



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

PROCESSO ALGORÍTMICO NA ESTIMATIVA DE CONDICIONAMENTO PASSIVO COM USO DE PCM

Diego Aristófanos D. Sousa (1); Aluísio Braz de Melo (2); Carlos Alejandro Nome Silva (3)

(1) Arquiteto e Urbanista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da UFPB, diegoaristofanes@hotmail.com; R. Comerc. José Raimundo Calado, 31, Apto B205, João Pessoa-PB - 58.053-026; 83 99861-6066

(2) Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais (USP - São Carlos); Docente Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) e do PPGEACAM da UFPB, aluisiobmelo@hotmail.com; Av. Guarabira, 1125, Manaíra, João Pessoa-PB - 58.038-142; 83 98609-2318

(3) Arquiteto e Urbanista, PhD; Docente Titular do Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da UFPB, carlos.nome@gmail.com; Rua golfo de bengala, 170, Apto 303, Internares, Cabedelo PB - 58102-066; 83 99816-8912

RESUMO

PCM – Phase Change Material – traduzido para o português como “Material de Mudança de Fase”, é um termo atribuído a materiais com grande capacidade de armazenamento de calor latente. A incorporação de PCMs a vedações é capaz de propiciar o condicionamento passivo de edificações em determinadas regiões. O objetivo deste artigo é estabelecer um processo algorítmico para estimar a efetividade do uso de PCMs na estratégia de condicionamento passivo “Massa térmica para Resfriamento com Ventilação Noturna” no semiárido nordestino, mediante diferentes parâmetros de conforto, e definir pontos de fusão específicos para efetivo uso de PCMs. O método se divide em três etapas: 1. Aquisição e filtragem de dados; 2. Processamento de dados com ferramenta algorítmica; 3. Análise de dados. A fonte dos dados utilizados na pesquisa consiste em 74 arquivos climáticos do INMET; o processamento de dados se deu por meio de um algoritmo construído com o software *Grasshopper* e o plugin *LadyBug*, a partir do qual se testam dois valores de limite superior de umidade absoluta (0,012 e 0,017 g vapor/g ar seco); os dados processados são analisados por meio de estatística descritiva. Os valores estatísticos resultantes evidenciam a diversidade climática da região analisada, mostrando que parte considerável dos municípios não se beneficia da estratégia passiva caso valores inferiores de umidade absoluta sejam considerados. Os resultados para Pontos Fusão ideais para PCM correspondem aproximadamente à faixa de temperatura do polígono de conforto estabelecido pela ASHRAE (entre 25,5 e 27,1°C). Como os PCMs tendem a estabilizar temperaturas ambientais em torno de seus Pontos de Fusão, os valores apresentados são interessantes para a manutenção do conforto seguindo os parâmetros estabelecidos e permitem o máximo aproveitamento destes materiais em quaisquer das localidades estudadas.

Palavras-chave: PCM, Massa Térmica, Condicionamento Passivo, Design Algorítmico.

ABSTRACT

PCM - Phase Change Material - are materials with large latent heat storage capacity. The incorporation of PCMs into walls is capable of providing appropriate passive conditioning of buildings in certain regions. The objective of this article is to establish an algorithmic process to estimate the effectiveness of the use of PCMs in the passive conditioning strategy "Thermal Mass with Night Ventilation" in the Brazilian northeastern semi-arid region, allowing different comfort parameters and defining specific melting points for effective use of PCMs. The method is divided into three stages: 1. Data acquisition; 2. Data processing with algorithmic tool; 3. Data analysis. The source of the data used consists of 74 INMET weather data files; the data was processed through an algorithm built by the authors with the software *Grasshopper* and the plugin *LadyBug*, testing two up bounds for humid ratio (0.012 and 0.017 g steam /g dry air); the processed data were analyzed by descriptive statistics. The resulting statistical values show the climatic diversity of the analyzed region, revealing that a considerable part of the locations does not benefit from the passive strategy if lower up

bounds for humid ratio are considered. The results for the ideal melting point values for PCMs correspond approximately to the temperature range of the comfort polygon established by ASHRAE (between 25.5 and 27.1 °C). As PCMs tend to stabilize temperatures around their melting points, the values presented are interesting for the maintenance of environmental thermal comfort following the established parameters and allow the maximum efficiency of these materials in any of the studied locations.

Keywords: PCM, Thermal Mass, Passive Conditioning, Algorithms-aided Design.

1. INTRODUÇÃO

PCM é a sigla utilizada para o termo em inglês Phase Change Material, traduzido para o português como “Material de Mudança de Fase” (MARTINS, 2017). O termo é utilizado para definir materiais com grande capacidade de armazenamento de calor latente, ou seja, capazes de absorver ou devolver calor ao ambiente sem alterar sua temperatura enquanto performam uma mudança de fase (REGIN et al., 2008). PCMs se configuram como efetivos reguladores de temperatura, chegando a armazenar entre 5 a 14 vezes mais calor por unidade de volume do que materiais convencionais (SHARMA et al., 2009). Tendo em vista suas propriedades termoquímicas, a sua incorporação a vedações é capaz de conferir níveis de atraso e inércia térmica que podem ser de interesse para o condicionamento passivo de edificações em determinadas regiões, mesmo em vedações leves e de pequena espessura (KUZNIK et al., 2007; MARTINS, 2017).

O semiárido do nordeste brasileiro é uma região delimitada por um polígono que abarca municípios com determinadas condições meteorológicas comuns. Os critérios são estabelecidos pelo Conselho Deliberativo (CONDEL) da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), pela Lei Complementar nº 125, de 3 de janeiro de 2007, sendo eles: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50; e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60% (IBGE, 2017).

Comumente se associa o Semiárido à Zona Bioclimática de número 7 da NBR 15220-3 – que trata do Desempenho térmico de edificações segundo o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2005) – que recomenda “Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento” como estratégias de condicionamento passivo e a adoção de vedações externas pesadas com elevado atraso térmico e baixos fator solar e transmitância térmica. A região em estudo seria uma forte candidata a se beneficiar do uso de PCMs na promoção da estratégia passiva em questão, entretanto, o polígono do semiárido abarca diversos municípios com características climáticas ligeiramente distintas. Somado a este fato, a NBR 15220-3 possui certas limitações classificatórias e prescreve valores fixos de desempenho (RORIZ, 2012), não sendo o instrumento mais adequado na determinação da eficácia no uso deste material, nem na determinação das principais propriedades termoquímicas (especialmente Ponto de Fusão) que este deve possuir para atender a demandas específicas de cada localidade.

Tendo em vista essas considerações, o presente artigo visa estabelecer um processo algorítmico (TEDESCHI, 2014) amparado por ferramentas de simulação computacional e dados de arquivos climáticos horários, na busca por resultados que possam melhor atender e representar à diversidade climática do semiárido nordestino.

2. OBJETIVO

Estabelecer um processo algorítmico para estimar, em uma base percentual anual, a efetividade do uso de PCMs na estratégia de condicionamento passivo “Massa térmica para Resfriamento com Ventilação Noturna” no semiárido nordestino mediante diferentes parâmetros de conforto, bem como definir pontos de fusão específicos para efetivo uso de PCMs.

3. MÉTODO

O método deste trabalho se fundamenta em procedimentos de simulação computacional e análise sistemática de dados, dividindo-se em três etapas:

1. Aquisição e filtragem de dados
2. Processamento de dados com ferramenta algorítmica
3. Análise de dados.

A teoria para a construção do algoritmo e determinação de parâmetros de conforto encontra suas bases em Givoni (1992), ASHRAE (2004) e ABNT (2005). A Tabela 1 contém a lista das siglas utilizadas ao longo do trabalho e o diagrama seguinte (Figura 01) sintetiza as etapas metodológicas da pesquisa, bem como a natureza e produto dos dados envolvidos em cada etapa.

Tabela 1 – Lista das siglas utilizadas.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	PCM	Phase Change Material (Material de Mudança de Fase)
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	PDEP.PCM	Percentual de dias nos quais a estratégia passiva é efetiva com uso de PCM
EPW	Energyplus Weather Data	PF	Ponto de Fusão
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia	PHEP	Percentual de horas nas quais a estratégia passiva é efetiva
INSA	Instituto Nacional do Semiárido	PMV	Predicted Mean Vote
LSUA	Limite superior de umidade absoluta	PPD	Predicted Percentage Dissatisfied Index
MT+VN	Massa Térmica para resfriamento e ventilação Noturna		

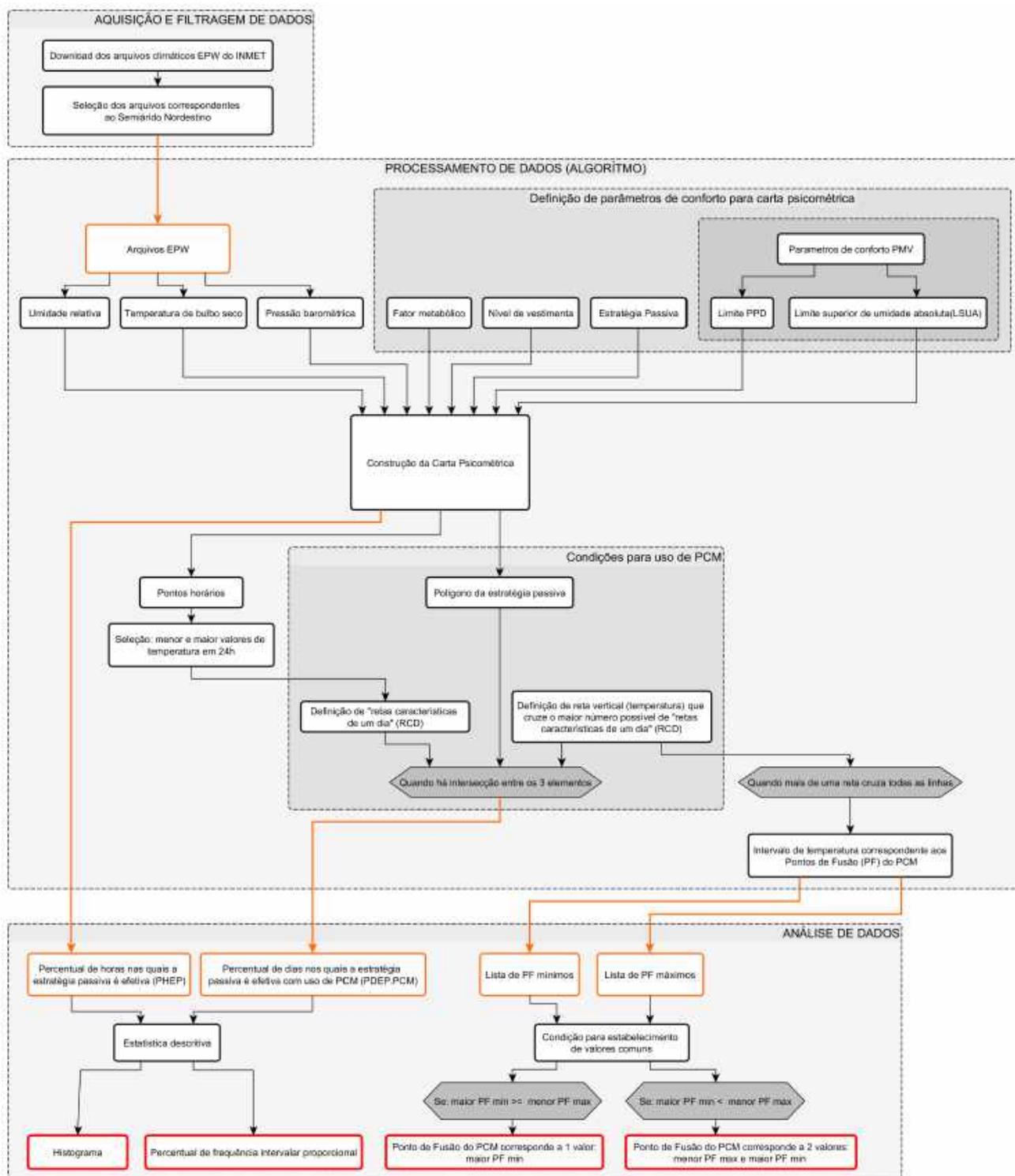


Figura 1 - Diagrama metodológico.

3.1. Aquisição e filtragem de dados

A fonte dos dados utilizados na pesquisa consiste em arquivos climáticos do INMET 2018 (LABEEE, 2018). Todos os arquivos foram baixados e selecionados aqueles correspondentes aos estados do Nordeste brasileiro.

Em seguida, realizou-se uma filtragem dos arquivos climáticos que correspondessem aos municípios classificados como pertencentes à região semiárida nordestina. As coordenadas das estações meteorológicas foram estabelecidas por suas latitudes e longitudes e posteriormente cruzadas com os *shapefiles* – arquivos com polígonos georeferenciados para programas de geoprocessamento – da delimitação classificatória do semiárido do INSA (2017), utilizando-se o software *QGIS 7.6*. A lista resultante pós-filtragem contém 74 arquivos climáticos (Figura 02).

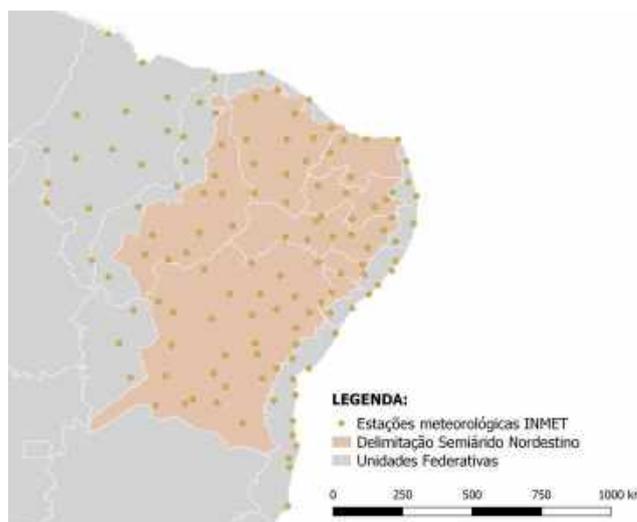


Figura 02: Delimitação do Semiárido Nordestino e Estações Meteorológicas do INMET. Fonte: Editado pelo autor a partir dos *shapefiles* do INSA (2017) e dados de estações meteorológicas do INMET (LABEEE, 2018).

3.2. Processamento de dados por ferramenta algorítmica

O processamento de dados se deu por meio de um algoritmo construído pelos autores com o auxílio da plataforma de programação visual *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D 5.14*, e do plugin *LadyBug*, cujos componentes servem à leitura e processamento de informações contidas em arquivos climáticos EPW.

3.2.1 Estimativa da efetividade no uso da estratégia passiva “Massa Térmica para resfriamento e ventilação Noturna”

O componente *Carta Psicométrica* do *Grasshopper* foi o instrumento utilizado para estimar a efetividade no uso da estratégia passiva “Massa Térmica para resfriamento e ventilação Noturna” (MT+VN), expressa em termos de “Percentual de horas nas quais a estratégia passiva é efetiva” (PHEP). Para a construção da Carta Psicométrica, foram utilizados os dados de Umidade relativa, Temperatura de bulbo seco e Pressão barométrica. Todos os 74 arquivos EPW foram processados simultaneamente, gerando 74 cartas psicométricas com pontos horários anuais alocados sobre as mesmas.

Os polígonos correspondentes à “zona de conforto” e “estratégia passiva” são gerados por outros dados de entrada sendo estes:

- Fator metabólico: 1 (corresponde a uma pessoa sentada)
- Nível de vestimenta: 0.5 (corresponde a roupas leves)
- Estratégia Passiva: Massa Térmica para resfriamento e ventilação Noturna
- Parâmetros de conforto PMV:
 - Limite PPD: 10% (percentual de pessoas insatisfeitas com a situação ambiental apresentada)
 - Limite superior de umidade absoluta (LSUA): 0,012 e 0,017

Como se pode constatar, a entrada dos dados provenientes dos arquivos EPW são relativos a cada localidade. Já os valores definidos como parâmetros de conforto são estabelecidos de forma arbitrária, a depender da situação que se pretende analisar.

Todos os dados de entrada para definição de parâmetros são fixos, à exceção do LSUA para o qual se estabeleceram dois valores: 0,012 e 0,017 g vapor/g ar seco (Figura 03). O valor 0,012 é o estabelecido pela ASHRAE (2004), que se mostra mais limitado com relação a valores superiores de umidade, por se voltar à estimativa da preferência de populações de clima temperado e a condições de conforto para ambientes climatizados artificialmente, desconsiderando ventilação natural. O valor 0,017 é um valor estimado por meio da leitura da carta psicométrica adaptada para a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que considera a ventilação natural como estratégia passiva aliada à “inércia térmica” (Figura 04). Como resultado do processamento dos dados, obtém-se duas listas com 74 valores PHEP cada.

As Figuras 05 e 06 ilustram a diferença nos polígonos de conforto e estratégia passiva resultantes dos dois valores LSUA.

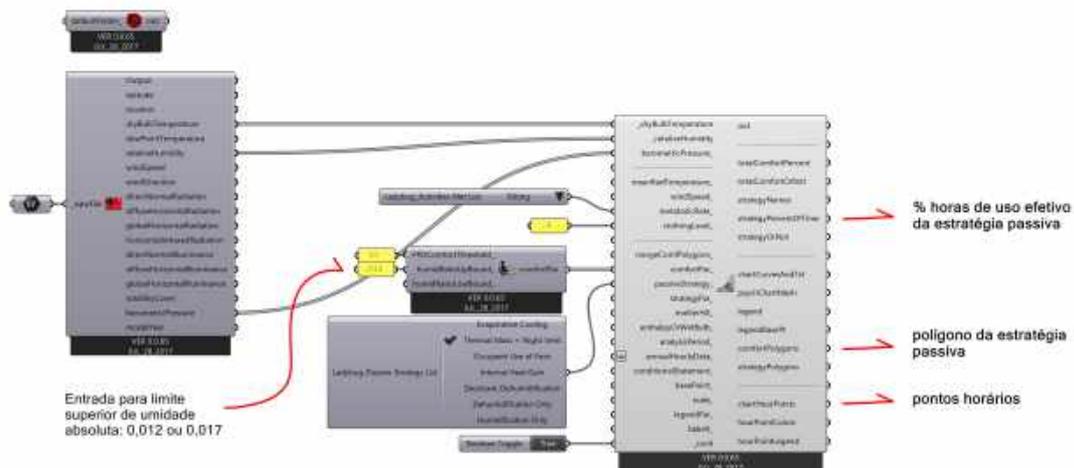


Figura 03: Primeira parte do algoritmo, mostrando os componentes utilizados na construção da carta psicométrica. Fonte: Produzido pelos autores com software *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D 5.14*.

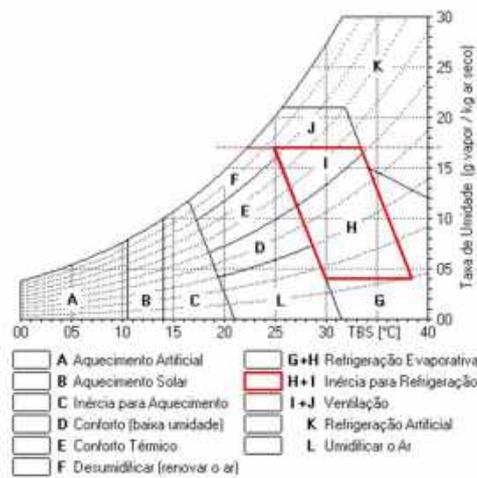
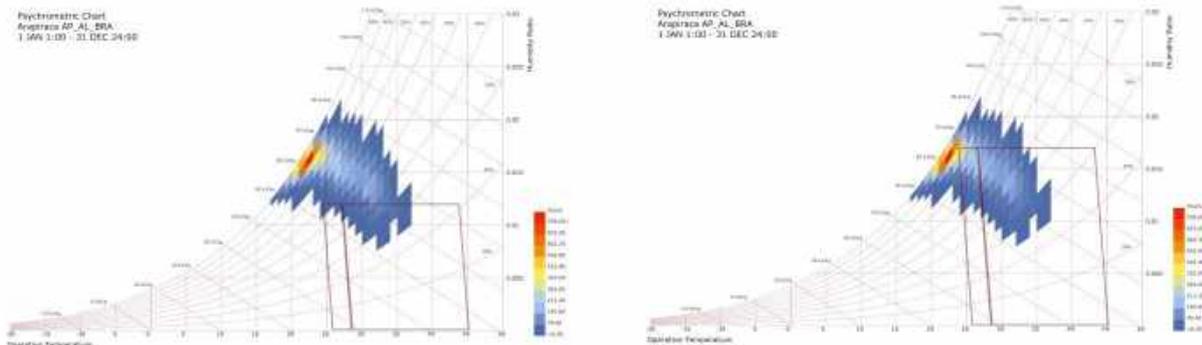


Figura 04: carta psicométrica adaptada a partir da NBR 15220-3, com destaque à estratégia passiva equivalente à MT+VN em vermelho. Fonte: Editado pelos autores a partir de ABNT (2005).



Figuras 05 e 06: Cartas psicométricas geradas para Arapiraca-AL, utilizando-se os mesmos dados de entrada e modificando o valor LSUA para 0,012 (esquerda) e 0,017 (direita), obtendo-se como resultado polígonos “zona de conforto” e “estratégia passiva” com alturas diferentes. Fonte: Produzido pelos autores com o software *Grasshopper* para *Rhinoceros 3D 5.14*.

3.2.2 Estimativa da efetividade no uso da estratégia passiva “Massa Térmica para resfriamento e ventilação Noturna” com PCMs

Enquanto os valores anteriores são expressos em termos de percentuais de horas ao longo do ano, apresenta-se aqui o interesse em ciclos de 24h, nos quais um PCM é capaz de performar um ciclo de mudança de fases, contemplando a sua liquefação e sua resolidificação. A estimativa neste caso se expressa em termos de “Percentual de dias nos quais a estratégia passiva é efetiva com uso de PCM” (PDEP.PCM).

A partir dos pontos horários distribuídos ao longo da Carta Psicométrica, são destacados os pontos correspondentes ao maior e menor valores de temperatura em 24 horas. A ligação destes dois pontos resulta na representação de uma “reta característica de um dia” (RCD). A partir destas retas, que totalizam 365 para cada um dos 74 arquivos climáticos estudados, se estabelece o percentual da efetividade no uso de PCMs em duas condições:

- A. As RCDs devem interseccionar o polígono de estratégia passiva gerado na construção da Carta Psicométrica (Figura 07);
- B. Pelo menos uma reta vertical (representando temperatura de bulbo seco) deve cruzar o maior número possível de RCDs.

As retas verticais são geradas a partir de intervalos de temperatura, definidos em função do grau de precisão da análise. Quanto maior a precisão, maior a probabilidade de que mais de uma reta interseccione todas (ou a maior parte) das RCDs de uma localidade. A precisão adotada para este estudo foi de 0,1°C, em função da capacidade de processamento do computador, resultando em 500 retas verticais distribuídas igualmente entre 0 e 50°C (Figura 08).

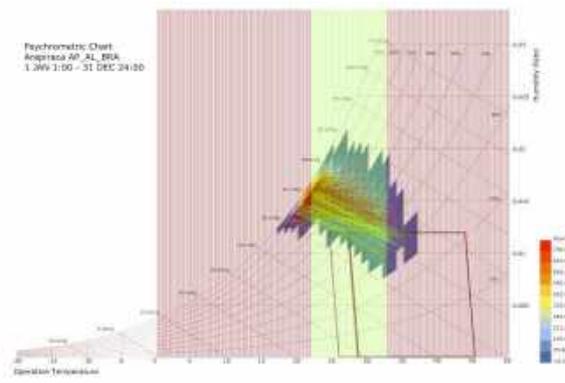
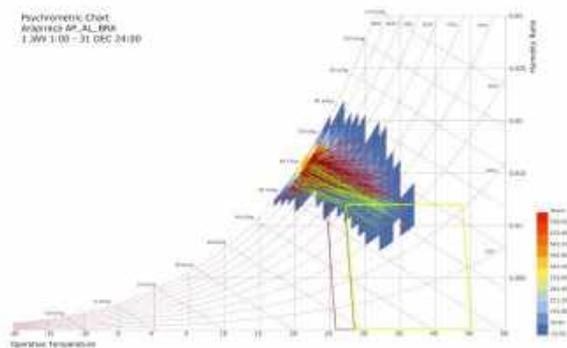


Figura 07 (esquerda): Carta psicométrica para Arapiraca-AL (LSUA 0,012) com polígono da estratégia passiva e RCDs que interseccionam o mesmo em destaque (verde). Fonte: Produzido pelos autores com o software Grasshopper para Rhinoceros 3D 5.14.

Figura 08 (direita): Carta psicométrica para Arapiraca-AL (LSUA 0,012) com retas verticais que cruzam o maior número de RCDs em destaque (verde). Fonte: Produzido pelos autores com o software Grasshopper para Rhinoceros 3D 5.14.

A partir do número resultante de RCDs que atendem às duas condições estabelecidas, obtém-se o valor PDEP.PCM para uma dada localidade. O processamento dos 74 arquivos climáticos, sob os dois valores LSUA (0,012 e 0,017), resulta em duas listas com 74 valores PDEP.PCM cada.

3.2.3 Intervalo de temperatura correspondente aos Pontos de Fusão do PCM

Quando mais de uma reta vertical intersecciona a maioria das retas características de um dia, tem-se como resultado um intervalo de temperatura correspondente à principal propriedade termoquímica que o PCM deve atender: Ponto de fusão (PF). Isso quer dizer que se o material escolhido para desempenhar a função de PCM possuir PF compreendido neste intervalo de temperatura, o mesmo conseguirá desempenhar o seu papel como regulador térmico ao longo dos ciclos diários.

O processamento dos 74 arquivos climáticos, sob os dois valores LSUA (0,012 e 0,017), resulta em duas listas com 74 intervalos de temperatura cada. Cada uma é decomposta em outras duas listas:

- Lista de Pontos de Fusão mínimos (LSUA 0,012)
- Lista de pontos de fusão máximos (LSUA 0,012)
- Lista de Pontos de Fusão mínimos (LSUA 0,017)
- Lista de pontos de fusão máximos (LSUA 0,017)

A partir das listas de valores mínimos e máximos é possível estabelecer um valor ou valores comuns de Ponto de Fusão, que possam atender a mais de uma das localidades em estudo.

3.3 Análise de dados

3.3.1 Análise estatística descritiva

As listas com percentuais de horas e de dias resultantes da etapas 3.2.1 e 3.2.2 são analisadas e comparadas por meio de estatística descritiva, com histogramas de frequências, médias, assimetria e curtose; um segundo gráfico de distribuição percentual de frequências é gerado por meio de uma classificação intervalar proporcional, classificando os dados das 4 listas nos 5 intervalos seguintes: [0-20];]20-40];]40-60];]60-80];]80-100].

Os gráficos e dados estatísticos são gerados a partir do software *IBM SPSS Statistics 24*.

3.3.2 Análise de Intervalos de Pontos de Fusão mínimos e máximos

Os valores das listas de Pontos de Fusão mínimos e máximos são ordenadas de forma a se obter, para cada valor LSUA, um intervalo de Pontos de Fusão mínimos e um intervalo de Pontos de Fusão máximos. A partir dos valores mínimos e máximos destes novos intervalos se estabelece uma condição para se determinar um único valor ou dois valores, que correspondam à característica que o PCM a ser utilizado deva possuir para atender a todas as 74 localidades em estudo neste trabalho, conforme a Figura 09:

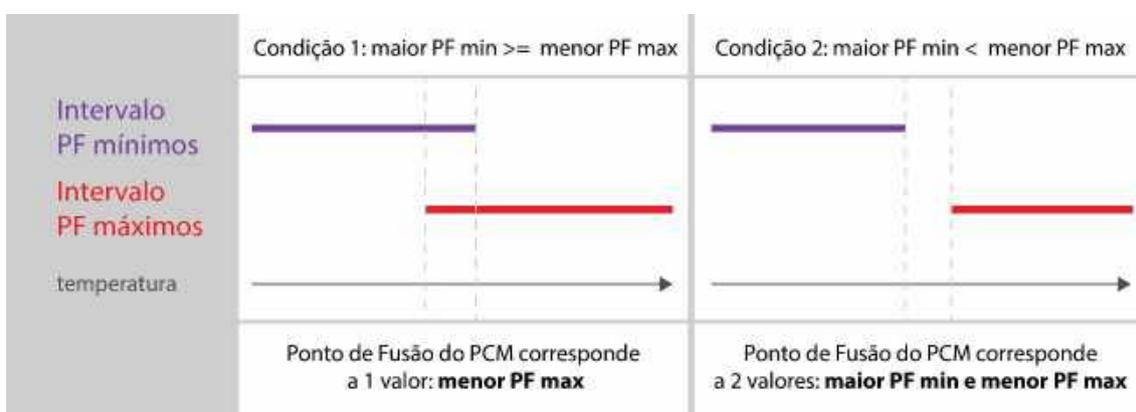


Figura 09: Quadro com condições para o estabelecimento de um valor único ou dois valores de Pontos de Fusão para o PCM.

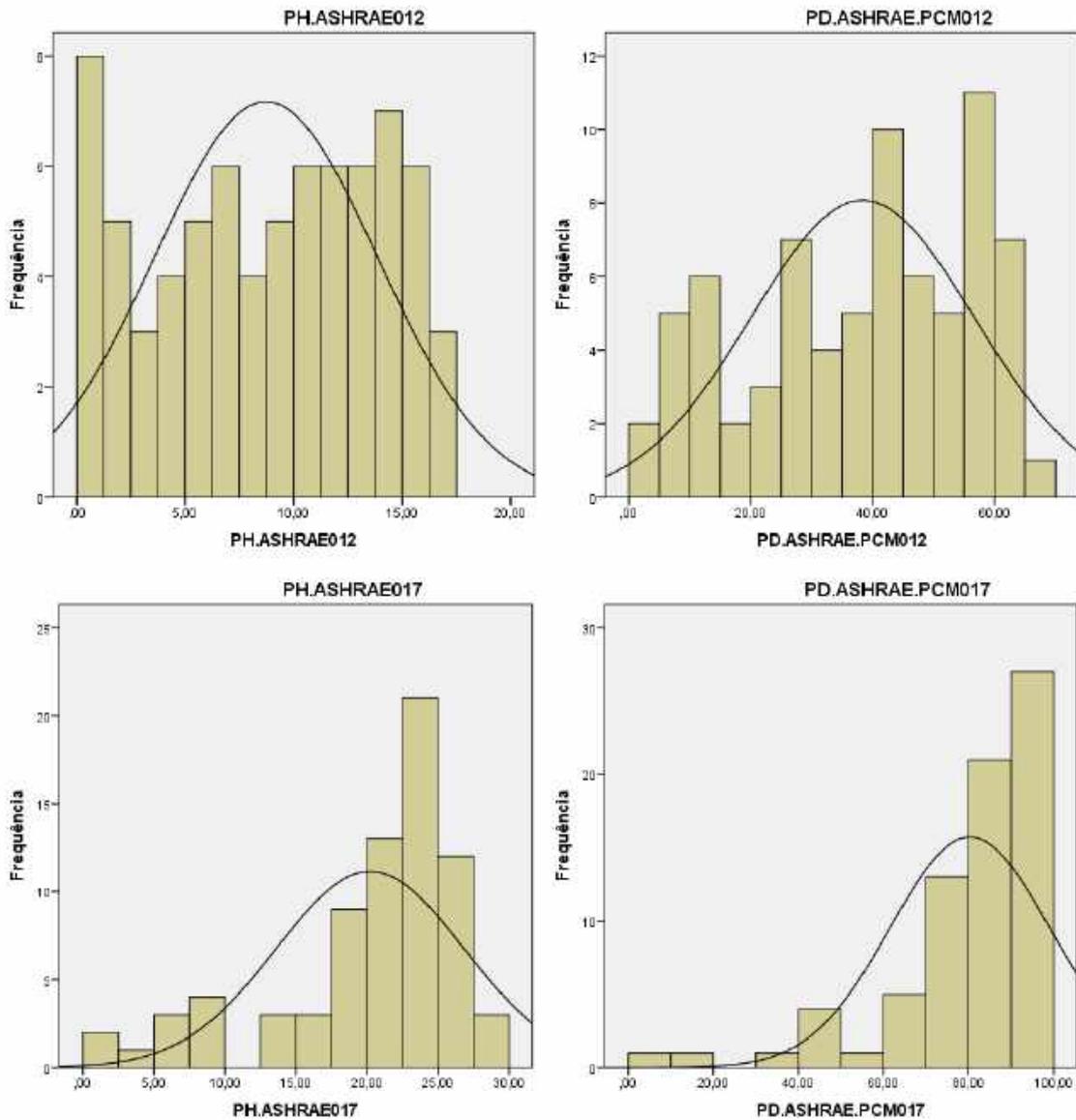
4. RESULTADOS

A partir da tabela de dados estatísticos descritivos e histogramas (Tabela 02 e Figuras 10 a 13), é possível observar que as duas listas PHEP possuem médias menores quando comparados às médias das listas PDEP.PCM. Comparando as médias entre as listas PHEP e entre as listas PDEP.PCM separadamente, observa-se que a adoção de LSUA 0,017 apresenta valores médios superiores à adoção do valor 0,012.

Todos os histogramas apresentam distribuição negativamente assimétrica. Entretanto, a assimetria para as listas com valor LSUA 0,017 é mais acentuada enquanto os histogramas para o valor 0,012 apresentam uma distribuição mais central. Quanto à curtose, os histogramas para 0,017 apresentam distribuição leptocúrtica, enquanto os com 0,012 apresentam distribuição platicúrtica.

Tabela 02: Valores estatísticos descritivos

	N Estatística	Amplitude Estatística	Média Estatística	Assimetria Estatística	Curtose Estatística
PHEP/LSUA 0,012	74	17,17	8,7221	-,161	-1,203
PDEP.PCM/LSUA 0,012	74	64,93	38,3414	-,388	-1,004
PHEP/LSUA 0,017	74	29,59	20,2269	-1,326	1,207
PDEP.PCM/LSUA 0,017	74	93,42	80,3295	-1,980	4,433
N válido (listwise)	74				



Figuras 10 a 13: Histogramas para PHEP/LSUA 0,012 (superior esquerdo), PDEP.PCM/LSUA 0,012 (superior direito), PHEP/LSUA 0,017 (inferior esquerdo) e PDEP.PCM/LSUA 0,017 (inferior direito).

A classificação dos percentuais das frequências em intervalos de proporção única ilustra a relação proporcional entre as quatro listas, podendo-se observar em qual dos intervalos as mesmas se concentram (Figura 14). As modas estatísticas para as listas PHEP com valores LSUA 0,012 e 0,017 são respectivamente “00,00 – 20,00” e “20,01 – 40,00”; já as modas para as listas PDEP.PCM com valores 0,012 e 0,017 são respectivamente “40,01 – 60,00” e “80,01 – 100,00”.

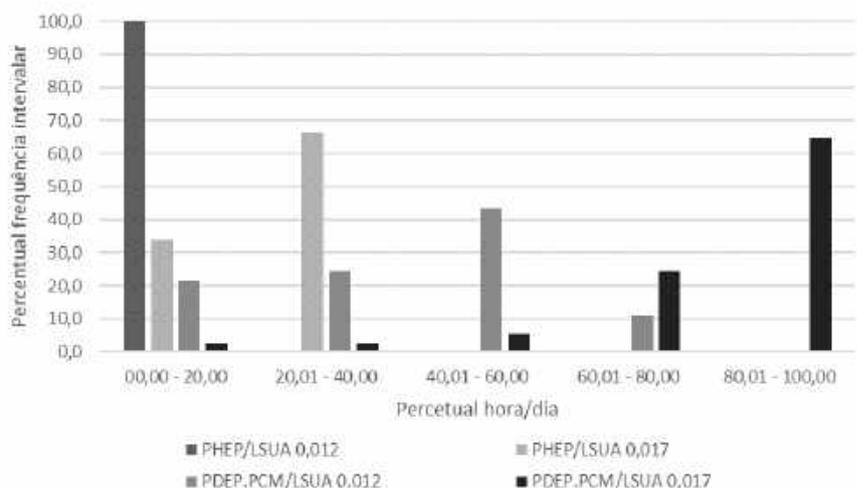


Figura 14: Gráfico percentual de distribuição de frequências em intervalos proporcionais

Finalmente, a análise dos Pontos de Fusão mínimos e máximos, mediante as condições para o estabelecimento de um valor único ou dois valores, teve como resultados 25,9 e 27,1°C para LSUA 0,012; e 25,5°C para LSUA 0,017, conforme se observa na Figura 15:

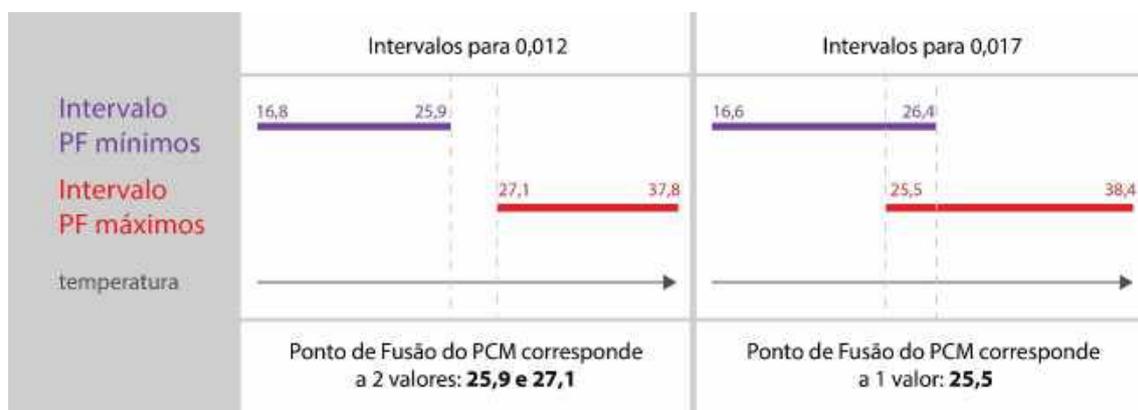


Figura 15: Quadro com resultados da Análise de Intervalos de Pontos de Fusão mínimos e máximos.

5. CONCLUSÕES

A partir dos histogramas e do quadro de valores estatísticos descritivos é possível observar que os valores PHEP possuem médias significativamente menores quando comparados aos percentuais de PDEP.PCM. O resultado era esperado, pois o período de um dia é capaz de incorporar horas que estejam fora do polígono correspondente à estratégia passiva dentro dos parâmetros de conforto estabelecidos.

As curtose e a assimetria dos histogramas gerados para as duas listas com valor LSUA 0,012 indicam uma distribuição mais homogênea entre os intervalos de frequência, evidenciando uma heterogeneidade nas condições climáticas e a existência de uma parcela considerável de municípios do semiárido nordestino nos quais o uso de MT+VN seria menos efetivo.

As curtose e assimetria para as duas listas com valor LSUA 0,017 evidenciam uma maior flexibilidade em termos de aceitabilidade, indicando que, sob condições ideais de dissipação do calor por ventilação natural, a maior parte dos municípios avaliados se beneficiaria da estratégia passiva em questão.

Quanto ao resultado para os valores de Pontos Fusão ideais para PCM obtidos, em ambos valores LSUA 0,012 e 0,017, observam-se valores médios – entre 25,5 e 27,1°C – que correspondem aproximadamente à faixa de temperatura na qual se encontra o polígono de conforto estabelecido pela ASHRAE. Como os PCMs tendem a estabilizar temperaturas em torno de seus Pontos de Fusão, os valores apresentados são interessantes para a manutenção do conforto seguindo os parâmetros estabelecidos.

A partir dos 74 arquivos climáticos analisados neste trabalho não se pode atribuir validade estatística representativa para todos os municípios do semiárido do nordeste, afinal, o estudo se encontra circunscrito àqueles que possuam arquivos climáticos. Entretanto, reconhece-se a sua contribuição na realização de estudos comparativos, tornando possível confrontar diferentes parâmetros de conforto. Assim, este trabalho não pretende definir valores de parâmetros de conforto mais adequados ou representativos da realidade, cabendo a trabalhos futuros de caráter experimental a validação de resultados com esse fim.

Por fim, mediante parâmetros pré-estabelecidos pelo pesquisador ou projetista, o processo algorítmico apresentado é capaz de estimar valores percentuais anuais de eficiência no uso da Massa Térmica para resfriamento com uso de PCMs, além de indicar pontos de fusão ideais para seu efetivo funcionamento em uma ou várias localidades simultaneamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE STANDARD 55-2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- GIVONI, Baruch. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Buildings 18. 1992.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Semiárido Brasileiro**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em abril de 2019.
- INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **SIGSAB – Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro**. 2017. Disponível em <<http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>>. Acesso em: abril de 2019.

- KUZNIK, Frédéric; VIRGONE, Joseph; ROUX Jean-Jacques. **Energetic efficiency of room wall containing PCM wallboard: A full-scale experimental investigation**. Energy and Buildings 40. 2008.
- LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Arquivos climáticos INMET 2018**. Florianópolis, SC, 2018. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>>. Acesso em: abril de 2019.
- MARTINS, Bruno Filipe Moura. **Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Melhoria do Desempenho Térmico de Edifícios**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade do Porto Porto. Portugal: 2017.
- REGIN, A.F.; SOLANKI S.C.; SAINI J.S. **Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12. 2008.
- RORIZ, Maurício. **UMA PROPOSTA DE REVISÃO DO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO**. São Carlos, SP, Janeiro de 2012.
- SHARMA, A.; TYAGI V. V.; C. R.; BUDDHI Chen, D. **Review on thermal energy storage with phase change materials and applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13. 2009.
- TEDESCHI, Arturo. **AAD Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper**. Le Penseur, 2014.