



DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NAS ENGENHARIAS DE MATERIAIS E METALÚRGICA

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)



DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NAS ENGENHARIAS DE MATERIAIS E METALÚRGICA

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

Editora chefe	Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva	Natalia Oliveira
Assistente editorial	Flávia Roberta Barão
Bibliotecária	Janaina Ramos
Projeto gráfico	Bruno Oliveira
Camila Alves de Cremo	2022 by Atena Editora
Daphnny Pamplona	Copyright © Atena Editora
Luiza Alves Batista	Copyright do texto © 2022 Os autores
Natália Sandrini de Azevedo	Copyright da edição © 2022 Atena Editora
Imagens da capa	iStock
Edição de arte	Direitos para esta edição cedidos à Atena
Luiza Alves Batista	Editora pelos autores.
	Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profº Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profº Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profº Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profº Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profº Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profº Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Desenvolvimento e transferência de tecnologia nas engenharias de materiais e metalúrgica

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento e transferência de tecnologia nas engenharias de materiais e metalúrgica / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0565-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.658221508>

1. Engenharia de Materiais. 2. Metalurgia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais é um campo interdisciplinar que abrange o conhecimento acerca dos materiais e a relação que exige entre processamento, estrutura, propriedade e desempenho. É necessário compreender a interdependência entre esses componentes para que o material seja manuseado e aplicado da forma correta. A engenharia de materiais desenvolve modos de transformar esses materiais em dispositivos ou estruturas úteis.

A classificação dos materiais sólidos abrange, levando em consideração a composição química e estrutura atômica: metais, cerâmicas, polímeros, compósitos e materiais avançados (aplicação). Nesse sentido, a busca por materiais com melhores propriedades físico-químicas, mecânicas, melhor comportamento térmico, tem sido alvo de grande destaque nesse meio. É comum profissionais da engenharia, sejam eles mecânicos, civis, químicos, ou elétricos, cientistas se depararem com problemas de projeto envolvendo materiais.

Desta forma, neste livro são destacados trabalhos científicos nesse ramo da Engenharia de Materiais com pesquisas atuais. Apresenta desenvolvimento de novos materiais com combinações máximas ou ideais requeridas de acordo com sua aplicação já existente.

Por isso, esta obra surge com grande importância para o meio acadêmico sabendo que cientistas de materiais e engenheiros precisam estar envolvidos na investigação de novos produtos com melhorias para situações reais.

Boa leitura!

Amanda Fernandes Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO POR MEIO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA	
Rodrigo Manoel Rufino Leão	
Amanda Fernandes Pereira da Silva	
Alisson Rodrigues de Oliveira Dias	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.6582215081	
CAPÍTULO 2.....	15
ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DA SUPERLIGA INCONEL 718 SUBMETIDA A SOLUBILIZAÇÃO E ENVELHECIMENTO: COMPARAÇÃO PARA APLICAÇÕES NUCLEARES, AEROESPACIAIS E PETROLÍFERAS	
Sara Nunes Rios	
Vitória Ferreira de Oliveira Marques	
Sérgio Renan Lopes Tinô	
Vinicius Carvalhaes	
Thamise Sampaio Vasconcelos Vilela	
Manoel Ivany de Queiroz Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.6582215082	
CAPÍTULO 3.....	33
ROTINA DE SIMULAÇÃO EM YADE (LIVRE ACESSO) PARA ESCOAMENTO DE GRÃOS EM SILOS DE GRANDE PORTE UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)	
Gabriel Carvalho Matoso	
Alexandre Cândido Soares	
Yara Daniel Ribeiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.6582215083	
CAPÍTULO 4.....	47
SIMULAÇÃO VIA PYTHON DAS INTERAÇÕES DE ATRAÇÃO E REPULSÃO DE PARTÍCULAS PELO POÇO DE POTENCIAL DE LENNARD-JONES COMO REQUISITO PARA SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO EM SILOS	
Gabriel Carvalho Matoso	
Alexandre Cândido Soares	
Yara Daniel Ribeiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.6582215084	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	55
ÍNDICE REMISSIVO.....	56

CAPÍTULO 1

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ALVENARIAS DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO POR MEIO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

Data de aceite: 11/08/2022

Data de submissão: 10/08/2022

Rodrigo Manoel Rufino Leão

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/0104303422060603>

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Engenheira Civil
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/6687283757018503>

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

Universidade Estadual do Piauí
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/7625882727010720>

RESUMO: A cada ano, uma busca por maior conforto e qualidade de vida vem se acentuando na sociedade. A construção civil está diretamente ligada a esse fator, visto que uma pessoa passa grande parte de seu dia a dia dentro de uma edificação, seja em sua moradia, no trabalho, lazer, dentro outros. Logo, esses locais devem oferecer condições térmicas adequadas para o conforto humano, assim como estão descritas na norma técnica de desempenho das edificações habitacionais. Desta forma, um dos primeiros elementos a se considerar no quesito conforto térmico em uma construção é a alvenaria de vedação, visto que, juntamente com a cobertura, são os sistemas que mais recebem radiação solar, e baseado em seus desempenhos, o ambiente interno sofrerá grandes ou pequenas variações

da temperatura. Este trabalho foi elaborado com o objetivo de analisar o desempenho térmico dos dois tipos de blocos mais utilizados para vedação no Brasil, sendo estes o bloco cerâmico e o de concreto. Para isso, foi realizado um experimento que consistiu em produzir dois painéis de vedação, nas dimensões de 1,0m x 0,80m (altura x comprimento), sendo um de cada tipo de bloco estudado, aquecê-los com uma fonte artificial de calor (câmara térmica) e analisar o comportamento desses sistemas nas fases de aquecimento e de resfriamento, por meio do monitoramento das temperaturas superficiais dos painéis com o auxílio de uma câmera termográfica. Após a realização dos ensaios e análises dos resultados, concluiu-se que, para a localidade em que foi feito o estudo, na zona bioclimática 7 de acordo com a NBR 15220-3, a alvenaria produzida com blocos cerâmicos fornece um melhor desempenho, quando comparada com a alvenaria em blocos de concreto no quesito conforto térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, sistemas de vedações verticais, NBR 15575.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE THERMAL PERFORMANCE OF CERAMIC AND CONCRETE BLOCK MANSORY BY INFRARED THERMOGRAPHY

ABSTRACT: Every year, a search for greater comfort and quality of life has been accentuated in society. Civil construction is directly linked to this factor, since a person spends a large part of their day to day inside a building, whether at home, at work, leisure, among others. Therefore, these places must offer adequate thermal conditions

for human comfort, as described in the brazilian technical standard for the performance of housing buildings. In this way, one of the first elements to consider in terms of thermal comfort in a building is the masonry seal, since, together with the roof system, they are the systems that receive the most solar radiation, and based on their performance, the internal environment will suffer large or small variations in temperature. This work had the objective of analyzing the thermal performance of two types of blocks most used for sealing in Brazil, the ceramic and concrete blocks. For this, an experiment was carried out that consisted of producing two masonry panels, in the dimensions of 1.0m x 0.80m (height x length), one of each type of block studied, heating them with an artificial heat source (thermal chamber) and to analyze the behavior of these systems in the heating and cooling phases, by monitoring the surface temperatures of the panels with a thermographic camera. After carrying out the tests and analyzing the results, it was concluded that, for the location where the study was carried out, in the bioclimatic zone 7 according to NBR 15220-3, the masonry produced with ceramic blocks provides a better performance, when compared to masonry in concrete blocks in terms of thermal comfort.

KEYWORDS: Thermal comfort, masonry systems, NBR 15575.

1 | INTRODUÇÃO

O conforto térmico nas edificações, seja residencial ou comercial, é de fundamental importância para a satisfação dos usuários. De acordo com *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE* (2017), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

Logo, quando essa satisfação não é proporcionada pela edificação em seu interior, acarreta que além de trazer desconforto aos usuários, também influencia diretamente no consumo energético, uma vez que os ocupantes tendem a tomar medidas para tornar o ambiente interno mais agradável, como exemplo, o uso de aparelhos destinados à climatização.

De acordo com Lamberts (2014), os edifícios foram responsáveis com cerca de 40% do consumo global de energia e cerca de 30% das emissões de gás carbônico (CO_2), atingindo até mesmo percentuais maiores nos dias de hoje. Uma considerável parcela desta energia é destinada para o conforto térmico dos edifícios (YANG; YAN; LAM, 2014).

Por meio do uso de sistemas construtivos com elevada resistência térmica, pode-se reduzir o fluxo de calor através dos sistemas de vedações e, dessa forma, diminuir a carga térmica no interior das edificações. Com isso, torna-se necessário o conhecimento sobre o desempenho térmico dos diferentes tipos de alvenaria que vêm sendo utilizados na construção civil.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo analisar comparativamente o desempenho térmico de diferentes tipos de alvenaria utilizando a técnica da termografia infravermelha.

2 | DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

O desempenho térmico pode ser compreendido como um comportamento térmico de uma edificação frente a parâmetros pré-determinados (ou não) de condições de conforto e desempenho dos materiais. Sua mensuração antes do início da construção, ajuda a estabelecer os limites mínimos ideais para garantir à edificação condições térmicas adequadas para a circulação ou habitação do ser humano (LOPES, 2010).

Na NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), para a formulação das diretrizes construtivas estabelecidas pela mesma, para cada zona bioclimática brasileira, dentre os parâmetros considerados, enquadram-se as vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura), objeto de estudo desta pesquisa.

Lamberts (2016) afirma que a condutividade térmica depende da densidade do material e representa sua capacidade em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo.

De acordo com NBR 15220-1 (ABNT, 2005a), a condutividade térmica (λ) é uma “propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro”. A NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) mostra na tabela B.3 do anexo B, a condutividade térmica e o calor específico para diversos materiais de construção, em função de suas densidades de massa aparente.

Atualmente, a termografia infravermelha é uma ferramenta consolidada em testes não destrutivos, sendo utilizada em diversas áreas, tais como militar, medicina humana e veterinária, industrial e na engenharia civil. Nesta, as técnicas de termografia vem sendo usadas para identificações de manifestações patológicas em edificações, pois é possível localizar anomalias não aparentes desde a fase inicial, possibilitando definir as devidas intervenções necessárias para evitar danos maiores.

Além dessa utilização, uma outra possibilidade de uso se dá com o estudo de medidas de conservação de energia. A partir da análise de imagens termográficas é possível localizar pontos de ganhos e perdas de calor em toda parte da edificação, permitindo identificar localidades que estão submetidas tanto à alta quanto à baixa intensidade de radiação solar.

A técnica termográfica, em nível de aplicação, divide-se em passiva e ativa. Na termografia passiva, é considerado que os objetos analisados possuem armazenamento interno de energia térmica ou são sujeitos por uma fonte natural de calor, como exemplo a energia solar. Já na termografia ativa, os objetos analisados são submetidos a uma fonte artificial de aquecimento ou resfriamento, com o objetivo de provocar o fluxo de calor necessário para geração da imagem térmica (MALDAGUE, 2001). Será utilizado então o segundo caso de aplicação para atingir os objetivos deste estudo.

3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em laboratório na cidade de Teresina, Piauí, com o intuito de minimizar alterações nos resultados causados por agentes externos. O programa experimental consituiu na caracterização dos materiais, montagem dos painéis de vedação, medição e análise dos dados, comparação dos resultados e conclusão sobre qual tipo de bloco apresenta resultados mais satisfatórios com relação ao conforto térmico, para a zona bioclimática em que o local do experimento se localiza, sendo então a zona 7, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).

Foram produzidos dois painéis de alvenaria de vedação (Figura 1) nas dimensões de 1,00 m x 0,80 m (altura x comprimento), sendo um de bloco cerâmico e outro de concreto. Os dois tipos de blocos utilizados nos protótipos possuem dimensões iguais de 9 x 14 x 19 cm, sendo assim, os painéis tinham espessura de 9 cm, visto que foram ensaiados sem qualquer tipo de revestimento, a fim de analisar apenas os materiais dos blocos.

Com o objetivo de fornecer calor aos painéis e reproduzir aproximadamente as condições de aquecimento das faces externas das alvenarias de vedações pela radiação solar, foi construído uma câmara térmica (Figura 2) como fonte artificial de calor, desenvolvida nas dimensões de 40cm x 40cm x 40 cm (altura x largura x comprimento), sendo uma das faces vazada para que se tenha uma única saída do calor produzido pela fonte.



Figura 1 – Painéis de alvenaria de vedação utilizados no estudo: com blocos cerâmicos (à esquerda) e com blocos de concreto (à direita)

Fonte: Autores, 2022.

Os materiais utilizados para a construção da câmara térmica foram: folhas de madeira para revestimento externo, poliestireno expandido (EPS) para revestimento interno, papel

laminado para revestir o EPS, lâmpada de 250 W para fonte de calor, dimmer com um disjuntor, para a regulagem da intensidade de luz produzida. Além de materiais extras como cola e pedaços de madeirite, para a estruturação das laterais da câmara térmica.

Para a obtenção dos dados térmicos referentes ao experimento, foi utilizada uma câmera termográfica Modelo Flir CAT S60 (Figura 2), com indicações de temperaturas máximas, mínimas e média nos painéis de alvenaria.

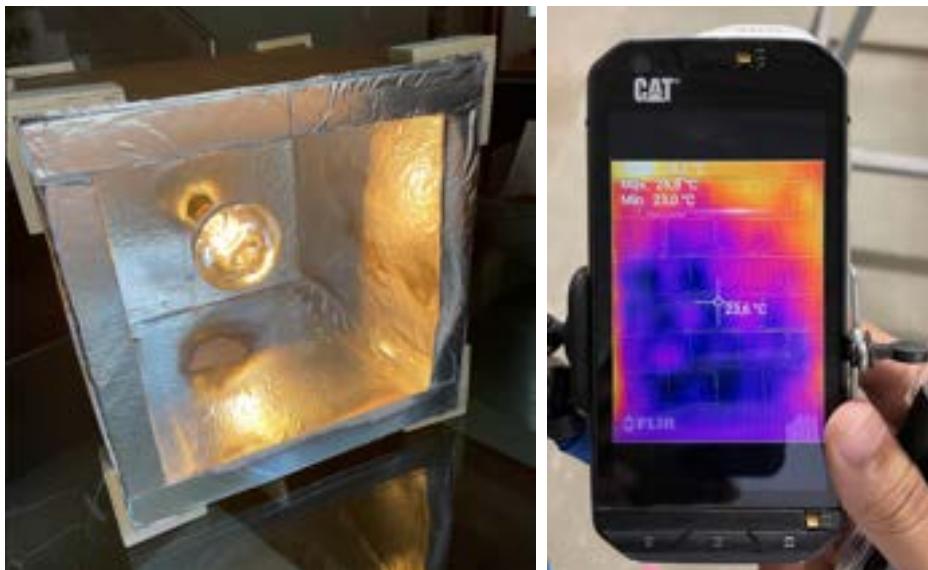


Figura 2 – Câmara térmica utilizada como fonte de calor artifical para aquecimento dos painéis (à esquerda) e câmera termográfica utilizada na coleta dos dados térmicos (à direita)

Fonte: Autores, 2022.

Para evitar que a câmara térmica sofresse algum tipo de deterioração, devido ao fato das temperaturas máximas de ensaio atingirem valores superiores a 100 °C, ultrapassando assim a temperatura de fusão do EPS, foi previamente investigado, por meio do dimmer, uma regulagem que permitisse uma geração de calor entre 60 °C e 75 °C na face oposta à lâmpada.

Os procedimentos adotados para os ensaios foram os mesmos para os dois painéis investigados (bloco cerâmico e de concreto), sendo cada um realizado em um dia diferente, com proximidades nos horários e condições climáticas, para minimizar as alterações entre os ensaios por conta da temperatura ambiente.

Para a realização do ensaio, colocou-se a face vazada da câmara térmica o mais próximo possível do centro de uma das faces do painel de vedação (Figura 3), simbolizando esta face o lado externo das alvenarias que recebem a radiação solar. Já na outra face, com uma distância de aproximadamente 1,50 m, foi posicionada a câmera termográfica,

com o intuito de analisar termicamente o desempenho na face interna das alvenarias.



Figura 3 – Instrumentação do experimento com posicionamento da fonte artifical de calor nas faces externas e da câmera termográfica nas faces internas

Fonte: Autores, 2022.

Antes de ligar a fonte artificial de calor, foram coletadas imagens térmicas das duas faces dos painéis (interna e externa) para identificar a temperatura inicial das alvenarias antes de começar o experimento. Após isso, iniciou-se o processo de aquecimento com duração de 30 minutos, tempo necessário para atingir uma temperatura ideal para a realização do experimento.

Durante esse período (aquecimento), a cada 10 minutos foi coletada uma imagem térmica da face interna, para a posterior análise do comportamento dos blocos no período em que são submetidos a radiação solar. Após os 30 minutos referentes ao aquecimento, removeu-se a fonte de calor e foi analisado o comportamento das alvenarias nas 2 horas seguintes, denominada de período de resfriamento. Durante este período, foram registradas imagens térmicas a cada 30 minutos. Na Figura 4 pode ser visto um fluxograma dessas etapas.



Figura 4 – Fluxograma das etapas aplicadas durante o ensaio para coleta dos dados térmicos

Fonte: Autores, 2022.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Painel de vedação com blocos de concreto

As imagens térmicas da face interna coletadas no ensaio com o painel construído com blocos de concreto podem ser visualizadas na Figura 5.

Analizando a primeira imagem, sendo esta obtida na temperatura ambiente (minuto 0), percebe-se que na parte superior encontra-se com maiores temperaturas, visto que embora o experimento tenha sido realizado em laboratório, neste lugar havia aberturas que permitia, mesmo que pouca, a entrada da radiação solar. Além disso, a própria dinâmica do fluxo de ar no ambiente também favorece isto, haja visto que o ar quente tende a subir enquanto que o ar frio tende a descer, devido às suas diferenças de densidade.

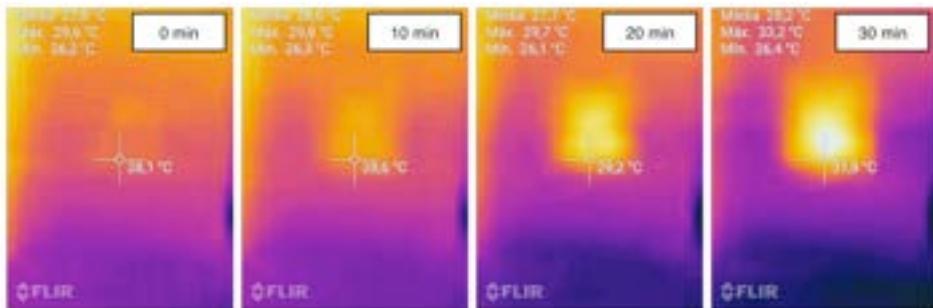


Figura 5 – Imagens térmicas do painel de bloco de concreto durante o período de aquecimento

Fonte: Autores, 2022.

Seguindo com as demais imagens, é perceptível o crescimento da temperatura na parte central das imagens, visto que a câmara térmica (fonte de calor artifical) foi posicionada de forma que ficasse em contato com a parte central das alvenarias, logo essa região será a parte que mais receberá calor durante o experimento, e consequentemente a que mais será analisada para atingir os objetivos do estudo.

Após os 30 minutos de aquecimento, além da fotografia térmica tirada da face interna da alvenaria, foi tirada também de sua face externa (lado que recebeu a fonte de calor) para fins de comparação (Figura 6). Comparando a face interna (imagem da esquerda) com a externa (imagem da direita), houve uma variação de 28,8 °C da temperatura máxima detectada.

Após o processo de aquecimento, retirou-se a fonte de calor e foram coletadas imagens térmicas a cada 30 minutos, até concluir um período de 2 horas, tempo necessário para a alvenaria atingir a temperatura que se encontrava antes de iniciar o experimento. As imagens obtidas estão apresentadas na Figura 7.

É possível observar que a face interna do painel atingiu seu pico máximo de temperatura na fase de resfriamento, especificamente após 30 minutos da retirada da fonte de calor. Ao atingir o pico no minuto 30, houve uma queda de aproximadamente 3,7° C no minuto 60, decaindo gradativamente na próxima hora restante, finalizando as 2 horas com uma temperatura relativamente menor que a temperatura inicial.

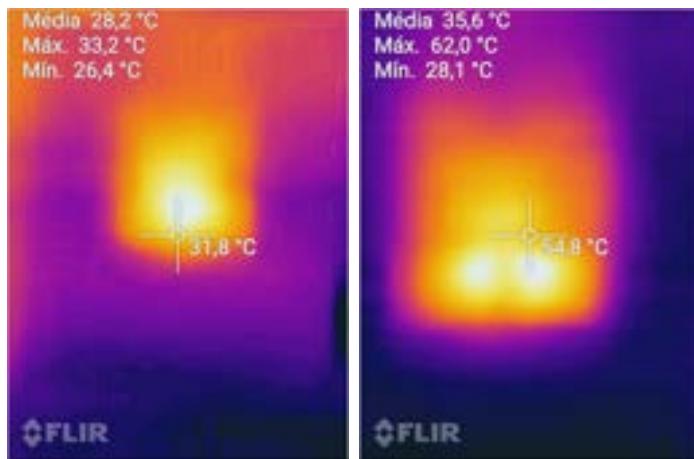


Figura 6 – Imagens térmicas das faces interna (à esquerda) e externa (à direita) do painel com blocos de concreto após 30 minutos de aquecimento

Fonte: Autores, 2022.

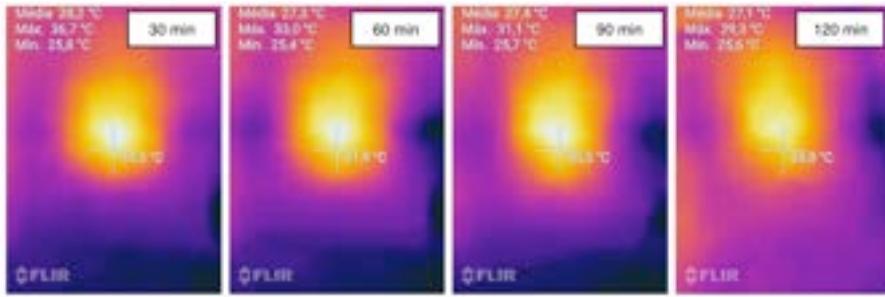


Figura 7 – Imagens térmicas do painel de blocos de concreto durante o período de resfriamento

Fonte: Autores, 2022.

Na Figura 8 é apresentado o comportamento gráfico das temperaturas média, máxima e mínima detectadas na face interna do painel produzido com blocos de concreto durante as fases de aquecimento e resfriamento do ensaio.

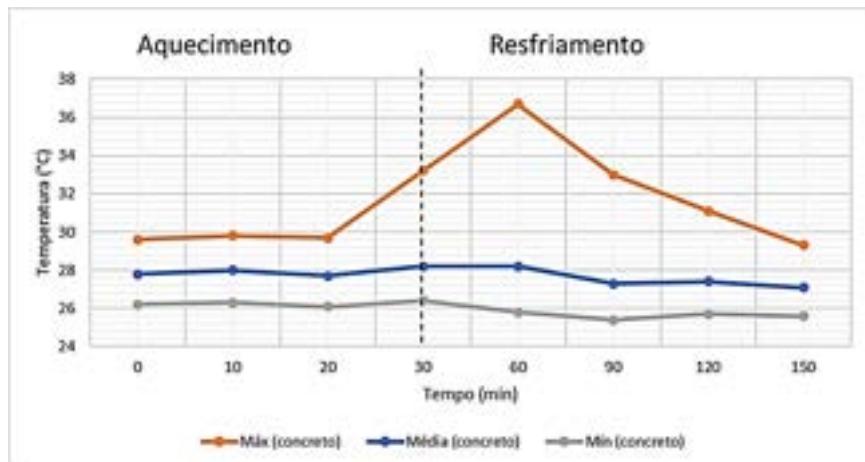


Figura 8 – Comportamento térmico do painel de vedação com blocos de concreto

Fonte: Autores, 2022.

4.2 Painel de vedação com blocos cerâmicos

As imagens térmicas da face interna coletadas no ensaio com o painel construído com blocos de concreto podem ser visualizadas na Figura 9.

É possível observar o crescimento da temperatura na parte central do painel por conta da posição da câmara térmica, identificado pelo aumento do calor no centro das imagens.

Iniciando com uma temperatura máxima de aproximadamente 27,9 °C, após os 30 minutos de aquecimento houve um grande crescimento de 5,3 °C, atingindo 33,2 °C

aproximadamente.

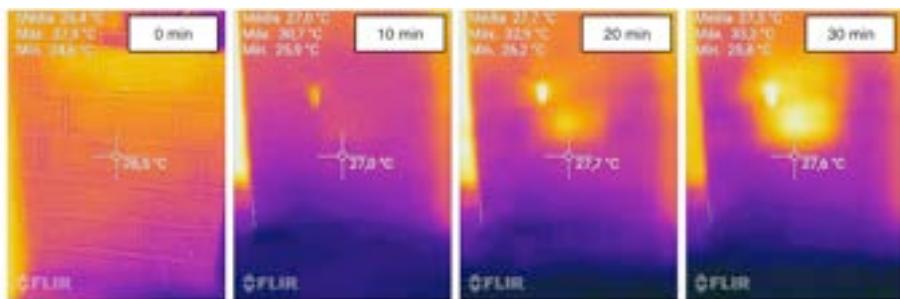


Figura 9 – Imagens térmicas do painel de blocos cerâmicos durante o período de aquecimento

Fonte: Autores, 2022.

Após os 30 minutos de aquecimento, foi obtida uma imagem da face externa do painel para analisar a diferença das duas faces após o aquecimento (Figura 10). Nota-se que a face externa do painel de blocos cerâmicos atingiu um valor máximo de 73,4 °C, enquanto que no painel de blocos de concreto chegou a 62,0 °C (Figura 8), sendo uma diferença de 11,4 °C entre as faces externas dos dois tipos de alvenaria. Já na face interna, os dois painéis atingiram o mesmo valor máximo, de 33,2 °C após os 30 minutos de aquecimento.

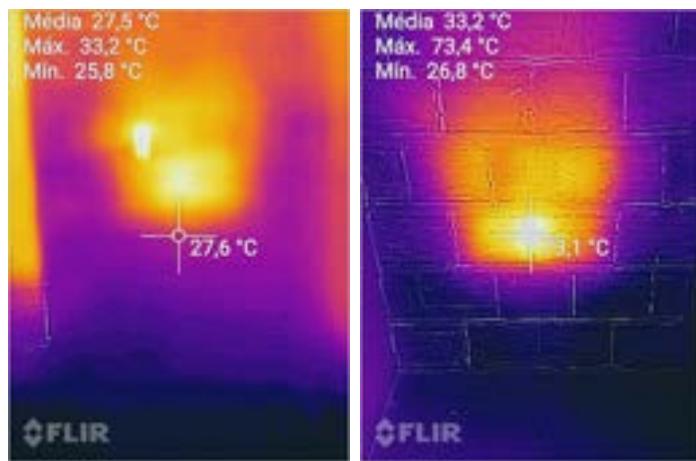


Figura 10 – Imagens térmicas das faces interna (à esquerda) e externa (à direita) do painel com blocos cerâmicos após 30 minutos de aquecimento

Fonte: Autores, 2022.

A Figura 11 apresenta as imagens térmicas capturadas durante o processo de resfriamento do painel de bloco cerâmico, no período de 2 horas, com coleta de imagens

a cada 30 minutos.

Assim como ocorreu para o ensaio com o painel de blocos de concreto, no painel com blocos cerâmicos o pico da temperatura máxima atingida se encontrou na fase de resfriamento, 30 minutos após a retirada da fonte de calor. Porém, no painel de blocos de concreto, com 60 minutos de resfriamento já se observavam valores menores que as temperaturas atingidas no momento de 30 minutos de aquecimento, enquanto que no painel de blocos cerâmicos, mesmo após 60 minutos de resfriamento, este ainda se encontrava com temperaturas maiores do que o momento de 30 minutos de aquecimento.

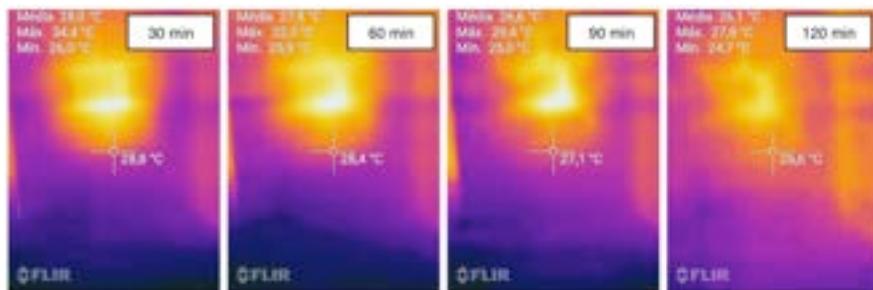


Figura 11 – Imagens térmicas do painel de blocos cerâmicos durante o período de resfriamento

Fonte: Autores, 2022.

Após concluído o tempo de resfriamento, houve uma queda da temperatura máxima de aproximadamente 6,6 °C. Na Figura 12 é apresentado o comportamento gráfico das temperaturas média, máxima e mínima detectadas na face interna do painel produzido com blocos cerâmicos durante as fases de aquecimento e resfriamento do ensaio.

Para facilitar a análise de comparação entre os resultados dos dois painéis, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 13. Pelo fato de o concreto ter um alto valor de condutividade térmica, ou seja, é um melhor condutor de calor comparado com a cerâmica, o painel de blocos de concreto atingiu temperaturas superiores no pico das temperaturas máximas. Além disso, percebe-se que o painel de blocos de concreto permaneceu com maiores valores nas três variáveis (média, máxima e mínima) após a finalização dos ensaios.

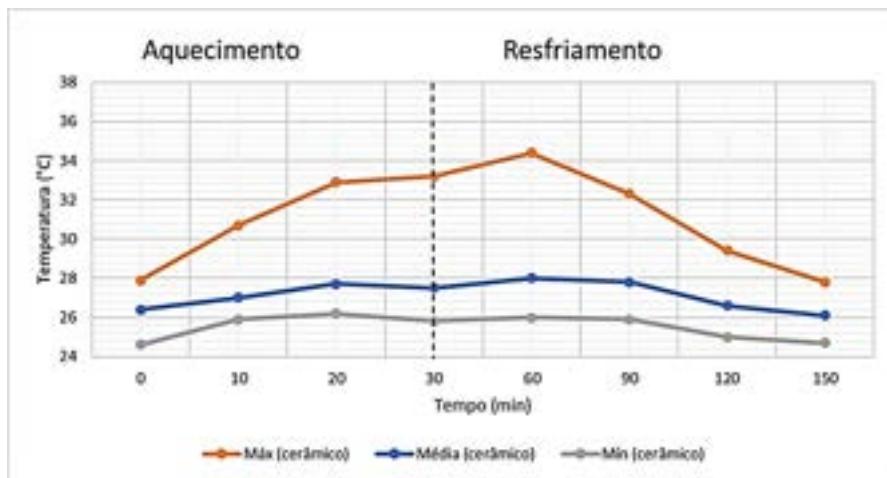


Figura 12 – Comportamento térmico do painel de vedação com blocos cerâmicos

Fonte: Autores, 2022.

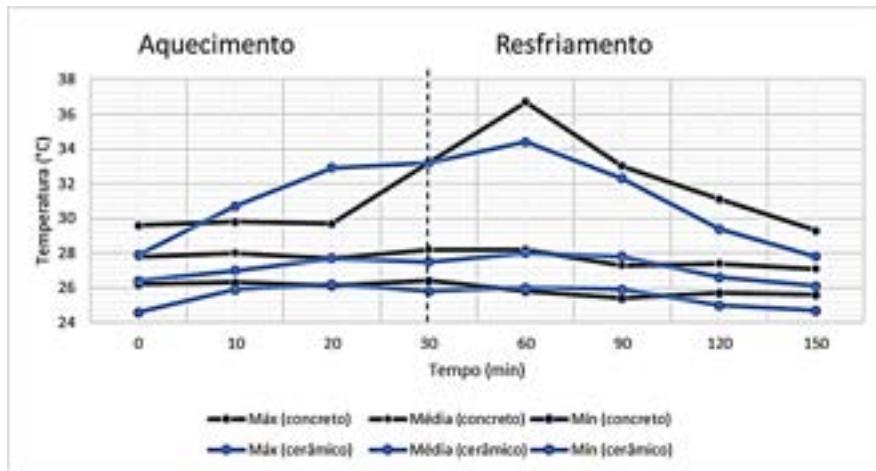


Figura 13 – Comparativo entre os comportamentos térmicos dos painéis estudados

Fonte: Autores, 2022.

Ainda, pelo fato de o concreto possuir uma maior capacidade térmica que a cerâmica, conforme anexo D da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), precisando assim de uma maior quantidade de energia para sofrer uma variação de temperatura, percebe-se que o painel de blocos de concreto permaneceu com uma temperatura constante até os 20 minutos de aquecimento, elevando a temperatura a partir desse ponto, enquanto que o painel de blocos cerâmicos já foi aumentando desde o momento inicial em que começou a receber a fonte de calor, comprovando na prática os valores das propriedades térmicas determinadas pela norma, destes materiais.

5 | CONCLUSÕES

Na análise comparativa de desempenho térmico dos sistemas, o bloco cerâmico apresentou resultados mais satisfatórios, pois embora sua face interna tenha aquecido mais rapidamente, devido ao material cerâmico ter uma menor capacidade térmica que o concreto, ele permaneceu com menores temperaturas durante os ensaios, sendo que no pico das temperaturas máximas, houve uma diferença de aproximadamente 2,3 °C entre os dois painéis.

Logo, torna-se mais satisfatório, em se tratando de desempenho térmico, utilizar o bloco cerâmico na zona bioclimática de número 7. Sendo válido ressaltar que o Brasil é dividido em 8 zonas bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3 (2005), logo é um país com grandes variações climáticas em toda a extensão do território, havendo a possibilidade de variações destes resultados.

A partir disso, conclui-se que esta avaliação não dispensa a análise caso a caso de cada edificação, por isso continua sendo necessário estudar todas as variáveis intervenientes no ambiente construído, já que não existe um sistema construtivo ideal para todo o território brasileiro. Por isso, haverá sempre uma necessidade de estudo antes de iniciar qualquer construção, para que seja determinada qual material apresentará um melhor desempenho térmico, dependendo da localidade em que se encontra a edificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 55/2017: **Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta, 2017

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal confort and building energy consumption implications - a review. **Applied Energy**, Hong Kong - China, v. 115, p.164 - 173, 2014.

MALDAGUE, X.; MOORE, P. O. **Nondestructive Testing Handbook: Infrared and Thermal Testing.** 3 ed. Columbus: NDT, 2001

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho Térmico de Edificações. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações.** Florianópolis - UFSC, 2016.

LAMBERTS, Roberto et al. **Eficiência energética na arquitetura**. 2014. [3.ed.] Rio de Janeiro.

LOPES, T. P. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina**. 2010. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Alvenaria 1, 2, 4, 5, 8, 10
- Aplicação aeroespacial 19, 24, 25, 26, 28, 30
- Aplicação nuclear 19, 23, 25, 26, 30, 31
- Aplicação petrolífera 24, 25, 26, 28, 30
- Aquecimento 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
- Arcos de tensão 33

B

- Blocos cerâmicos 1, 4, 9, 10, 11, 12

C

- Concreto 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 55
- Conforto térmico 1, 2, 4
- Construção civil 1, 2, 55

D

- Desempenho térmico 1, 2, 3, 13, 14
- Dureza 15, 21, 22, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

E

- Edificação 1, 2, 3, 13
- Energia 2, 3, 12, 43, 44, 47, 49, 52, 53, 54
- Energia interna 49, 54
- Envelhecimento 15, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
- Escoamento 33, 34, 35, 37, 38, 42, 46, 47, 48

G

- Grãos 21, 29, 33, 34, 35, 36, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 54

I

- Inconel 718 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 32
- Interação 34, 38, 47, 48, 49, 51

M

- Materiais granulares 34, 46, 48, 54
- Mecânica 15, 16, 29, 31, 32, 33, 48

Método de elementos discretos (DEM) 33, 35, 36

Microestrutura 15, 17, 20, 22, 23, 25, 32

N

NBR 15575 1, 2

Níquel 15, 16, 17

O

Otimização 34, 35, 47, 49, 54

P

Partículas 17, 20, 23, 30, 34, 35, 36, 43, 44, 47, 48, 49, 51, 52, 53

Poço de potencial 47, 48, 49, 52, 53

Potencial de Lennard-Jones 47, 48, 49

Python 33, 34, 35, 45, 47, 48, 49, 51

R

Resistência 2, 15, 16, 17, 25, 29, 30, 31, 44

S

Silo flow 45, 47, 48

Silos 33, 34, 35, 36, 45, 46, 47, 54

Simulação 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 53, 54

Simulação em Yade 33

Sistemas de vedações verticais 1

Sistemas granulares 33, 34, 47, 48, 49

Solubilização 15, 17, 19, 20, 22, 25, 29, 31, 32

Superligas 15, 16, 17

T

Temperatura 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 19, 20, 24, 36

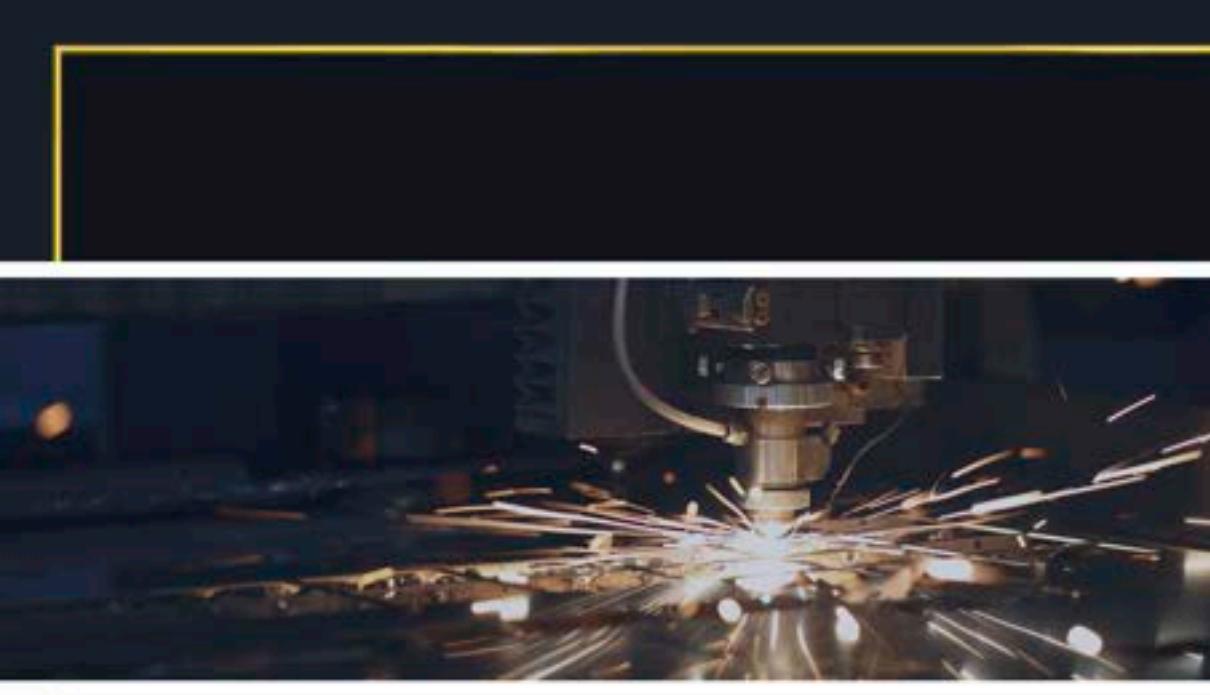
Termografia infravermelha 1, 2, 3

Tratamento térmico 17, 23, 25, 26, 30



DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NAS ENGENHARIAS DE MATERIAIS E METALÚRGICA

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br



DESENVOLVIMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA NAS ENGENHARIAS DE MATERIAIS E METALÚRGICA

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br