ANAIS
IV EURO ELECS
2021

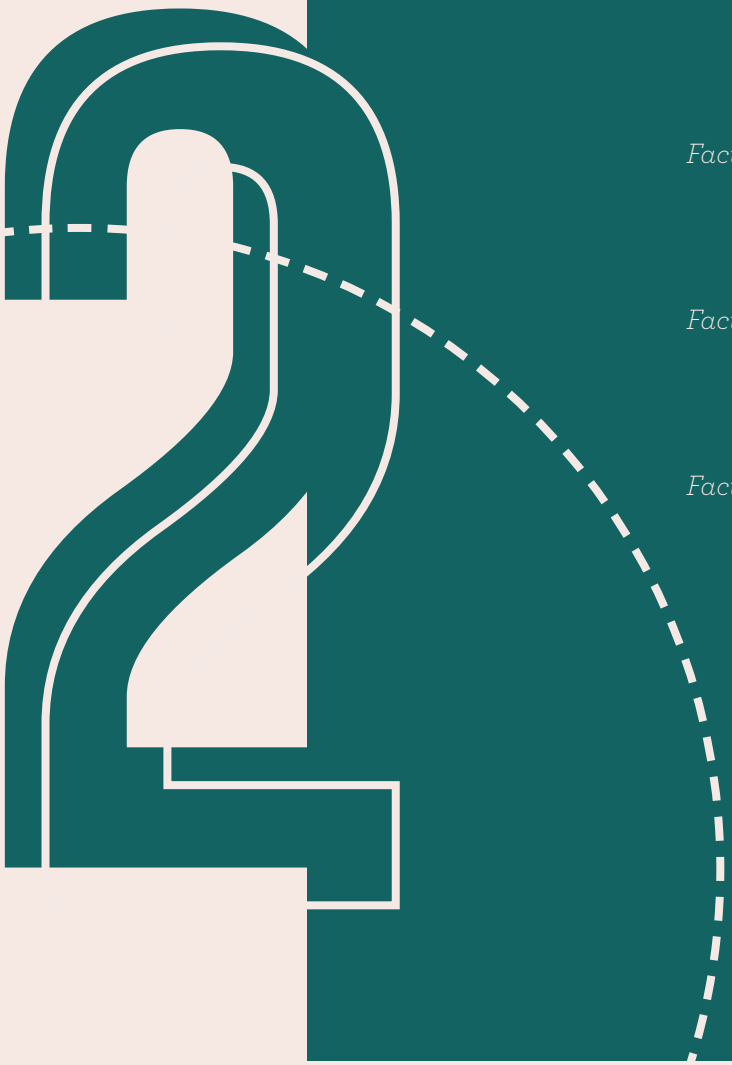
ARTIGO

ANÁLISE TÉRMICA DE CONCRETOS COM A INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS LEVES

PIMENTEL, Fabrício
(fabricio.pigasi@gmail.com)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFRJ), Brasil

VELASCO, Reila
(reila@fau.ufrj.br)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFRJ), Brasil

ALMEIDA, Tatiane
(tatiane.almeida@fau.ufrj.br)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UFRJ), Brasil



PALAVRAS-CHAVE:

Desempenho Térmico, Painéis pré-moldados, Argila Expandida, Pérolas de EPS.

RESUMO

O território brasileiro, devido a sua extensão e localização, apresenta diferentes tipos de clima. Com isso, um dos objetivos da arquitetura sustentável é a busca por soluções que potencializem o conforto térmico interno e a eficiência energética da edificação, que podem ser alcançados pelo uso de sistemas construtivos diferenciados e materiais alternativos, através da incorporação de agregados leves em vedações verticais. Portanto, a proposta desta pesquisa é a avaliação das propriedades térmicas de painéis pré-moldados, produzidos a partir da substituição dos agregados naturais por agregados leves. Para tanto, dois tipos de concretos foram produzidos: um com a substituição total dos agregados naturais, brita e areia, por argila expandida (graúda e miúda), e outro com a substituição total da brita por pérolas de EPS. Para fins comparativos têm-se, também, o concreto referência produzido com agregados naturais. A caracterização térmica dos concretos foi avaliada, sob diferentes amplitudes de temperatura, com a utilização de uma câmara térmica e sensores de temperatura, onde uma das faces laterais de cada painel foi submetida à ação do calor por meio de um módulo de aquecimento. Os concretos foram avaliados, também, através de ensaios de resistência à compressão, absorção e massa específica. Os resultados de massa específica mostraram que os concretos produzidos enquadram-se na categoria de concreto leve. Os resultados de compressão mostraram que o concreto com argila expandida enquadra-se na categoria de concreto estrutural, enquanto o concreto com pérolas de isopor caracteriza-se como concreto para vedação. Os ensaios térmicos mostraram a viabilidade do uso de concretos leves para redução do calor em painéis, onde a redução máxima de temperatura observada foi da ordem de 7ºC do concreto com argila expandida, em relação ao concreto referência.

1. INTRODUÇÃO

Quando se pensa em uma arquitetura de qualidade, o conforto térmico e a eficiência energética são temas que devem ser considerados, pois ambos prezam pelo uso do espaço condicionado a sua excelência, possibilitando assim uma ambientação com capacidade de receber o usuário para que o mesmo obtenha acolhimento no local que vivencia, seja ele em sua moradia, trabalho ou lazer. Segundo estudo realizado por Lan *et al* (2011), o desconforto térmico tem um efeito negativo na produtividade do ser humano.

Em termos de mudanças climáticas, Bayomi *et al* (2019) citam em seu artigo que é previsto um aumento na temperatura média global de 1,4°C a 5,8°C até o ano 2100, o que impacta nos níveis recomendados de conforto nas edificações. Porém, as alterações climáticas externas às edificações podem ser acompanhadas por adaptações ou buscas por soluções na fase da concepção arquitetônica de forma a minimizar os impactos térmicos aos usuários. Neste aspecto, há uma série de fatores que podem ser avaliados, como por exemplo, implantação do projeto, iluminação, ventilação, temperatura e umidade do ar, localização geográfica e materialidade da edificação, e sistemas construtivos utilizados.

Diferentes pesquisas têm buscado analisar o desempenho termo-energético de diferentes sistemas estruturais e materiais empregados nas envoltórias das edificações (Oliveira e Alves, 2021; Ustaogly et al, 2020; Almeida, 2019; Bezerra, 2003; Sacht, 2008; Angelin, 2014). Destaca-se no trabalho desenvolvido por Almeida (2019) que o sistema construtivo em alvenaria estrutural apresentou melhor desempenho térmico em comparação ao sistema em paredes de concreto, para o qual o desempenho precisou então ser incrementado com a inclusão de material com características isolantes. Portanto, torna-se importante a busca por soluções para alcançar a potencialização do conforto térmico interno das edificações. Neste contexto, enquadra-se o concreto leve, um material que pode ser utilizado visando a adequação das vedações das edificações ao clima de forma a proporcionar melhor conforto térmico aos usuários das edificações.

O concreto leve se caracteriza pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves artificiais (vermiculita, Poliestireno Expandido e argila expandida) e/ou naturais (diatomita, pedra pomes, escória e cinzas vulcânicas). Segundo Eurolight (1998) e Holm e Bremmer (2000) uma das maiores vantagens que esse material possui em relação ao concreto convencional é a redução da absorção do calor e da transferência proveniente da radiação solar. Tal comportamento pode ser alcançado uma vez que os agregados leves possuem estrutura celular na qual o ar fica aprisionado (Sacht, 2008).

Deve-se destacar, ainda, que o concreto leve possui massa específica inferior ao concreto convencional, o que traz vantagens para o seu uso como: diminuição de peso próprio das estruturas e da edificação, menor carga nas fundações, facilidade no manuseio e transporte de peças. Nota-se, portanto, que o concreto leve pode agregar diferentes valores a um projeto, e na concepção arquitetônica possui destaque no que se refere ao conforto térmico de edificações.

Dessa forma, o objetivo do presente artigo é avaliar experimentalmente os benefícios térmicos da incorporação de pérolas de EPS e argila expandida no concreto, em substituição total aos agregados naturais, em painéis cimentícios. Adicionalmente, propriedades relacionadas a alterações nos valores de massa específica e resistência à compressão simples também foram avaliadas.

2. METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS E PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Os materiais utilizados para a fabricação do concreto foram: cimento CPVARI-RS, com massa específica de 2950 Kg/m^3, agregado miúdo caracterizado como uma areia média, com dimensão máxima característica de 4,8 mm, módulo de finura de 2,45 e massa específica igual a 2600 Kg/m^3, e agregado graúdo com dimensão máxima característica de 9,5 mm e massa específica igual a 2655 Kg/m^3. Além disso, foram utilizados os seguintes agregados leves: pérolas de poliestireno expandido (EPS) com diâmetros variáveis de 1 a 4 mm e massa especifica de 17,5 Kg/m, argila expandida miúda (AEM) com valores de massa específica e absorção iguais a 1680 Kg/m^3 e 6,72%, respectivamente, e argila expandida graúda (AEG) com valores de massa específica e absorção iguais a 1070 Kg/m^3 e 13,13%, respectivamente. O aditivo superplastificante utilizado é a base de policarboxilato modificado com nanosílica estabilizada, com teor de sólidos igual a 48,6%, e água da rede de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

A caracterização dos materiais e a dosagem do concreto referência foram obtidas com o auxílio da pesquisa feita por Reis *et al* (2018). O concreto referência foi dosado para a obtenção de resistência à compressão aos 28 dias de idade igual a 50 MPa (CREF). Com base neste concreto, foram utilizadas as pérolas de poliestireno expandido em substituição total do agregado graúdo, o que gerou o concreto com denominação "CPE" na Tabela 1. O concreto denominado "CAE" representa o concreto produzido com 100% de substituição dos agregados naturais (miúdo e graúdo) por argila expandida miúda (AEM) e argila expandida graúda (AEG).

Concreto	Cimento	Areia	Brita	PPE	AEM	AEG	Aditivo	Água
CREF	480,01	612,55	979,10	-	-	-	1,52	190,95
CPE	480,00	612,55	-	6,46	-	-	0,81	190,95
CAE	480,00	-	-	-	447,70	465,33	0,61	190,95

Tabela 1. Proporcionamento dos materiais em kg/m^3.

A produção dos concretos foi feita em sala climatizada a 21°C ± 1°C, com a utilização de uma betoneira com capacidade de trabalho de 120 litros. O procedimento de mistura utilizado na produção do concreto CPE foi iniciada com a introdução da areia, cimento e 1/5 do total da água necessária para a mistura na betoneira por 60 segundos. Em seguida, foi adicionado 3/5 da água total e a betoneira foi

ligada por 180 segundos. Por fim, foi adicionado o isopor, o restante da água e o superplastificante, misturados por 360 segundos. No que se refere ao concreto com argila expandida, os agregados leves foram adicionados previamente à betoneira, juntamente com o total de água de absorção, mantendo-os em homogeneização e absorção da água por 15 min. Em seguida, foram adicionados cimento, água e superplastificante, por tempos similares aos apresentados anteriormente.

O adensamento do concreto foi realizado em mesa vibratória e em seguida foi feita a moldagem dos corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas, identificados e transferidos para um tanque de cura com cal dissolvida, onde foram mantidos até o momento de realização dos ensaios.

2.1.1 Abatimento do tronco de cone e comportamento sob compressão

A caracterização no estado fresco foi realizada através do ensaio de abatimento do tronco de cone, que tem como objetivo o resultado sobre a consistência e fluidez do material produzido, segundo a norma ABNT NBR NM 67(1998).

No estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão e massa específica. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões iguais a 100mm de diâmetro x 200mm de altura, utilizando prensa hidráulica servocontrolada, a uma velocidade com controle por deformação a uma taxa de 0,025mm/min. Os concretos foram avaliados em duas idades diferentes: 1 dia e 28dias.

O ensaio de massa específica foi realizado segundo a ABNT NBR 9778:2005, que compreendeu as seguintes etapas: secagem dos corpos de prova em estufa; saturação em água; fervura por um período de 5 horas para, após resfriamento, obtenção do peso em estado “saturado superfície seca” e em condição submerso, via balança hidrostática.

2.1.2 Descrição da Câmara Térmica

O ensaio térmico foi realizado em uma câmara térmica, projetada e construída por Almeida (2019), tendo como referência Souza (2017). A câmara, de dimensões totais de 1,42x1,04x0,90m, é composta por placas de compensado naval e isolada com placas de poliestireno expandido (EPS) de alta densidade, com 10cm de espessura. A câmara é dividida em três partes: o suporte com rodízio dos painéis (Figura 1-a), diferentes compartimentos da câmara (Figura 1-b) e o módulo de aquecimento (Figura 1-c). A câmara possui duas aberturas superiores de 1cm de diâmetro cada uma para a passagem dos sensores de temperatura utilizados durante as aferições.

O módulo de aquecimento é acoplado lateralmente à câmara. Também feito em compensado naval, é revestido internamente por folhas de papel alumínio, com o objetivo de tornar a distribuição de calor, transmitida pelas lâmpadas, unifor-

me. Neste módulo podem ser acopladas até 12 (doze) lâmpadas, separadas em 4 (quatro) circuitos controlados por dimmers. Para o ensaio, foram utilizadas duas lâmpadas halógenas de 70W, em um primeiro ensaio e duas lâmpadas halógenas de 40W no segundo ensaio. A fonte de calor encontra-se a uma distância de 65cm em relação ao painel utilizado nos ensaios.

Em relação ao suporte com rodízio, o mesmo é inserido, internamente, na região central da câmara (Figura 1-d), funcionando como uma divisória, separando assim a câmara em dois ambientes, sendo um deles para simulação do meio externo, onde está localizado o módulo de aquecimento, e o outro simulando o ambiente interno de uma edificação. A base do suporte com rodízio é composta por placas de compensado naval, placa de EPS e rodízios para que se mantenha a altura relativa entre aos demais compartimentos da câmara.



(a) (b) (c) (d)

Figura 1. Compartimentos da câmara: (a), Suporte com rodízio dos painéis, (b) Câmara, (c) Módulo de aquecimento, (d) Painel inserido na câmara.

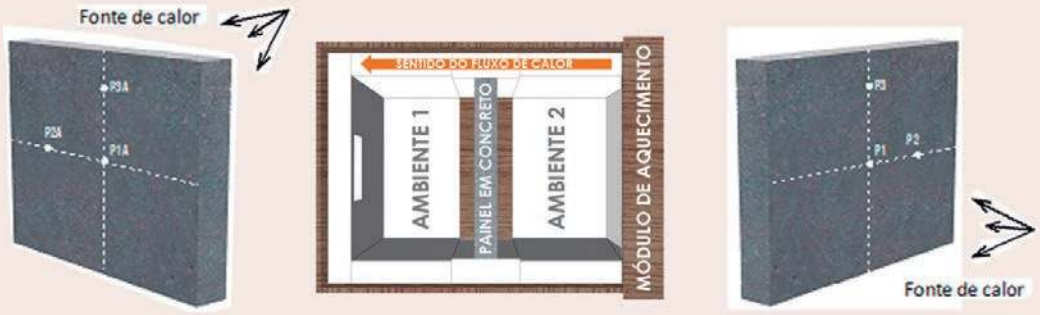
2.1.3 Produção da Fôrma e dos painéis

Para a produção das fôrmas dos painéis foram utilizadas placas de compensado naval, com fixação de pregos em suas bases, para que o painel, após produzido, e a base da fôrma formassem um único conjunto. O conjunto foi posicionado sobre o suporte com rodízio pertencente a uma parte da base da câmara térmica, que não é fixa e é deslocável com o auxílio de rodízios (figura 1-a), facilitando a movimentação do painel para o interior da câmara térmica e garantindo sua estabilidade. No interior da fôrma tem-se o posicionamento de uma armadura mínima, baseada na NBR 16055 (ABNT, 2012).

Os painéis de concreto possuem dimensões de 0,80 x 0,60 x 012 m, sendo produzidos com concreto leve e, também, com concreto referência, para fins comparativos. A concretagem foi feita em 4 camadas, sendo adensada por vibradores de imersão e foi necessário o uso de espaçadores para garantir o posicionamento correto das armaduras nas fôrmas. O processo foi concluído com a desforma dos painéis após 24 horas da moldagem, sendo mantidos em cura através da utilização de cobertores úmidos por 7 dias, idade de ensaio dos painéis.

2.1.4 Descrição do Ensaio Térmico

Os ensaios ocorreram de forma que os painéis fossem submetidos à ação do calor por meio do módulo de aquecimento. Foram usados 3 sensores de temperatura em cada face dos painéis (Figura 2), além de sensores de temperatura do ar ambiente nos dois setores do interior da câmara e, também, no ambiente externo à câmara.



(a) (b) (c)

Figura 2. Painel e ambientes: (a) Regiões dos sensores na face do painel voltado para o ambiente 1; (b) Vista superior da Câmara Térmica; (c) Regiões dos sensores na face do painel voltado para o ambiente 2.

A câmara foi mantida fechada e com o módulo de aquecimento desligado nos primeiros 15 minutos para registrar um equilíbrio inicial de temperatura. Após esse tempo, o módulo de aquecimento foi ligado e as lâmpadas foram mantidas acesas em sua potência máxima (70w ou 40w conforme o ensaio realizado), sendo desligadas após 12 horas de aferição. Após isso, o ensaio durou mais cerca de 12 horas, de modo que se registrasse o resfriamento da câmara. Todos os experimentos foram realizados em ambiente com o ar condicionado ligado.

Os dados de temperatura foram obtidos por meio de um condicionador de sinais. Uma câmera termográfica foi utilizada para registrar a temperatura e distribuição do calor na face do painel, além de ser empregada para verificação das trocas de calor entre a câmara e o meio externo.

3. RESULTADOS

3.1 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

O concreto referência teve abatimento igual a 18cm, apresentando um acréscimo com a introdução dos agregados leves. O concreto “CAE” teve maior valor de abatimento em comparação ao concreto “CPE”, uma vez que a forma da argila expandida é esférica proporcionando um rolamento maior no momento de mistura e tornando-a mais fluida.

3.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A tabela 2 apresenta o valor médio de resistência à compressão (fc), bem como os respectivos valores de coeficiente de variação (CV) dos concretos avaliados. Os valores de resistência à compressão foram avaliados nas idades de 1 e 28 dias.

Concretos	1 dia		28 dias	
	fc	CV	fc	CV
	MPa	%	MPa	%
CREF	15,93	4,90	38,05	0,53
CPE	5,73	0,58	8,60	9,42
CAE	13,33	7,69	18,34	11,04

Tabela 2. Resultados das resistências dos concretos nas diferentes idades de ensaio.

Independentemente da idade avaliada, todos os concretos produzidos com agregados leves tiveram resultados inferiores ao concreto referência (CREF). A maior redução dos valores de resistência a compressão foi observada nos concretos produzidos com poliestireno expandido. Para a idade de 1 dia os concretos "CPE" e "CAE" tiveram reduções de 64% e 16%, respectivamente. Para a idade de 28 dias essas reduções foram de 77% e 52%. Vale ressaltar que, de acordo com a norma ACI 213 (2003), o concreto "CAE" pode ser classificado como estrutural, pois a sua resistência à compressão é superior a 17MPa aos 28 dias, enquanto o concreto "CPE" se enquadra como concreto isolante.

3.3 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica dos concretos leves foi notavelmente inferior ao do concreto referência, uma vez que para a produção dos concretos leves têm-se a utilização de agregados com massas específicas inferiores aos agregados naturais que são empregados no concreto referência. Conforme exigência do ACI 213R (2003) os concretos produzidos podem ser classificados como leves, uma vez que a massa específica encontrada (ordem de 1300kg/m^3) está compreendida entre 1120 e 1920 Kg/m^3.

3.4 ENSAIO TÉRMICO

A Figura 3 e a Figura 4 apresentam os valores do ensaio térmico. Na Figura 3, cada curva apresentada representa a média de três curvas, sendo cada uma destas curvas os resultados obtidos dos sensores de temperatura posicionados nos pontos P1, P2 e P3, conforme Figura 2c. As curvas obtidas para a face oposta do painel, cujos sensores de temperatura estão posicionados nos pontos P1A, P2A e P3A são apresentadas na Figura 4. No ensaio do concreto referência, observa-se que a temperatura inicial da face aquecida se encontrava com uma temperatura superior à temperatura inicial dos demais concretos. Vale ressaltar que embora exista esta

defasagem a avaliação comparativa utilizada neste trabalho leva em conta a diferença, no momento do pico máximo obtido, entre as faces aquecida diretamente e a face aquecida por condução (ambientes 1 e 2 da Figura 2b).

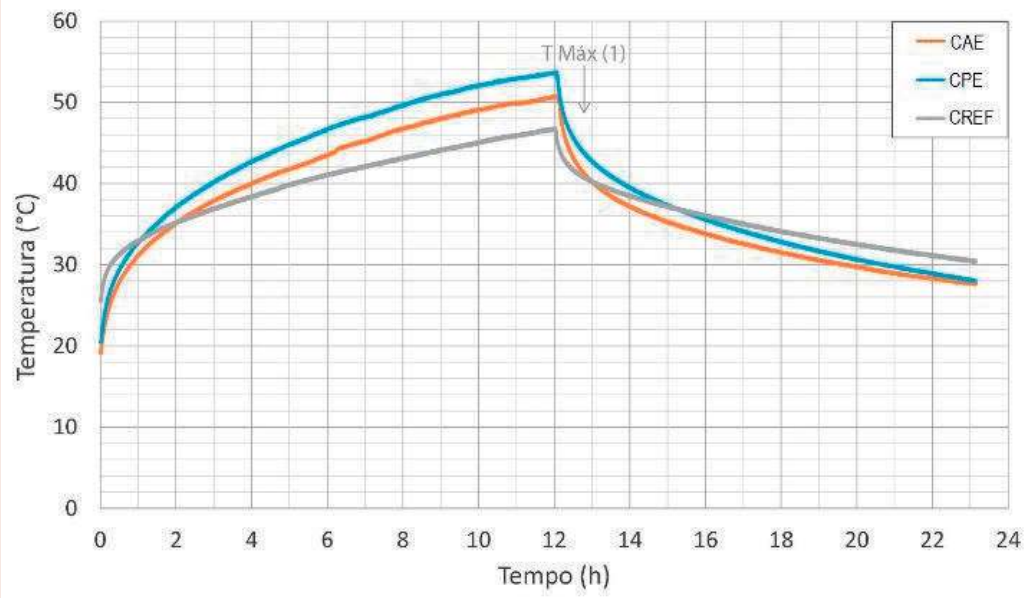


Figura 3. Curvas temperatura x tempo da face do painel com incidência da fonte de calor

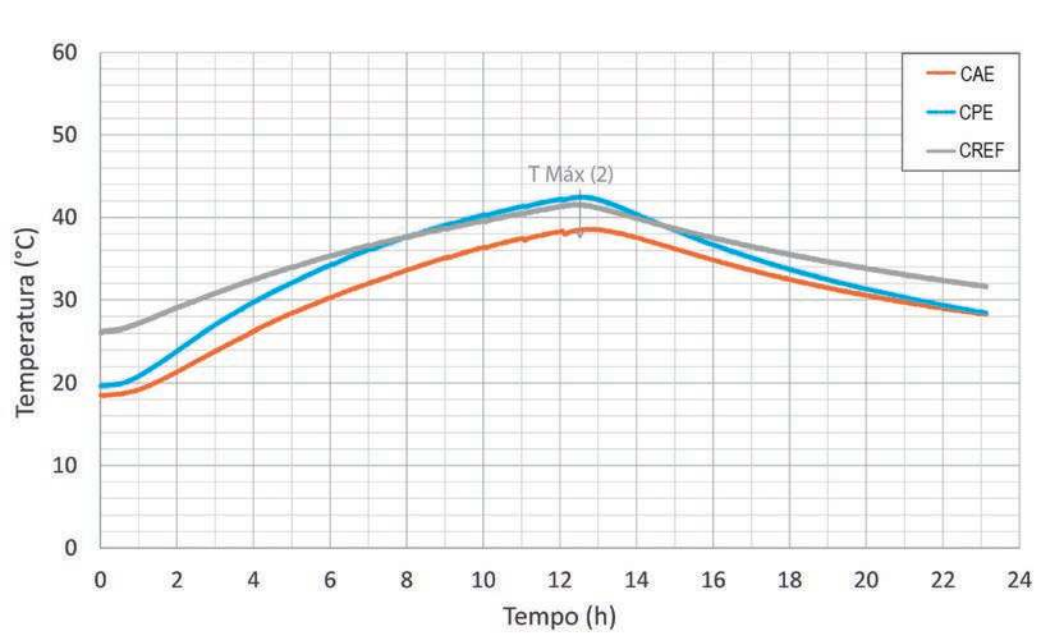


Figura 4. Curvas temperatura x tempo da face do painel sem incidência da fonte de calor

A Figura 5 apresenta os resultados extraídos das curvas acima. Os resultados das três primeiras colunas de cada gráfico da Figura 5 são valores obtidos a partir da diferença entre a temperatura Máx (1) e temperatura Máx (2), apontados nas figuras 3 e 4, ou seja, quando o ambiente 2, ilustrado na Figura 2, foi aquecido com lâmpadas de 40watts (primeiro gráfico da Figura 5), o painel produzido com con-

creto referência (CREF) apresentou uma diferença de temperatura de 4,08°C, ao se analisar a amplitude máxima de temperatura entre cada face do painel, em seus respectivos ambientes 1 e 2 (ambientes representados na Figura 2). Análise similar é feita para os concretos CAE e CPE, cujos valores estão apresentados na figura abaixo. Com estes dados é possível evidenciar que quanto menor é esse valor, menos isolante é o material.

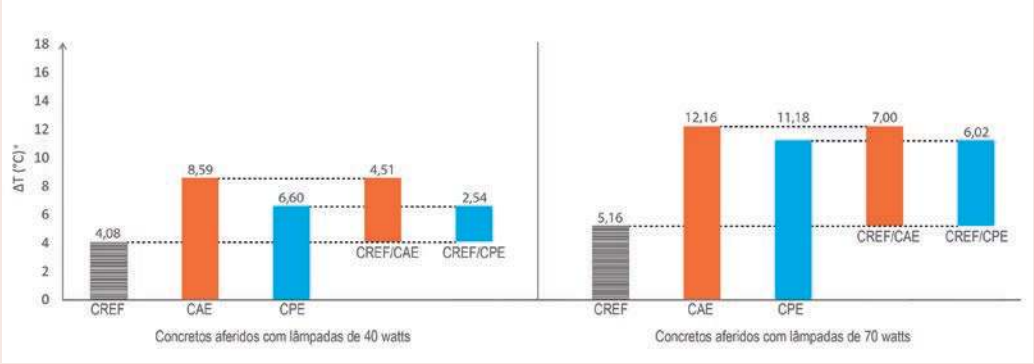


Figura 5. Resultado térmico com a utilização de lâmpadas de 40W e 70 W

Com base nos valores apresentados das primeiras colunas de cada gráfico da figura 5, foi feito um comparativo entre cada concreto leve em relação ao concreto referência. De acordo com os gráficos acima é possível observar o benefício térmico dos painéis produzidos com agregados leves. Como descrito no parágrafo anterior, os concretos com agregados leves, denominados como CAE e CPE, mostraram maior isolamento, uma vez que a diferença obtida entre as duas faces de cada painel, individualmente, foi de 8,59°C e 6,6°C, respectivamente, enquanto o resultado para o concreto referência foi de 4,08°C, no teste com a lâmpada de 40watts.

Analisando somente os concretos leves, tem-se que o benefício do concreto com argila expandida foi 77% superior em relação ao concreto com poliestireno expandido. Tal entendimento foi feito a partir da diferença de temperatura 8,59°C do concreto de argila expandida pelo valor de temperatura 4,08°C do concreto referência, que resultado em uma temperatura igual a 4,51°C (CREF/CAE). Para o concreto com poliestireno expandido este resultado foi de 2,54°C (CREF/CPE, na Figura 5). Comportamento similar foi observado quando o ensaio foi realizado com lâmpadas de 70W, ou seja, o melhor desempenho térmico foi observado para o concreto produzido com argila expandida, porém com valores maiores de redução de temperatura, em relação ao concreto referência.

Ambos os materiais possuem características propícias ao isolamento térmico, uma vez que se expandem durante o seu processo de produção, tendo gases no seu interior e se caracterizando como um material com núcleo poroso. Em relação aos resultados encontrados, o melhor desempenho foi observado para o concreto com argila expandida, mas vale ressaltar que o concreto "CAE" foi produzido com a substituição total dos agregados convencionais (miúdos e graúdos) por agregados leves, enquanto que o concreto "CPE" foi produzido com a substituição parcial de seus agregados (apenas agregado graúdo) pelo poliestireno expandido.

4. CONCLUSÕES

Os concretos com incorporação de agregados leves se enquadram na classificação de concreto leve e estrutural para aqueles produzidos com argila expandida e os ensaios térmicos demonstraram a capacidade de isolamento térmico do concreto leve, uma vez que proporcionou ganhos de redução de temperatura em comparação ao concreto convencional. Vale ressaltar que o processo de mistura dos materiais foi adequado de forma a gerar uma mistura homogênea e, consequentemente, concretos com benefícios térmicos satisfatórios.

A redução de carga térmica transferida para o interior das edificações pode resultar em economia de energia, uma vez que a climatização dos ambientes também será reduzida. Tal comportamento será mais pronunciado em localizações onde a radiação solar é responsável por uma relevante parcela de carga térmica do espaço construído.

O trabalho buscou avaliar o comportamento térmico dos materiais analisados, o que indica um possível benefício do ponto de vista termo-energético, proporcionado pela utilização dos agregados leves em substituição aos agregados naturais. O desempenho ambiental de tais materiais, no entanto, e sua relação com a sustentabilidade não foi analisada neste trabalho. Em trabalhos futuros, metodologia como a avaliação do ciclo de vida pode ser utilizada para analisar tal relação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. P (2019). A Influência dos Materiais de Sistemas de Vedações Verticais no Desempenho Termo-Energético de Edificações: Habitações de Interesse Social no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ. 222 P. Dissertação Mestrado. PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura FAU/UFRJ.

ESTADOS UNIDOS. American Concrete Institute. (2003). Guide For Structural Lightweight-Aggregate Concrete. ACI 213R-03. Detroit.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 67(1998): Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9778 (2009): Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16055 (2012): Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos.

Angelin, A. (2014). Concreto leve estrutural-Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Bayomi, N.; Rakha, T.; Fernandez, J. E. Urban heat Stress survivability simulation under climate change scenarios. Proceedings of 16th IBPSA Conference – International Building Performance Simulation Association, 2019.

Bezerra, L. A. C. (2003). Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo. Dissertação de Mestrado, Natal, RN.

Eurolightcon–Economic Design and Construction with Lightweight Aggregate Concrete. LWAC MaterialsProperties, State-of-the-art. Project BE96-3942/R2,Noruega, 1998.

Holm, T. A.; Bremner, T. W.State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine enviroNBRents.US Army Corps of Engineers–Engineer Research in Development Center, ERDC/SL TR-00-3, 2000.

Lan, L.; Wargocki, P.; Lian, Z.. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. Energy and Buildings 43, 1057-1062, 2011

Oliveira, R. B., Alves, C. R.. Análise do desempenho térmico de habitação de interesse social com paredes de concreto em Uberlândia-MG. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Volume 12, 2021

Reis, L *et al* (2018). Dosagem e análise experimental de concretos leves estruturais para produção de painéis pré-fabricados. Lima: Jornadas sudamericanas de ingenieria estructural.

Sacht, H. M. (2008). Painéis de vedação de concreto moldados in loco: Avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos. Dissertação de mestrado,- Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Souza, C.. (2017) Avaliação do Desempenho Térmico de Vedações em Blocos de Concreto Produzidos com Lã de Rocha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Ustaoglu, A.; Durtoglu, K.; Gencel, O.; Docyigit, F.. Impact of a low thermal conductive lightweight concrete in building: Energy and fuel performance evaluation for different climate region. Journal of Environmental Management, 2020.