

O COMPORTAMENTO CLIMÁTICO DAS ESTAÇÕES DO ANO INFLUENCIANDO A RESPOSTA TÉRMICA DE UMA SALA DE AULA

THE CLIMATE BEHAVIOR OF THE SEASONS OF THE YEAR INFLUENCING THE THERMAL RESPONSE OF A CLASSROOM

Gustavo Antunes de SOUZA¹; Marina Elisabete Juncioni CRUZ²

1. Arquiteto e Urbanista; Especialista em Design de Interiores; Docente do Curso de Graduação de Arquitetura e Urbanismo da FIMI – Município de Mogi Guaçu – SP. E-mail: gustavo.pahaliah@gmail.com

2. Arquiteta e Urbanista; Mestranda em Arquitetura pela UNICAMP; Especialista em Segurança do Trabalho; Docente do Curso de Graduação de Arquitetura e Urbanismo da FIMI – Município de Mogi Guaçu – SP. E-mail: marina.juncioni@gmail.com

RESUMO

O presente artigo tem como principal objetivo a avaliação sobre a resposta térmica de uma edificação em diferentes épocas do ano, utilizando-se do programa EnergyPlus®, aplicado como ferramenta de estudo digital de projeto ao comportamento térmico de um edifício. Inicialmente a primeira fase do presente artigo destina-se à pesquisa, observação e captação fotográfica da área de estudo, bem como o levantamento de dados. Tendo assim a finalidade de constituir avaliações das respostas térmicas da zona de estudo em diferentes épocas do ano. Portanto, tal trabalho de pesquisa permitiu analisar e explorar o funcionamento do EnergyPlus®, bem como suas potencialidades relacionadas a uma simulação experimental, concluindo que o programa em questão é uma ferramenta de cálculo complexa que proporciona resultados credíveis.

Palavras-chave: Resposta Térmica; EnergyPlus®; Simulação.

ABSTRACT

The main objective of this article is to evaluate the thermal response of a building at different times of the year, using the EnergyPlus® program, applied as a digital design study tool to the thermal behavior of a building. Initially, the first phase of this article is intended for research, observation and photographic capture of the study area, as well as data collection. Thus having the purpose of constituting evaluations of the thermal responses of the study area at different times of the year. Therefore, such research work allowed to analyze and explore the operation of EnergyPlus®, as well as its potentialities related to an experimental simulation, concluding that the program in question is a complex calculation tool that provides credible results.

Keywords: Thermal Response; EnergyPlus®; Simulation.

Recebimento dos originais: 20/03/2023.

Aceitação para publicação: 25/07/2023.

INTRODUÇÃO

Para que o desempenho térmico de uma edificação seja avaliado, dispõe-se de duas possibilidades: a partir de medições “*in loco*” ou por meio de simulações digitais, sendo esta última possibilidade apresentada como foco de estudo para a estruturação deste artigo.

Para a constituição inicial desta pesquisa foi utilizado o plugin Euclid® por intermédio do programa SketchUp®, para assim posteriormente estruturar as simulações digitais pela aplicação do EnergyPlus®.

O EnergyPlus é um programa computacional, criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como “*time-step*” de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar, etc...) (MELO, WESTPHAL e MATOS, 2009).

Sendo assim aspectos como a capacidade térmica dos elementos e componentes de uma edificação, são variáveis de suma importância para as respostas térmicas resultantes, bem como as taxas de ocupação, iluminação, equipamentos e ventilação. Outro ponto de análise deste artigo é o armazenamento de energia térmica ocorrido nas vedações, as quais influem nas variações climáticas internas exercidas pelas temperaturas externas ao decorrer dos dias em diferentes estações.

Portanto o objetivo deste artigo é demonstrar a avaliação da resposta térmica de um ambiente interno de uma edificação, em diferentes épocas do ano, através de simulações digitais utilizando-se principalmente do programa EnergyPlus®, bem como o plugin Euclid®¹ por meio do programa SketchUp®². O EnergyPlus® é uma ferramenta digital dedicada às simulações informatizadas remissivas ao comportamento térmico de uma edificação, onde a introdução de uma série de dados – *input*, resulta em dados numéricos como resposta – *outputs* a serem analisados e discutidos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área tida como estudo de caso se situa na - Rua Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária Zeferino Vaz - Campinas - São Paulo, sendo a sala escolhida parte de um dos blocos da FEC – UNICAMP, este bloco é constituído por diferentes tipologias de espaços destinados ao ensino, sendo assim tal “zona” (sala) encontra-se inserida em um prédio constituído por 03 (três) andares e subdividido em 09 (nove) salas destinadas à aprendizagem. A zona específica deste estudo é denominada como Z03 locada no 1º Pavimento do bloco destacado, além deste ambiente (zona), todos os demais ambientes que estão em contato com esta sala são detalhadas no processo de simulação sendo: Z01 – sala no pavimento inferior, Z04 – sala lateral e Z06 sala no pavimento superior, uma das laterais se encontra uma área livre de circulação de ar e luz natural.

¹ Euclid é uma extensão livre e de código aberto para o SketchUp que facilita a criação e modificação de entradas de geometria para a construção de modelos de energia (LLC, 2009).

² SketchUp é um software próprio para a criação de modelos em 3D digitalmente.

O programa EnergyPlus®, possibilita a simulação digital do comportamento térmico e energético de uma edificação, porém é necessário a introdução de diversos dados (input) para que se obtenha os resultados (outputs) (SILVA, 2010). Sendo assim, para a composição deste artigo a metodologia aplicada divide-se em três etapas:

1º Etapa: Definição e estruturação da geometria digital – Gerar arquivo .IDF³ (Programas utilizados: SketchUp® e o pluginEuclid®);

2º Etapa: Constituição de um ficheiro de dados, utilizando-se de dois arquivos digitais sendo: os dados climáticos da cidade em estudo denominados “Weather File”, juntamente com o arquivo .IDF produzido na primeira etapa, para assim completar os dados necessários a cada parâmetro, e assim gerar a simulação (Programa utilizado: EnergyPlus®); e

3º Etapa: Analisar os resultados obtidos e elaborar conclusões (Programas utilizados: EnergyPlus® e Excel).

A estruturação da geometria digital é resultante da aplicação do plugin Euclid® no programa SketchUp®, onde cada zona térmica criada independentemente foi renomeada, além de renomear as zonas térmicas, todas as paredes, coberturas e pisos também recebem o mesmo tratamento. Após esta etapa inicial a geometria gera um arquivo .IDF, o qual é aplicado ao programa EnergyPlus®. Vale destacar que o EnergyPlus® gera automaticamente uma lista de Parâmetros e itens a serem revisados, para que assim posteriormente seja possível gerar a simulação desejada.

Além do arquivo .IDF gerado, um arquivo digital em formato .EPW⁴, denominado “Energy Plus Weather File” dispõe dos dados climáticos da cidade em que a edificação objeto de estudo está localizada - Campinas, sendo assim para tal pesquisa foi utilizado um ficheiro climático elaborado estatisticamente, ou seja, a simulação será para um ano típico e não especificamente, para o ano da presente proposta de pesquisa.

Ao iniciar a utilização do programa EnergyPlus®, tendo os arquivos .IDF e .EPW como bases, é acessado o “IDF EDITOR” o qual possui distintas subdivisões de suas classes das informações dispostas ao modelo em questão, sendo assim, a seguir são descritas e especificadas as classes que não serão utilizadas, bem como as quais serão ou não revisadas, importante destacar que as classes a serem revisadas serão descritas e detalhadas posteriormente:

a) Classes não utilizadas: *RunPeriodControl:SpecialDays*; *RunPeriodControl:DaylightSavingTime*; *WindowMaterial:Glazing*; *WindowMaterial:Gas*; e *HVACTemplate:Thermostat*.

b) Classes utilizadas sem revisões: *Version*; *Timestep*; *GlobalGeometryRules*; *Zone*; *BuildingSurface:Detailed*; e *Shading:Building:Detailed*.

c) Classes utilizadas com revisões: *SimulationControl*; *Building*; *Site:Location*; *SheduleTypeLimits*; *Shedule:Compact*; *Material*; *Material:AirGap*; *Construction*; e *Output:VariableDictionary*.

³ IDF (Input Data File) é um arquivo de texto sem formatação que contém um conjunto de objetos que representam a construção e os sistemas associados (ENERGYPLUS, 2020).

⁴ EPW (Energy Plus Weather/arquivo) é um arquivo de texto sem formatação que contém informações sobre o clima (ENERGYPLUS, 2020).

O campo *“SimulationControl”* permite definir as condições de controle da simulação, tais como o cálculo das dimensões em planta, da zona ou do sistema, permitindo ainda especificar se a simulação será anual ou em um intervalo de tempo pré-definido (SILVA, 2010). Para este estudo é definido o *“Run Simulation for Weather File Run Periods”* em *“yes”* e as demais opções em *“No”*, especificando portanto a aplicação de um arquivo climático (.epw) associado aos objetos criados no parâmetro *“Run Period”*, o qual determina o período de simulação desejado, para este artigo adota-se uma simulação dos 12 (doze) meses de um ano, para assim abranger as 4 (quatro) estações de um ano.

O campo *“Building”* permite determinar a angulação em planta entre o objeto de estudo com o Norte (177°), a configuração espacial/urbana do entorno (*City*), bem como os valores de convergência, o tipo de distribuição solar e o máximo de dias de preparação da simulação.

Relativamente à opção *“FullInteriorAndExterior”*, esta indica que existe sombreamento da radiação solar através de elementos exteriores horizontais e verticais, e que esta radiação incide não só no chão como, também, em superfícies como as paredes. O máximo de dias de preparação da simulação (*MaximumNumberofWarmupDays*) é relativo à complexidade do edifício e é pré-definido que 25 é o indicado para um edifício convencional. Mais do que 25 definiria um edifício bastante complexo, o que não é o caso (SILVA, 2010).

O *“Timestep”* permite estipular como os resultados serão apresentados, sendo assim, adota-se o mesmo conceito descrito por SILVA (2010): *“Definiu-se que o cálculo será em intervalos de tempo de 15 em 15 minutos, logo este será 4 (uma hora divide em 4 intervalos de 15 minutos)”*.

No campo *“Location”* se encontram dispostos os dados relacionados à cidade de Campinas, dados estes obtidos por meio de arquivos digitais .EPW existentes.

Na fase relacionada aos dados do *“RunPeriod”*, estes são definidos pelos dias e meses em que a simulação será gerada, para assim apresentar os dados resultantes das datas estipuladas, portanto, para a simulação gerada neste artigo foram criados 12 objetos, um para cada mês do ano.

Para a criação e preenchimento dos dados relacionados ao grupo *“Site: GroundTemperature: BuildingSurface”* foram utilizados valores numéricos já existentes em bases de dados climáticos de acordo com RORIZ (2012), sendo assim os dados utilizados foram: *January 24°C; February 24.5°C; March 24.3°C; April 23.9°C; May 22.4°C; June 21.1°C; July 20.1°C; August 19.6°C; September 18.8°C; October 20.5°C; November 21.7°C; e December 22.9°C*.

Os dados relacionados aos *“Schedules”* permitem determinar os horários de funcionamento dos diversos sistemas do objeto de estudo, tais como: ocupação, densidade, iluminação, controles termostáticos, atividades de ocupação, entre outros itens. Importante salientar que tais dados atribuídos serão associados a outras classes a serem preenchidas. Sendo assim, para a simulação em estudo foram revisados e preenchidos os seguintes subitens relacionados aos campos *“Schedules”*:

a) A descrição do objeto *“ScheduleTypeLimits”* especifica os tipos de dados e limites para os valores contidos nos *“Schedules”*.

b) Os dados utilizados para o preenchimento do parâmetro “Schedule:Day:Hourly” estão relacionados com a porcentagem de uso classificatório de cada objeto criado, para o estudo em questão foram criados três objetos relacionados a ocupação (dias úteis da semana, sábado e domingo) sendo seus valores estipulados de acordo com o percentual de uso durante uma semana, e para os demais objetos criados referentes a iluminação e ao uso dos equipamentos elétricos, foram adotados os percentuais totais conforme os dias de ocupação.

c) O parâmetro “Schedule: Week: Compact” possibilita maior flexibilidade, pois permite organizar e determinar as atribuições de cada dia da semana, relacionando-se diretamente com as classificações de uso do ambiente em estudo.

d) O “Schedule:Year” proporciona definir os horários de uso de cada item específico, sendo que o cronograma estipulado englobe o ano todo.

e) O parâmetro “Schedules: Compact” proporciona definir os horários de funcionamento de cada item, bem como os valores limites indicativos de quando o sistema deve ligar e desligar. A Figura 1 ilustra os dados adotados.

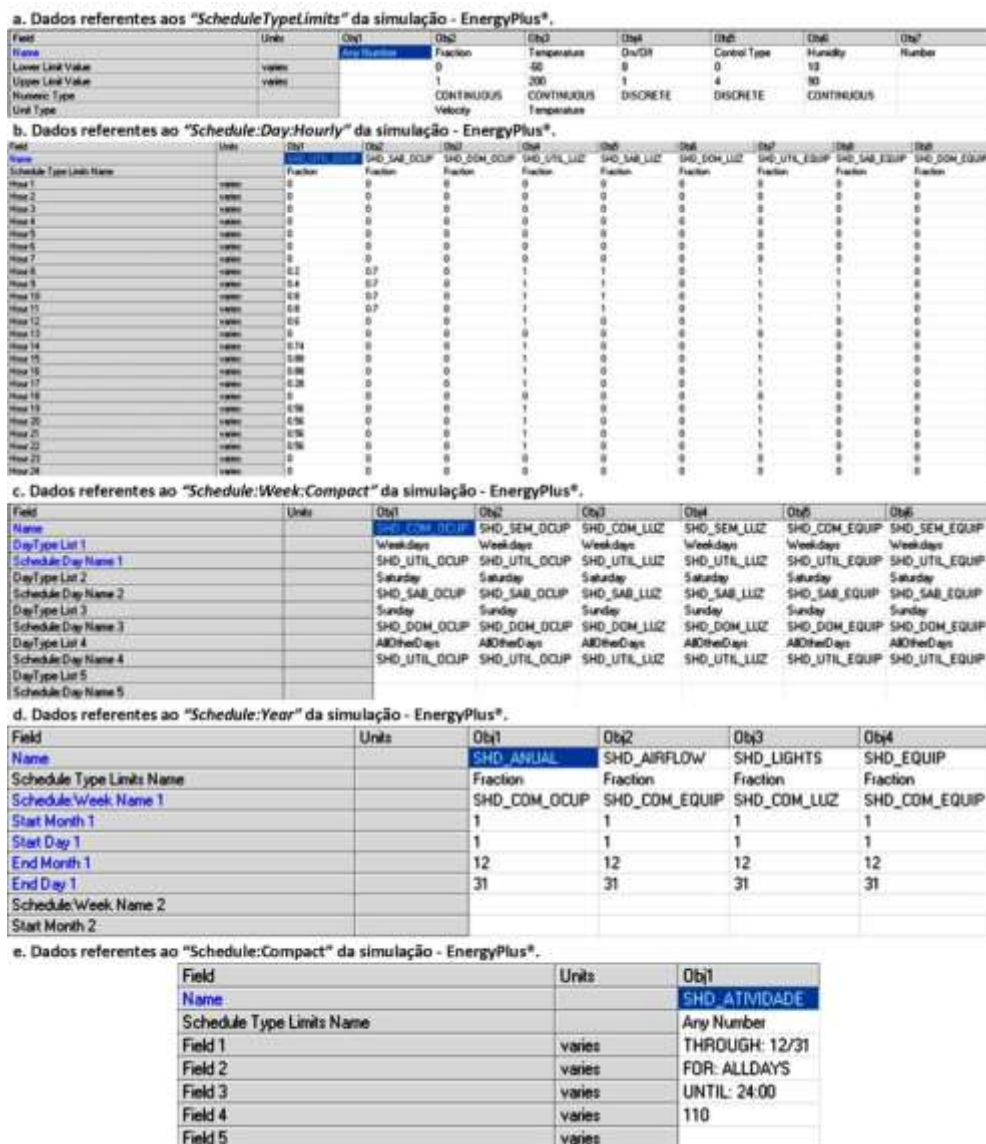


Figura 1. Campos preenchidos referentes aos dados “Schedule”.

No grupo relacionado ao “*Material*”, os diversos materiais constituintes a cada elemento construtivo são significativos à inércia térmica, e devem ser listados e descritos de acordo com suas características, para esta proposta foram criados e utilizados 8 (oito) objetos: ESP_PAREDE_DO_BLOCO_ESTRUTURAL; LAJE_CONCRETO; TELHA_METALICA; ISOPOR_TELHA; CONTRA_PISO; FORRO_ISOPOR_SALAS; ISOPOR_LAJE; e PORTA_SALAS, para cada objeto foram especificados os seguintes itens característicos: Rugosidade, Espessura, Condutividade, Densidade, e Calor específico.

Os dados relacionados ao parâmetro “*Material: Air Cap*” dizem respeito ao espaço físico livre existente no interior do bloco de concreto, sendo assim foi criado um objeto (Obj1) com a identificação (Name) de FLUXO_HOR_>5cm, tendo como valor adotado o de $0.17\text{m}^2\text{-K/W}$ referente a “*Thermal Resistance*”.

Os dados referentes ao parâmetro “*Window Material: SimpleGlazing System*”, são valores numéricos referentes as características do vidro utilizado nos caixilhos – janelas, o qual foi identificado como VIDRO_SIMPLES_3mm, e adotado os seguintes valores: $5.6\text{W/m}^2\text{-K}$ para “*U-Factor*” e 0.87 para o item “*Solar Heat Gain Coefficient*”.

No parâmetro “*Construction*” descreve a constituição da construção, tais como, paredes, lajes de coberturas, lajes entre pavimentos, caixilhos, etc., destacando que tais materiais já foram listados no campo “*Material*”. Para a pesquisa em questão, a metodologia utilizada é a definição dos elementos por meio de camadas, sendo assim foram criados 8 (oito) objetos possuindo as seguintes especificações:

- a) PAREDE_BLOCO_CONCRETO (ESP_PAREDE_DO_BLOCO_ESTRUTURAL + FLUXO_HOR_>5cm + ESP_PAREDE_DO_BLOCO_ESTRUTURAL).
- b) LAJE_PISO (LAJE_CONCRETO + ISOPOR_LAJE + LAJE_CONCRETO).
- c) LAJE_COB (TELHA_METALICA + ISOPOR_TELHA + TELHA_METALICA).
- d) LAJE_PISO_FORRO (LAJE_CONCRETO + ISOPOR_LAJE + LAJE_CONCRETO + FORRO_ISOPOR_SALAS).
- e) LAJE_COB_FORRO (TELHA_METALICA + ISOPOR_TELHA + TELHA_METALICA); CONTRAPISO_TERREO (CONTRA_PISO).
- f) CAIXILHO_JANELA (VIDRO_SIMPLES_3mm); e CAIXILHO_PORTA (PORTA_SALAS).

O parâmetro “*FenestrationSurface: Detailed*” permite a definição dos vãos envidraçados, ou outros elementos que sejam relevantes ao estudo térmico, principalmente se tais elementos são afetados pela incidência solar, os itens e valores descritos nesta etapa são gerados na estruturação da modelagem do objeto em estudo, sendo assim uma área destinada a possíveis verificações e correções quando necessárias.

Os dados apresentados nos parâmetros “*People*”, “*Lights*” e “*Electric Equipment*”, referem-se respectivamente à quantidade total do ganho de calor referente: a ocupação de pessoas, as luzes e os equipamentos elétricos dispostos em cada ambiente (zona), sendo criado assim para cada parâmetro 4 (quatro) objetos, os quais englobam a zona em estudo (Z03), bem como as zonas de seu entorno (Z01-inferior; Z06-superior; e Z04-lateral), sendo adotado para cada parâmetro os *Schedules* descritos na Figura 1.

De acordo com o ENERGYPLUS (2016): “Uma característica importante do consumo de energia em edifícios é o fluxo de ar entre as zonas e fluxo de ar devido à ventilação natural (por

exemplo, janelas abertas) ou ventilação induzida mecanicamente (por exemplo, ventiladores de ar de exaustão).” Sendo assim, os grupos seguintes ilustram tais elementos:

a) O campo “Airflow Network: Simulation Control” possibilita a definição dos parâmetros de cálculos, tais como os coeficientes de pressão, sendo seus valores positivos correspondentes a sobrepessões e valores negativos correspondem a subpressões.

b) O campo “Airflow Network: MultiZone: Component: Detailed Opening” permite especificar as propriedades do fluxo do ar através dos caixilhos abertos ou fechados (ENERGYPLUS, 2016).

c) Os dados referentes ao “Airflow Network: Multizone: Zone” permite o controle da ventilação natural através das aberturas exteriores e interiores de uma zona, sejam estas aberturas janelas ou portas. Importante ressaltar que os dados de controle aplicado a uma zona serão admitidos a todos os caixilhos desta zona (ENERGYPLUS, 2016).

d) O campo “Airflow Network: MultiZone: Surface” possibilita especificar as propriedades de uma “ligação”, ou seja como o ar flui por meio de uma superfície de transferência de calor (ENERGYPLUS, 2016). A Figura 2 ilustra 12 (doze) dos 44 (quarenta e quatro) objetos criados para a simulação digital em questão.

a. Dados referentes aos “Airflow Network: Simulation Control” da simulação - EnergyPlus®.

Field	Units	Obj1
Name		NAT_VENT
AirflowNetwork:Control		MultizoneWithoutDi
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalc
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		ZeroNodePressures
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0.0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0.000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0.5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	177
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		1
Height Dependence of External Node Temperature		No

b. Dados referentes aos “Airflow Network: MultiZone: Component: Detailed Opening” da simulação - EnergyPlus®.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		JAN_BASIC	PORTA_ACCESSO
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/h m	0.001	0.001
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0.65	0.65
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	NonPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m	0	0
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0.001	0.001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Shut Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	0.6	0.6
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1
Shut Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0	0

c. Dados referentes ao “Airflow Network: Multizone: Zone” da simulação - EnergyPlus®.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Zone Name		Zn01	Zn03	Zn04	Zn06
Ventilation Control Mode		Constant	Constant	Constant	Constant
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule					
Minimum Venting Open Factor	dimensionless	0.5	0.5	0.5	0.5
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC				
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For	deltaJ/kg				
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg	300000	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name		SHD_AIRFLOW	SHD_AIRFLOW	SHD_AIRFLOW	SHD_AIRFLOW
Single Sided Wind Pressure Coefficient Algorithms		Standard	Standard	Standard	Standard
Facade Width	m	10	10	10	10
Occupant Ventilation Control Name					

d. Dados referentes ao “Airflow Network: MultiZone: Surface” da simulação - EnergyPlus®.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Surface Name		JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC
Linkage Component Name		JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC
External Node Name		JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC	JAN_BASIC
Window/Door Opening Factor, in Crack Factor	dimensionless	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Window/Door Crack Length	mm	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Window/Door Crack Height	mm	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Window/Door Crack Area	m ²	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438	0.0438
Window/Door Crack Perimeter	m	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566	0.566
Window/Door Crack Volume	m ³	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087
Window/Door Crack Surface Area	m ²	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716	0.1716
Window/Door Crack Volume Ratio	dimensionless	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002

Figura 2. Campos preenchidos referentes aos dados “Airflow Network”.

Os próximos itens descrevem os dados utilizados para a especificação dos arquivos de saída, ou seja, os resultados esperados pela simulação. A seguir são listados os cinco campos referentes aos “Outputs” presentes na simulação digital do modelo em estudo:

a) O campo “Output:VariableDictionary” possibilita listar os dados de respostas gerados pela simulação, para este estudo foi adotado a opção de saída em arquivo “rdd” (regular).

b) Para o campo “Output:SurfacesDrawing” foi selecionado a opção de *Report Type* em DXF, ou seja, a simulação produz relatórios ou arquivos da representação gráfica do modelo, que pode ser importado e utilizados em outros programas digitais.

c) “Output:Table:SummaryReports” para este campo foi selecionada a opção “AllSummary”, que produzirá todo o resumo dos relatórios descritos nesta seção.

d) O campo “OutputControl:Table:Style” controla o padrão de tabulação dos relatórios que serão gerados, tais como, padrões numéricos ou de conversões das unidades de medidas, neste estudo foram adotadas as seguintes especificações: Column Separator: Comma e Unit Conversion: JtoKWH.

e) O “Output:Variable” define quais as variáveis serão simuladas para o ambiente do modelo em estudo (Z03), para este estudo foram selecionados diferentes itens para a simulação, que possibilitaram resultados para assim gerar 3 (três) distintas análises:

e1) Análise de condições de temperatura, umidade de uma zona térmica e Graus-hora de resfriamento: Site Outdoor Air Drybulb Temperature [C] (Temperatura de bulbo seco exterior [°C]); Site Outdoor Air Relative Humidity [%] (Umidade relativa do ar exterior [%]); Zone Mean Radiant Temperature [C] (Temperatura média radiante interior [°C]); Zone Mean Air Temperature [C] (Temperatura média do ar interior [°C]); Zone Operative Temperature [C] (Temperatura operativa interior [°C]); e Zone Air Relative Humidity [%] (Umidade relativa do ar interior [%]).

e2) Análise de ventilação natural: Site Wind Direction [deg] (Direção do vento exterior [deg]) e AFN Zone Infiltration Volume [m³] (Volume de infiltração de ar interior [m³]).

e3) Análise de ganhos e perdas de calor: Zone Total Internal Total Heating Energy [J] (Ganhos de calor – Total [J]); Zone People Total Heating Energy [J] (Ganhos de calor – Pessoas [J]); Zone Lights Total Heating Energy [J] (Ganhos de calor – Iluminação [J]); Zone Electric Equipment Total Heating Energy [J] (Ganhos de calor – Equipamentos elétricos [J]); Zone Windows Total Heat Gain Energy [J] (Ganhos de calor – Caixilhos [J]); Zone Windows Total Heat Loss Energy [J] (Perdas de calor – Caixilhos [J]); AFN Zone Infiltration Sensible Heat Gain Energy [J] (Ganhos de calor – Infiltração sensível [J]); AFN Zone Infiltration Sensible Heat Loss Energy [J] (Perdas de calor – Infiltração sensível [J]); AFN Zone Infiltration Latent Heat Gain Energy [J] (Ganhos de calor – Infiltração latente [J]); e AFN Zone Infiltration Latent Heat Loss Energy [J] (Perdas de calor – Infiltração latente [J]).

RESULTADOS e DISCUSSÃO

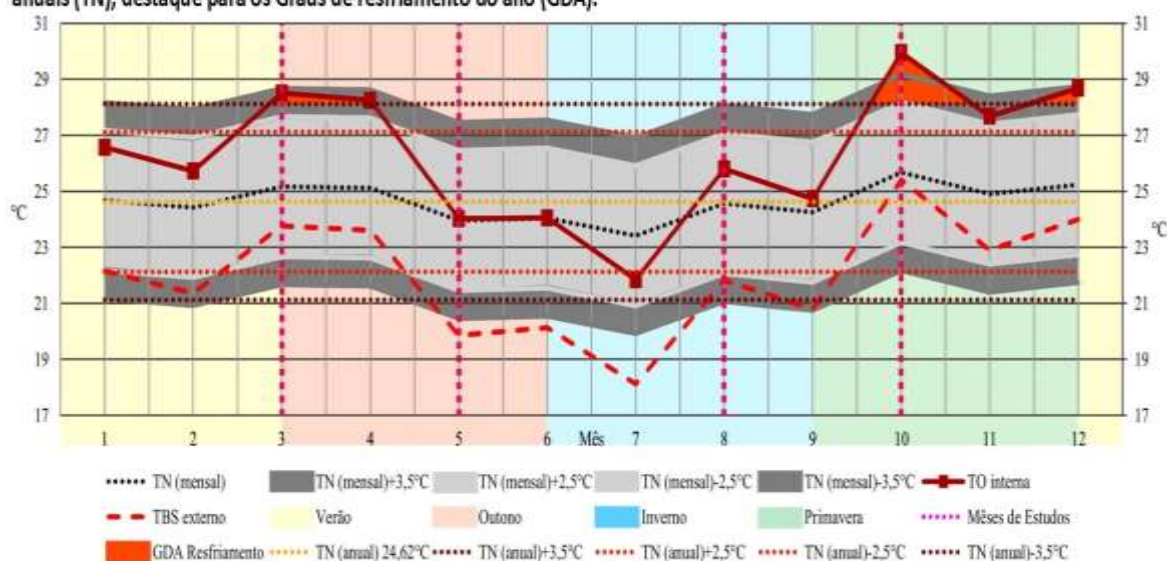
A proposta desta seção é mostrar o que foi encontrado na pesquisa, ou seja, “[...] são os dados originais obtidos e sintetizados pelo autor, com o intuito de fornecer resposta à questão que motivou a investigação” (PEREIRA, 2014, p.82).

Após a introdução de todos os dados necessários, bem como o ficheiro climático, a simulação foi gerada, e apresentou uma boa interpretação dos dados inseridos, pois não ressaltou nenhuma discrepância ou anomalia referentes aos valores introduzidos.

A média anual das temperaturas foi o determinante para a escolha dos meses a serem estudados, sendo assim, adotam-se os seguintes limitantes: para o mês de março (3) devido ao fato de sua temperatura operativa média estar excedendo de modo razoavelmente baixo o limite máximo do conforto para 80% da população, tendo como referência a TNm (Temperatura

Neutra mensal)+3,5°C, além de ser um mês de verão com dias letivos de aulas; o mês de maio (5) devido ao fato de sua temperatura operativa média estar adequada à temperatura neutra, e devido a ser um mês de outono com dias letivos; o mês de agosto (8) devido ao fato de sua temperatura operativa média estar no limite máximo do conforto para 90% da população, e devido a ser um mês da primavera com dias letivos; o mês de outubro (10) devido ao fato de sua temperatura operativa média extrapolar o limite máximo do conforto para a população, e devido a ser um mês da primavera com dias letivos, sendo assim é evidente observar que as diferentes estações e variações climáticas influem drasticamente aos resultados da simulação em questão, conforme pode ser observado na Figura 3.

a. DADOS ANUAL: Médias mensais de temperaturas operativas (TO) comparadas com as respectivas temperaturas neutras mensais e anuais (TN), destaque para os Graus de resfriamento do ano (GDA).



b. DADOS DOS MESES SELECIONADOS: Médias diárias de temperaturas operativas internas (TO int) comparadas com as respectivas temperaturas de bulbo seco externas (TBS ext).

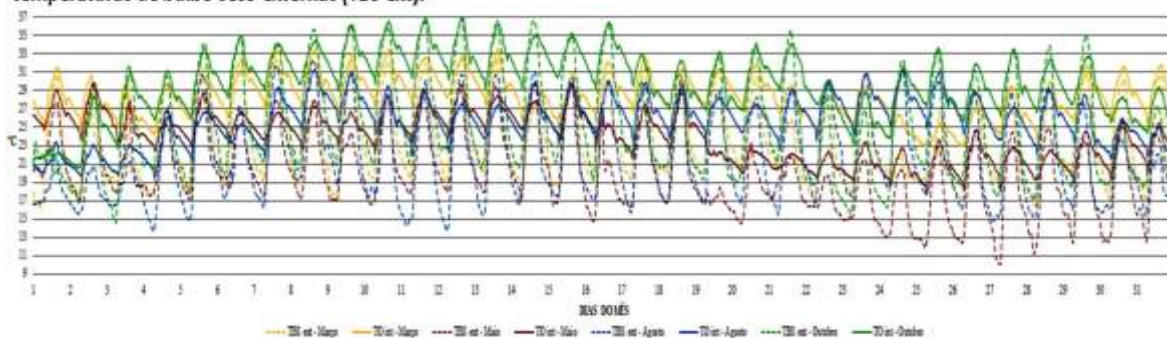


Figura 3. Dados anual – Médias mensais e Dados dos meses escolhidos – Médias diárias.

Após a escolha dos meses, os mesmos foram analisados tendo como referência as TO int (Temperaturas Operativas internas) comparadas com as TBS ext (Temperaturas de Bulbo Seco externa), a partir destes valores semanas e dias mais relevantes, foram selecionados para uma comparação e discussão dos dados obtidos, apresentados nos quatro cenários seguintes:

1º Cenário – Estação: Verão – Mês: março – Período de dias do mês: 13 a 19 – Dia específico do período: 14.

No primeiro cenário analisado, é possível constatar uma sequência diária de amplitude das temperaturas, principalmente a partir das 9 (nove) horas, e seguindo um crescente aumento no período matutino do dia, tendo seu ápice na metade do período da tarde. Sendo assim é admissível observar as principais características da inércia térmica da zona em estudo, conforme ilustrado na Figura 4.

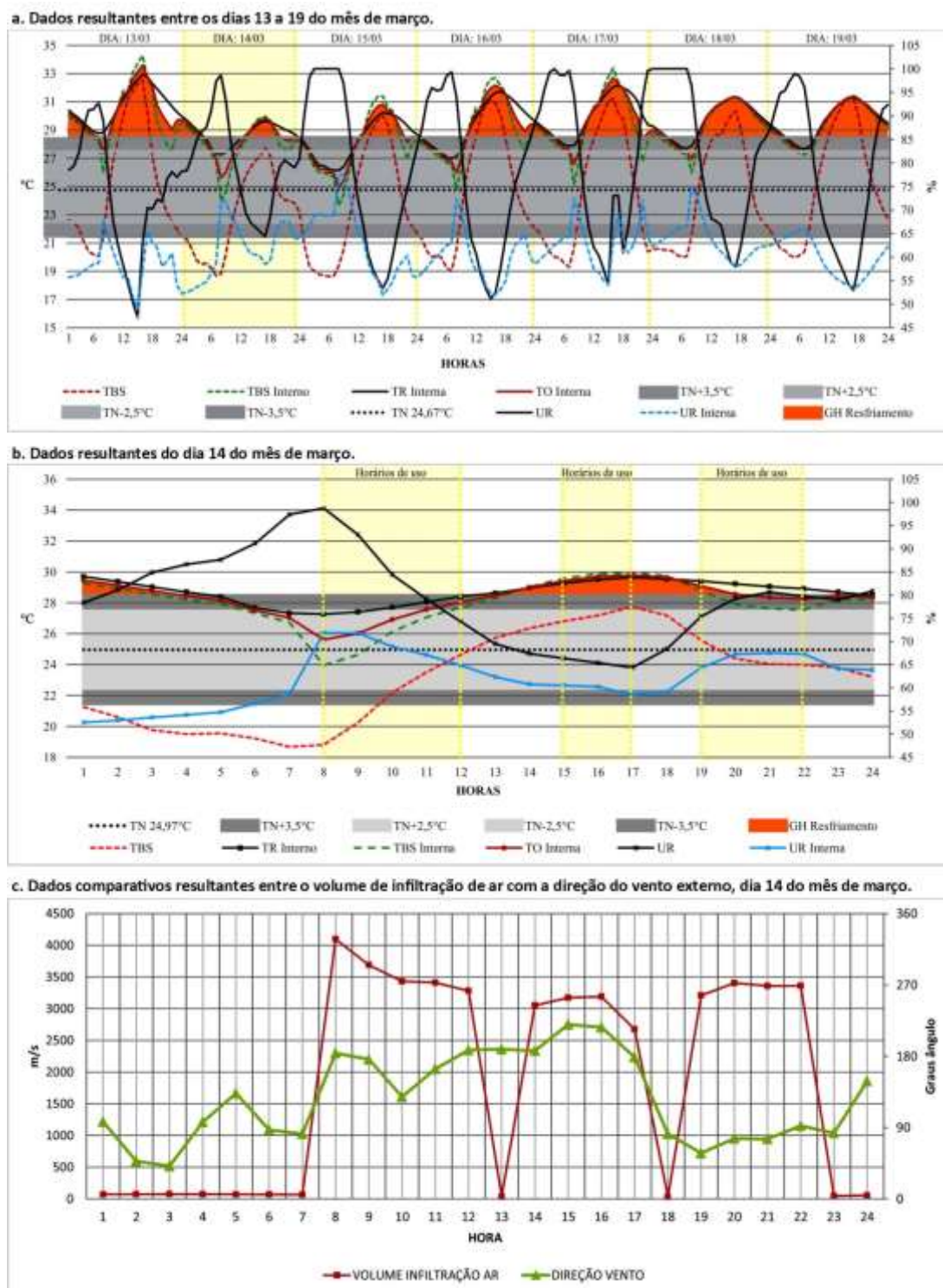


Figura 4. Dados resultantes para o 1º Cenário analisado – Mês de março.

2º Cenário – Estação: Outono – Mês: maio – Período de dias do mês: 22 a 29 – Dia específico do período: 26.

No segundo cenário analisado - Figura 5, é possível constatar uma sequência diária de amplitude das temperaturas, principalmente a partir das 9 (nove) horas, e seguindo um crescente aumento no período matutino do dia, tendo seu ápice na metade do período da tarde, porém para este mês analisado, os valores das Temperaturas Operativas não excedem a Temperatura Neutra Mensal, a não ser o dia 26 (vinte e seis), o qual pode ser observado com maior detalhe nos gráficos ilustrados na Figura 5, bem como os dados comparativos entre o volume de infiltração de ar com os dados da direção do vento externo, podendo assim demonstrar a influência que o vento exerce nos valores de temperaturas internas demonstradas.

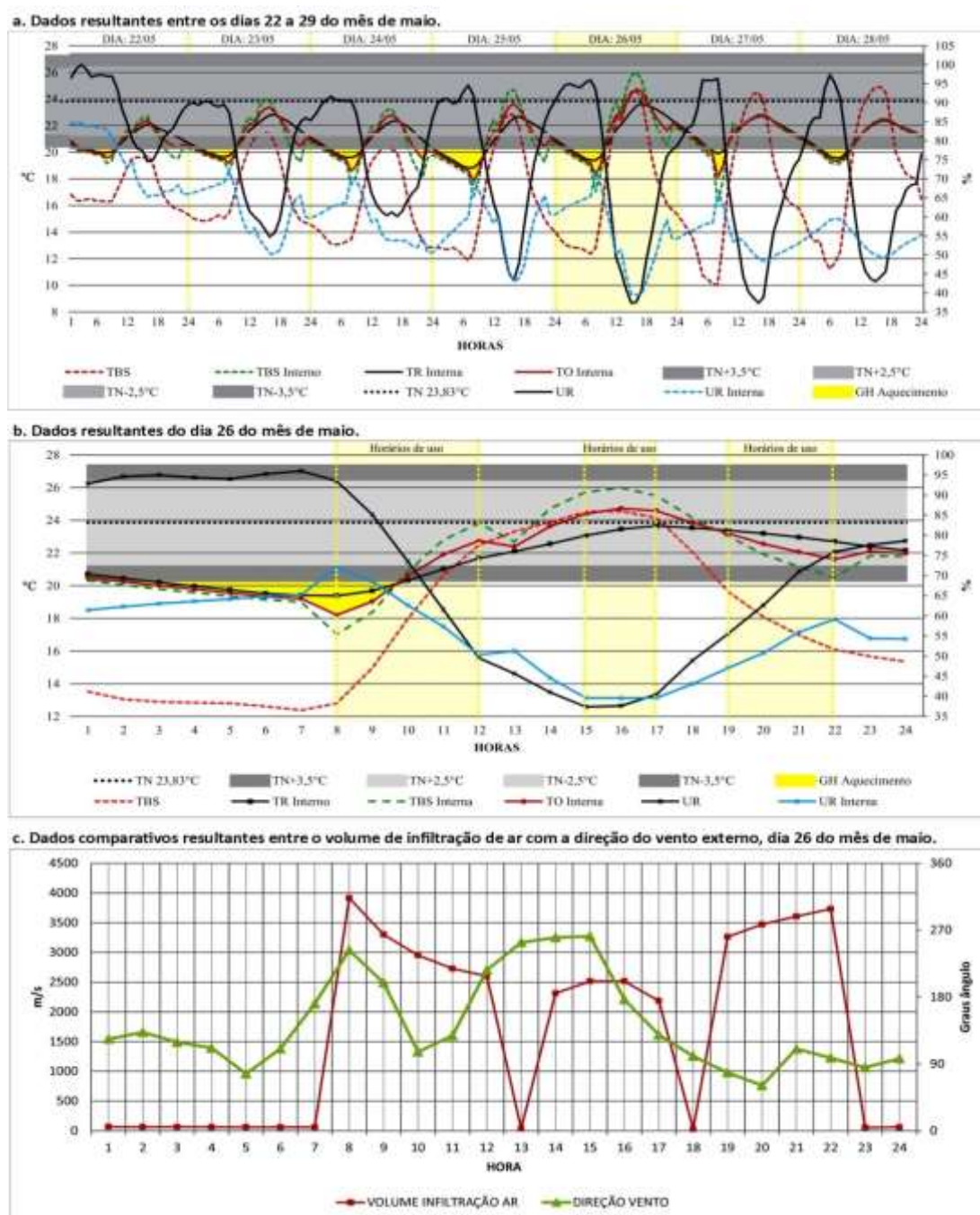


Figura 5. Dados resultantes para o 2º Cenário analisado – Mês de maio.

3º Cenário – Estação: Inverno – Mês: agosto – Período de dias do mês: 25 a 31 – Dia específico do período: 28.

No terceiro cenário analisado - Figura 6 é possível constatar a mesma seqüência diária de amplitude das temperaturas descritas anteriormente, porém para este mês analisado, os valores das Temperaturas Operativas excedem a Temperatura Neutra Mensal máxima, sendo assim o dia 28 (vinte e oito) pode ser observado com maior detalhe nos gráficos ilustrados.

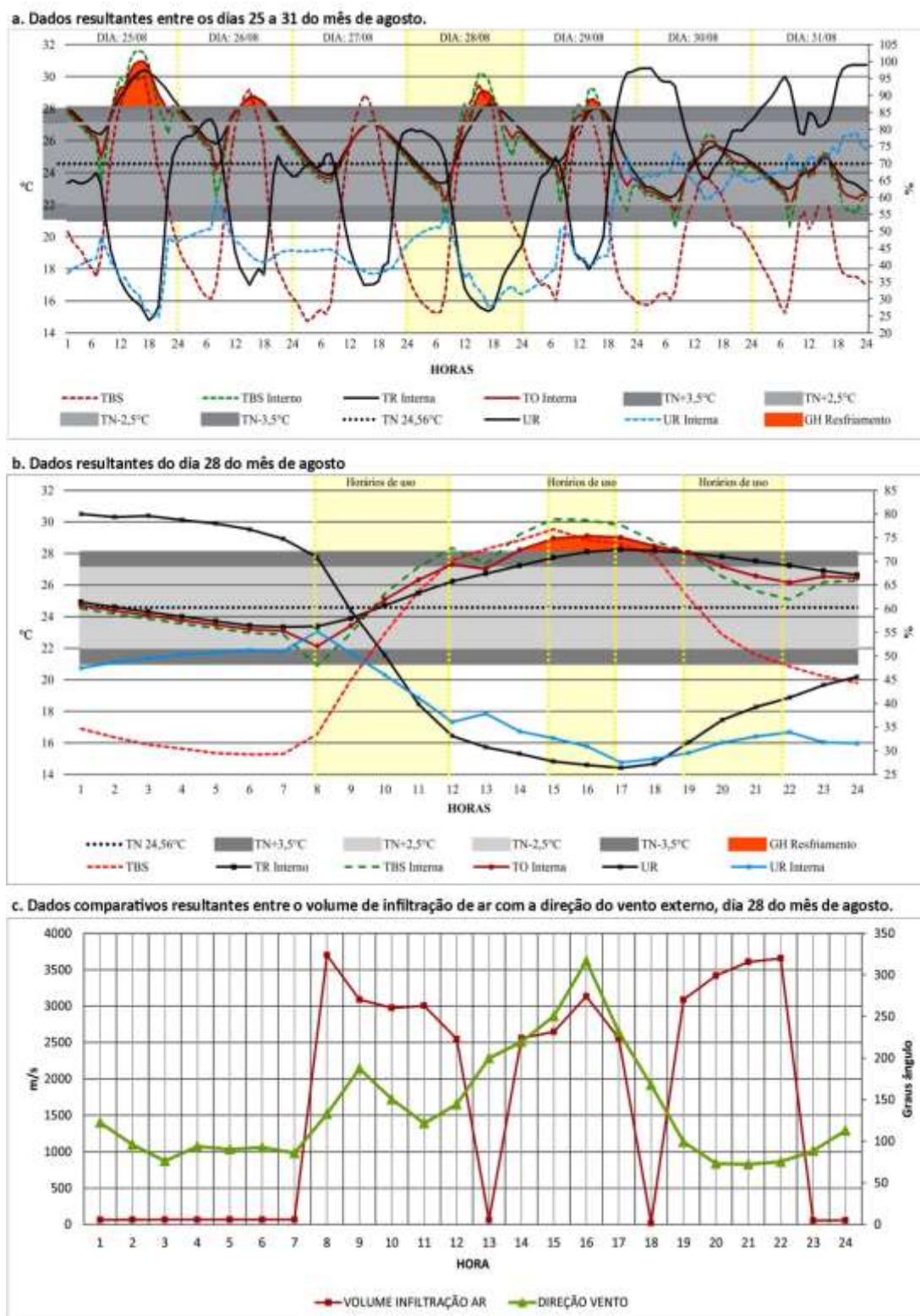


Figura 6. Dados resultantes para o 3º Cenário analisado – Mês de agosto.

4º Cenário – Estação: Primavera – Mês: outubro – Período de dias do mês: 09 a 15 – Dia específico do período: 12.

O quarto e último cenário analisado - Figura 7 é possível constatar a mesma sequência diária de amplitude das temperaturas descritas anteriormente, porém para este mês analisado, os valores das Temperaturas Operativas excedem notoriamente a Temperatura Neutra Mensal máxima praticamente para todos os dias da semana em análise, sendo assim o dia 12 (doze) pode ser observado com maior.

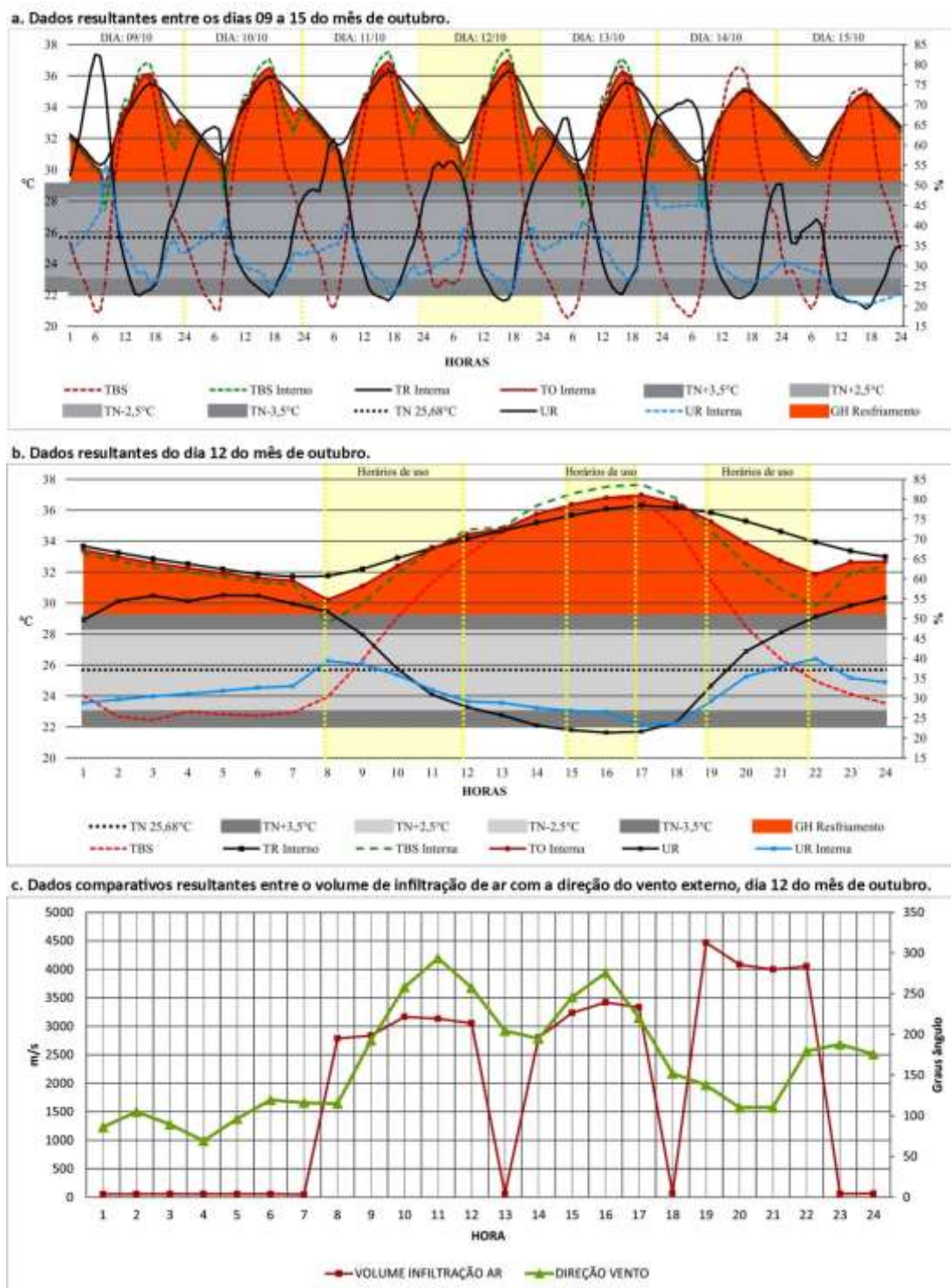
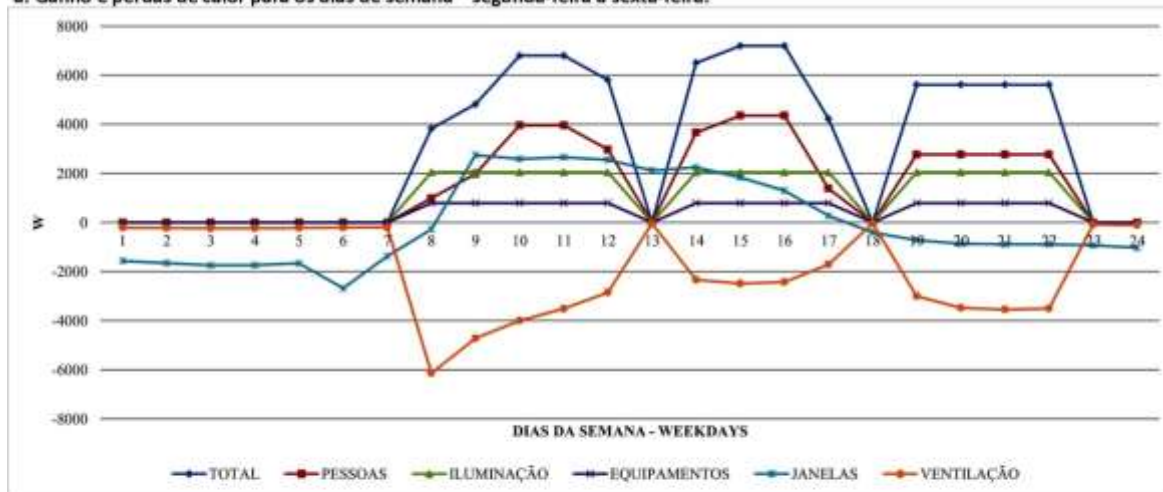


Figura 7. Dados resultantes para o 4º Cenário analisado – Mês de outubro.

Para finalizar a apresentação dos resultados, a Figura 8 descreve e ilustra os dados resultantes referentes aos ganhos e perdas de calor do ambiente em estudo, podendo assim observar que a utilização do mesmo influi drasticamente para as variáveis apresentadas nos demais gráficos ilustrados.

a. Ganho e perdas de calor para os dias de semana—segunda-feira a sexta-feira.



b. Ganho e perdas de calor para os dias de sábado.

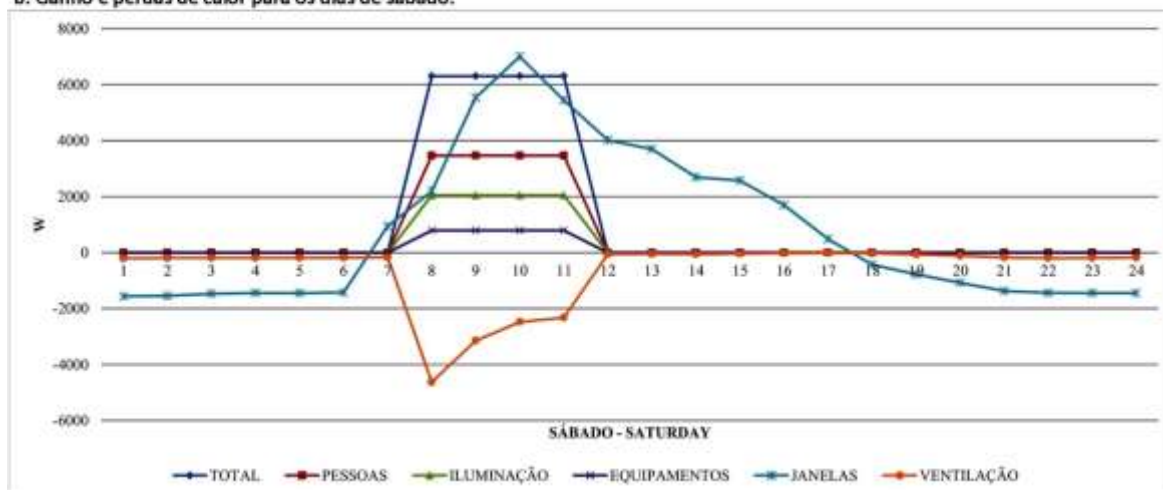


Figura 8. Dados resultantes dos ganhos e perdas de calor do ambiente em estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui apresentados sugerem que as diferenças quantitativas são reflexos da inércia térmica da edificação, bem como também devido às diversas variáveis climáticas que influem drasticamente para a resposta térmica da construção, principalmente no que se refere à amplitude diária da temperatura do ar. Neste mesmo contexto não deve ser ignorado que a capacidade térmica dos elementos construtivos, bem como os componentes constituintes da edificação, se torna variáveis fundamentais para a resposta térmica de um edifício.

Vale destacar que o armazenamento de energia térmica influi nos efeitos que as variáveis climáticas exercem sobre a temperatura do ar interno, que por sua vez serão maiores quanto mais acentuadas forem à inércia térmica da edificação, portanto, fica evidente que os dias em destaques analisados sofrem influência dos dias que se antecedem.

Conclui-se que este estudo se torna uma base a futuras pesquisas para um comparativo mais detalhado e minucioso ao que se refere à resposta térmica de uma edificação, possibilitando

assim utilizar o conteúdo exposto nesta pesquisa a novos processos metodológicos de simulações que utilizem o programa EnergyPlus®, bem como para a realização de uma nova simulação comparativa entre diferentes softwares de pesquisas, tais como o Domus⁵.

REFERÊNCIAS

- DOMUS - PROCEL EDIFICA. Software de Simulação Higrotérmica e Energética de Edificações. [S.l.]: [s.n.], 2013.
- ENERGYPLUS. Input/Output Reference. [S.l.]: EnergyPlus Documentation Main Menu, 2016.
- ENERGYPLUS. QuickStart, 2020. Disponível em: <<https://energyplus.net/quickstart>>. Acesso em: 11 jul. 2020.
- LLC, B. L. S. The Big Ladder name and logo are trademarks of Big Ladder Software LLC, 2009. Disponível em: <<https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. APOSTILA DO CURSO BÁSICO DO PROGRAMA ENERGYPLUS. Florianópolis: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- RORIZ, M. Roriz Bioclimática, 2012. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- SILVA, P. M. A. APLICAÇÃO DO PROGRAMA ENERGYPLUS COMO FERRAMENTA DO PROJECTO DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. Porto: FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, 2010.

⁵ Domus – Procel Edifica – primeiro software nacional de simulação higrotérmica e energética de edificações (DOMUS - PROCEL EDIFICA, 2013).