{rad_{interna}}$ = É o ganho ou a perda de calor pela radiação emitida ou recebida das demais superfícies internas ou o ganho pelo sistema de iluminação, pessoas e equipamentos [J].
- $q_{convecção}$ = É o ganho ou a perda de calor por convecção [J].
- $q_{condução}$ = É o ganho ou a perda de calor por condução [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$q_{grad_{solar}} + q_{convecção} + q_{grad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{grad_{solar}}$ = É o ganho de calor pela radiação solar incidente na superfície, é basicamente a radiação solar que entra no ambiente pelas janelas [J].
- $q_{grad_{interna}}$ = É o ganho ou a perda de calor pela radiação emitida ou recebida das demais superfícies internas ou o ganho pelo sistema de iluminação, pessoas e equipamentos [J].
- $q_{convecção}$ = É o ganho ou a perda de calor por convecção [J].
- $q_{condução}$ = É o ganho ou a perda de calor por condução [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$q_{rad_{solar}} + q_{convecção} + q_{rad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{rad_{solar}}$ = É o ganho de calor pela radiação solar incidente na superfície, é basicamente a radiação solar que entra no ambiente pelas janelas [J].
- **$q_{rad_{interna}}$ = É o ganho ou a perda de calor pela radiação emitida ou recebida das demais superfícies internas ou o ganho pelo sistema de iluminação, pessoas e equipamentos [J].**
- $q_{convecção}$ = É o ganho ou a perda de calor por convecção [J].
- $q_{condução}$ = É o ganho ou a perda de calor por condução [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$q_{rad_{solar}} + q_{convecção} + q_{rad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{rad_{solar}}$ = É o ganho de calor pela radiação solar incidente na superfície, é basicamente a radiação solar que entra no ambiente pelas janelas [J].
- $q_{rad_{interna}}$ = É o ganho ou a perda de calor pela radiação emitida ou recebida das demais superfícies internas ou o ganho pelo sistema de iluminação, pessoas e equipamentos [J].
- **$q_{convecção}$ = É o ganho ou a perda de calor por convecção [J].**
- $q_{condução}$ = É o ganho ou a perda de calor por condução [J].

A Análise

O que deve ser analisado:

$$q_{grad_{solar}} + q_{convecção} + q_{grad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{grad_{solar}}$ = É o ganho de calor pela radiação solar incidente na superfície, é basicamente a radiação solar que entra no ambiente pelas janelas [J].
- $q_{grad_{interna}}$ = É o ganho ou a perda de calor pela radiação emitida ou recebida das demais superfícies internas ou o ganho pelo sistema de iluminação, pessoas e equipamentos [J].
- $q_{convecção}$ = É o ganho ou a perda de calor por convecção [J].
- **$q_{condução}$ = É o ganho ou a perda de calor por condução [J].**

A Análise

Analisar esse balanço ajuda a responder questões como:

- Qual a principal troca de calor que ocorre nas superfícies?
- Quais superfícies adicionam calor no ambiente?
- Por quais superfícies o ambiente está perdendo calor?
- O tipo de vidro adotado reduz o ganho de calor?

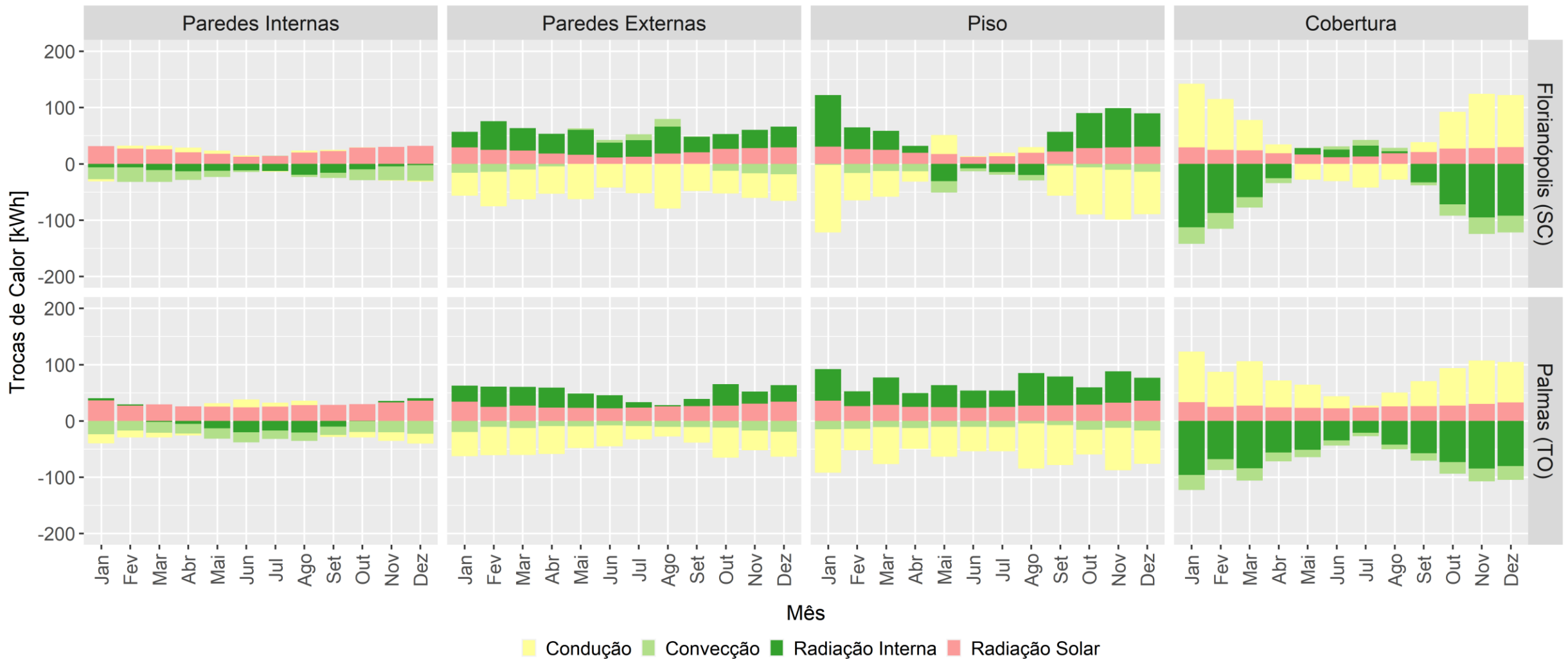
○ Balanço Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus

O que deve ser analisado:

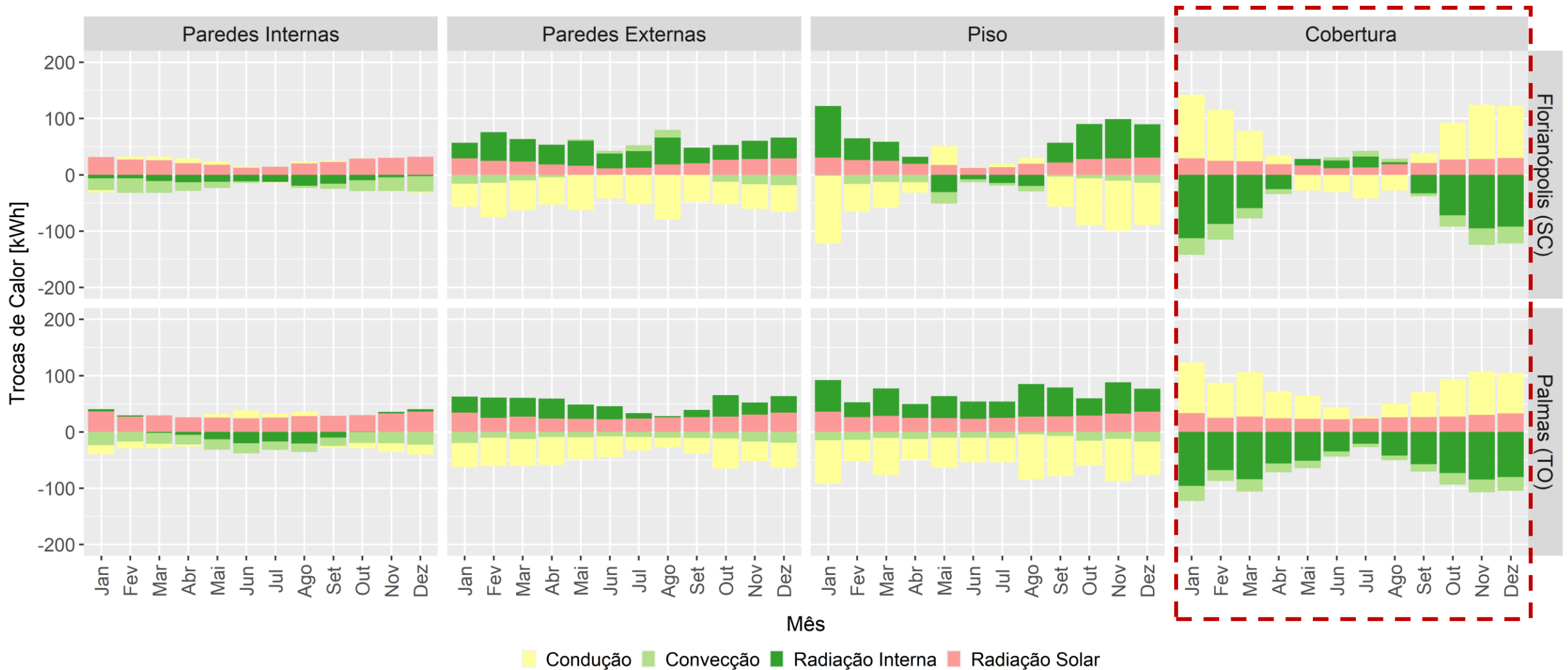
$$q_{grad_{solar}} + q_{convecção} + q_{grad_{interna}} + q_{condução} = 0$$

- $q_{grad_{solar}}$ = *Surface Inside Face Solar Radiation Heat Gain Energy [J]*.
- $q_{grad_{interna}}$ = ***Surface Inside Face Internal Gains Radiation Heat Gain Energy [J]*** (equipamentos, iluminação, pessoas) + ***Surface Inside Face Net Surface Thermal Radiation Heat Gain Energy [J]*** (entre superfícies).
- $q_{convecção}$ = *Zone Total Internal Convective Heating Energy [J]*.
- $q_{condução}$ = *Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Energy [J]*.

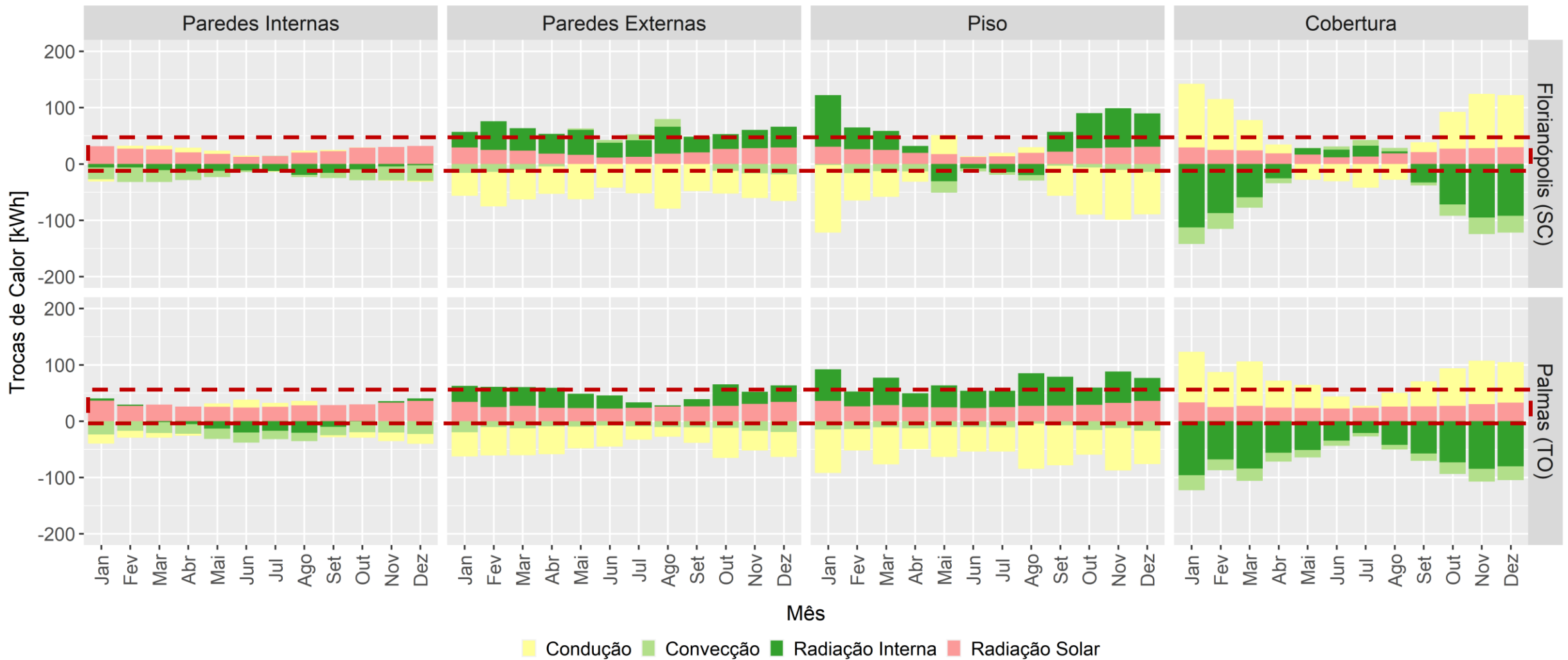
○ Balanço Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus



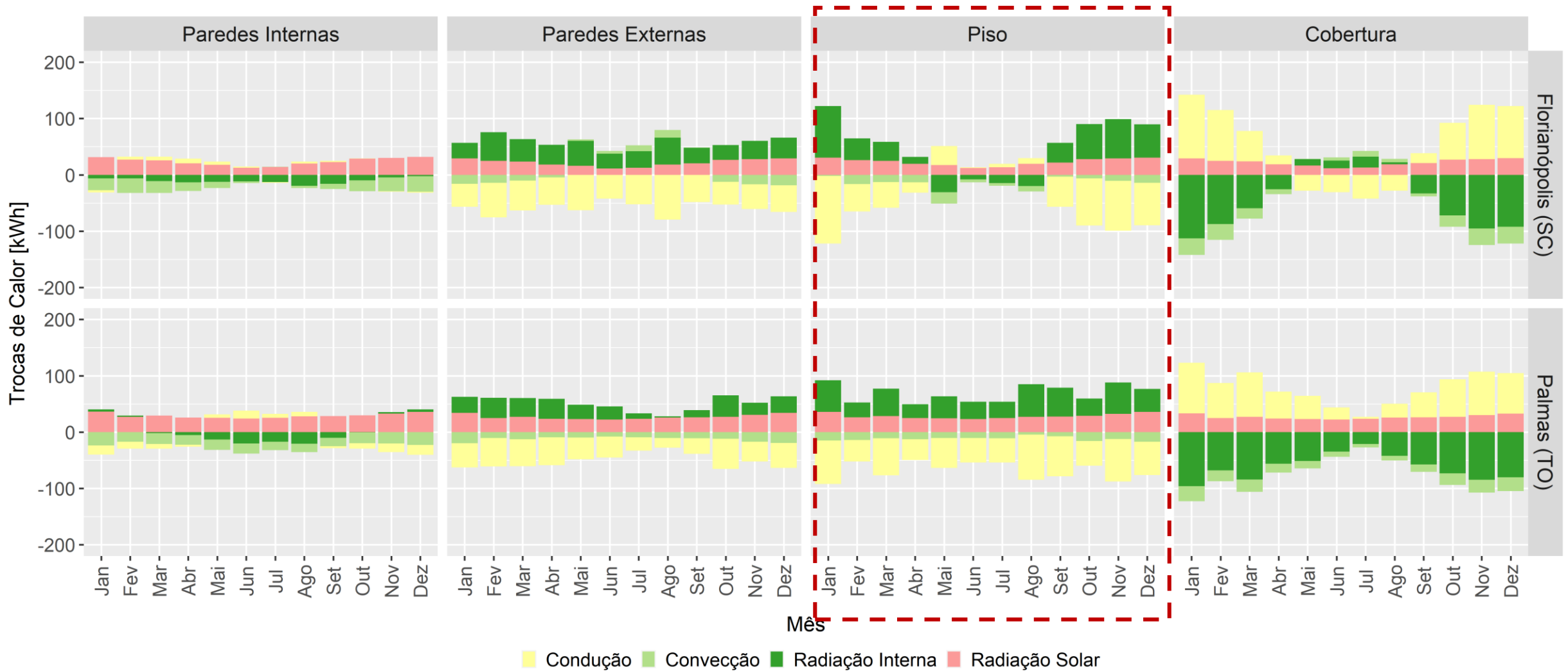
○ Balanço Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus



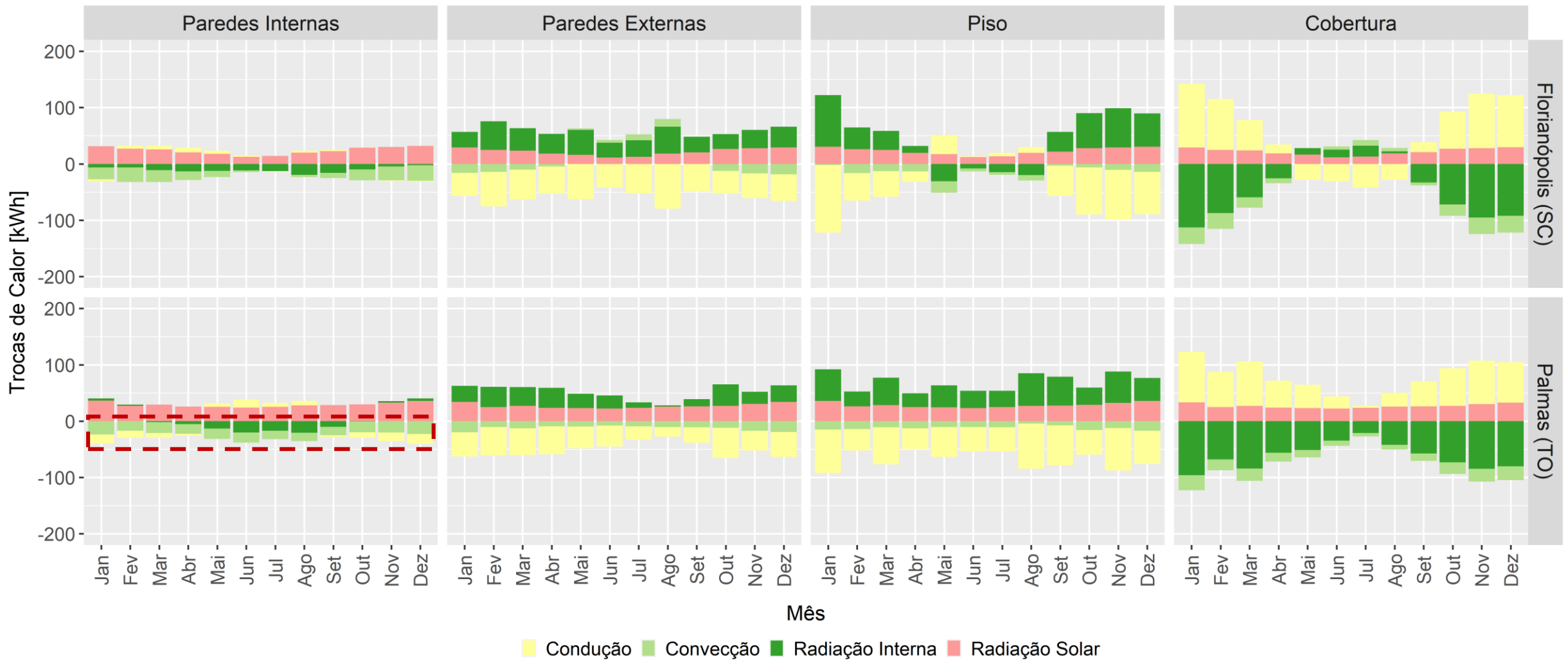
Balanco Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus



○ Balanço Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus



○ Balanço Térmico nas superfícies dentro do EnergyPlus

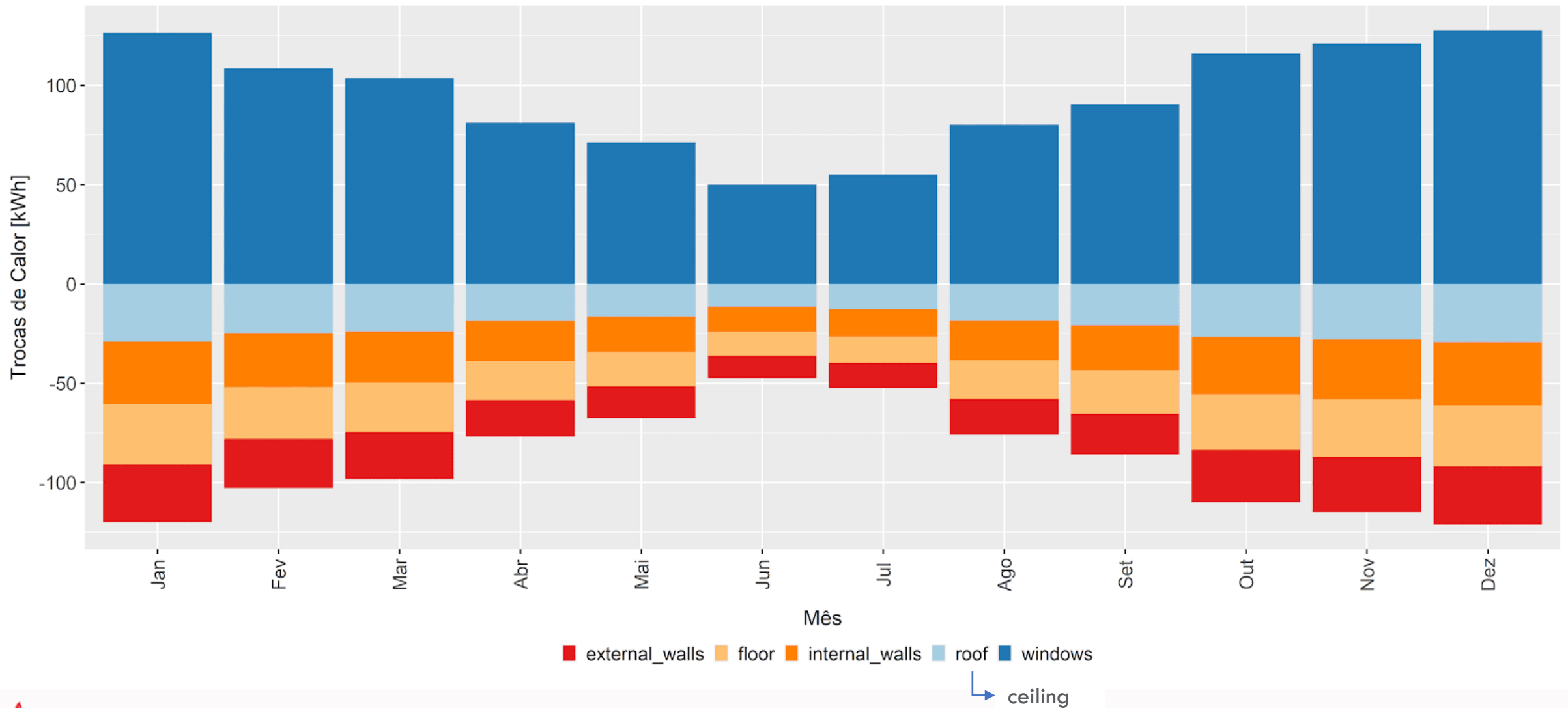


Outros Balanços...

O balanço térmico permite explorar muitas coisas, outros exemplos:

- Qual a parcela de radiação solar que é recebida por cada superfície? Nos balanços térmicos mostrados não dá para visualizar a influência real da janela.
 - Radiação solar passando pela janela: *Surface Window Transmitted Solar Radiation Energy [J]*
 - Radiação solar na superfície: *Surface Inside Face Solar Radiation Heat Gain Energy [J]*

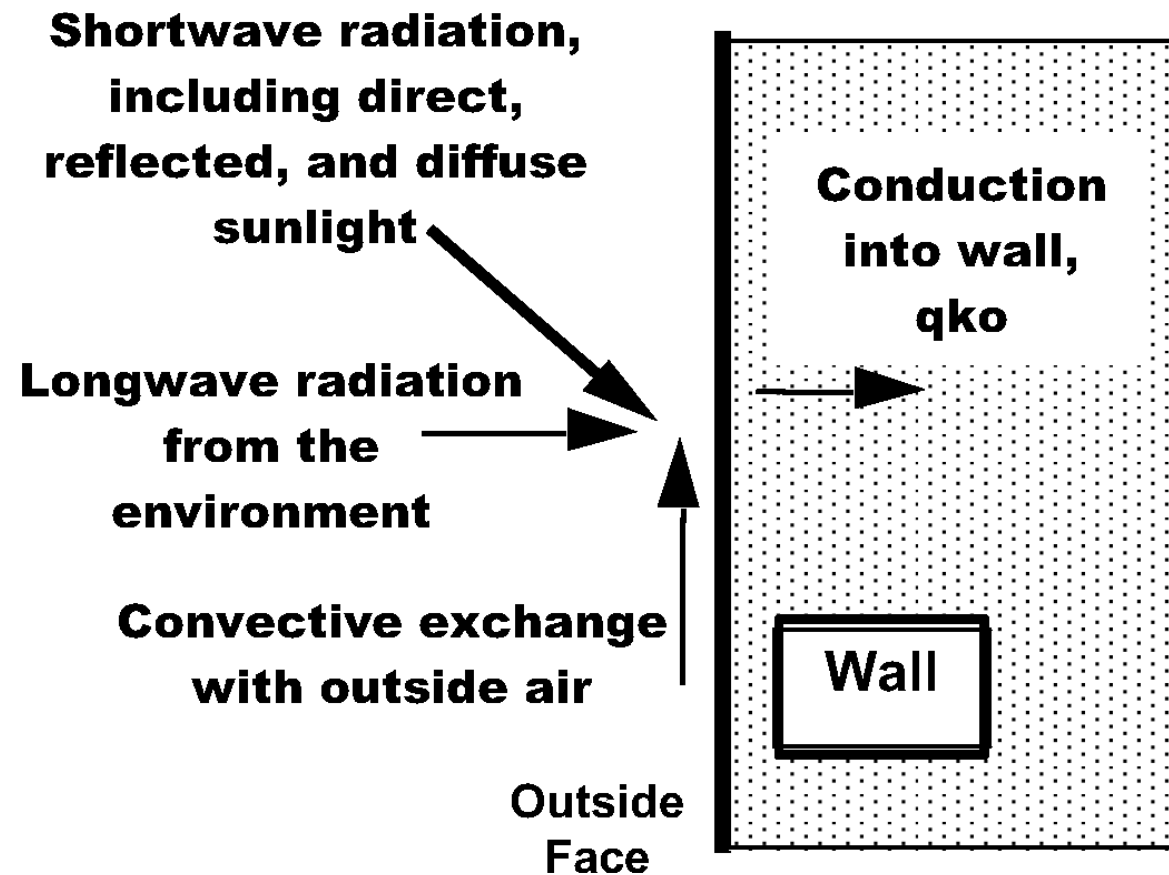
Radiação Solar: Janela x Superfícies Internas



Outros Balanços...

O balanço térmico permite explorar muitas coisas, outros exemplos:

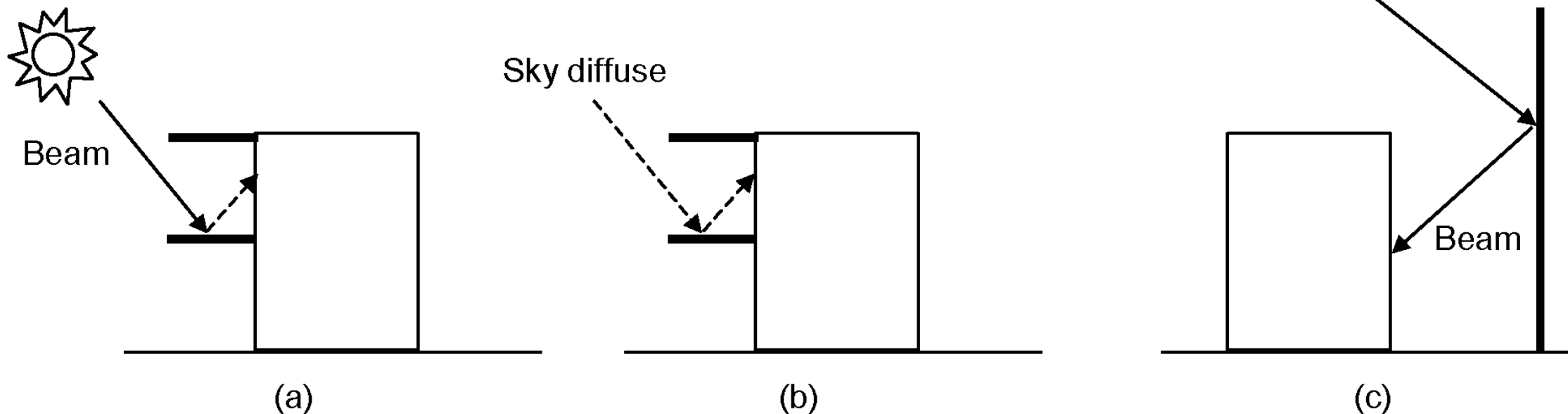
- Quais as parcelas de radiação as superfícies externas recebem? Isso é importante quando estamos analisando o entorno ou ainda arquivos climáticos...



Outside Heat Balance Control Volume Diagram
EnergyPlus Engineering Reference

Outros Balanços...

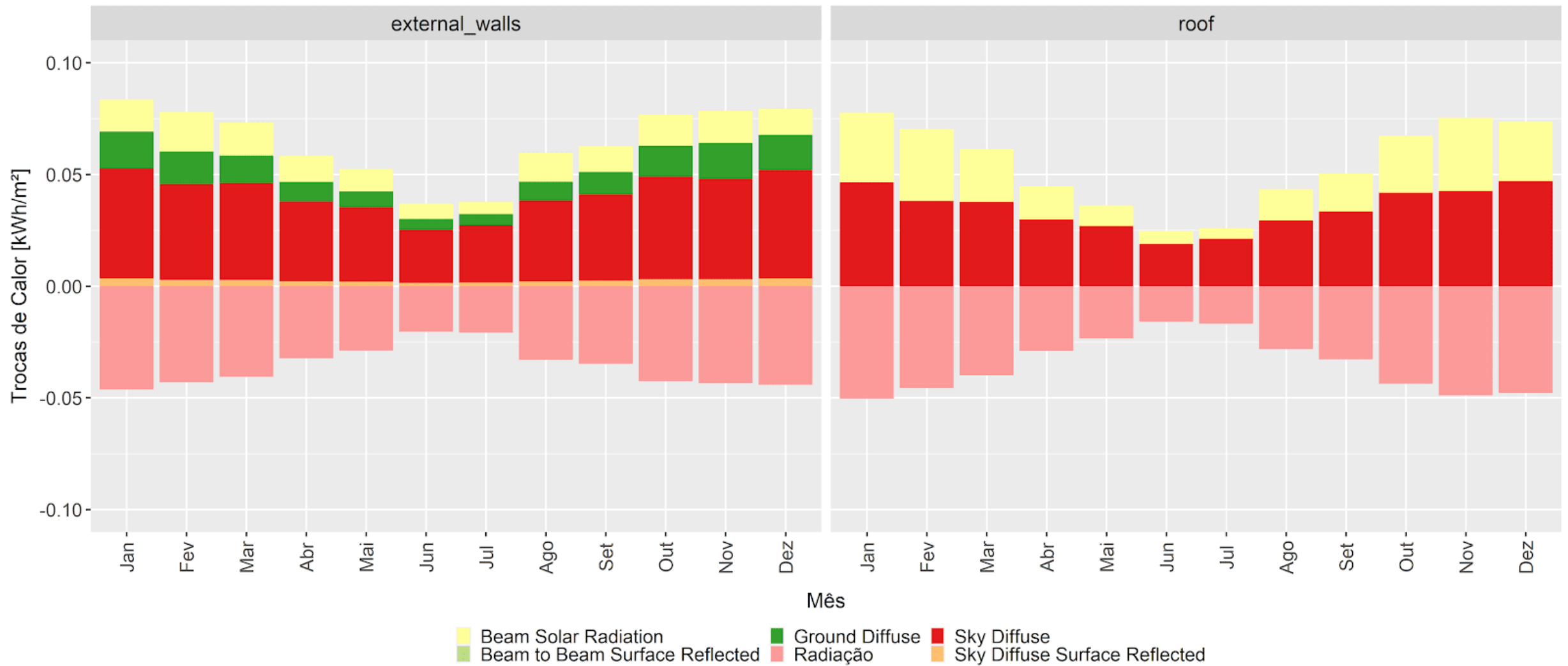
Solar Reflection from Obstructions



Examples of solar reflection from shadowing surfaces in the Shading series of input objects. Solid arrows are beam solar radiation; dashed arrows are diffuse solar radiation. **(a)** Diffuse reflection of beam solar radiation from the top of an overhang. **(b)** Diffuse reflection of sky solar radiation from the top of an overhang. **(c)** Beam-to-beam (specular) reflection from the façade of an adjacent highly-glazed building represented by a vertical shadowing surface.

EnergyPlus Engineering Reference

Radiação: Superfícies Externas





**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**

lab**EEE** | LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

OBRIGADA!

Letícia Gabriela Eli, MSc Eng. Civil

leticia.gabriela.eli@gmail.com