ESTUDO COMPARATIVO DE PAINEIS DE VEDAÇÃO CONFECIONADOS COM CIMENTO PORTLAND E MATERIAIS ALCALI-ATIVADOS[1]

RAMOS, L. T. S. Centro Federal de Educação tecnológica de Minas Gerais (CEFET MG), email: lucasramoscivil@gmail.com; SANTOS, J. D. A., CEFET MG, email: jonatasdasantos@gmail.com; BAUMBACH, M. O., CEFET MG, email: miriam.baumbach@gmail.com; BORGES, P. H. R., CEFET MG, email: pborges@civil.cefetmg.br; RAQUEL, D. O., CEFET MG, email: raqueldiniz@cefetmg.br;

ABSTRACT

Alkali-activated materials (AAM) compared to Portland cement (PC) may significantly reduce the carbon dioxide emissions, as well as the consumption of non-renewable natural resources in civil engineering applications. This paper compares the performance of PC with AAM as binders in cementitious wall panels for cladding system in a hot and humid climate. In this case study natural aggregates used as mortars was replaced with tailing from iron-ore mining activities in the state of Minas Gerais, Brazil. The thermal property determined for the three mortars was Thermal Conductivity using a heat flow meter apparatus according to ISO 8301 (1999). After that, one-story house building simulation was carried out using the Energy Plus Software. The main room annual operative temperature provided by different wall panels was compared to the adaptive comfort range established on ASHRAE Standard 55/2013 for Belo Horizonte city, Brazil. Results show that building simulations can effectively contribute to validate a sustainable wall panels that provide suitable human thermal conditions in hot and humid climate.

Keywords: Alkali-activated materials. Metakaolin. Thermal performance.

1 INTRODUÇÃO

A adoção de materiais alcali-ativados (MAA) pode ser uma alternativa ao Cimento Portland (CP) pois tem demonstrado comportamentos físicos e mecânicos semelhantes. O interesse nos estudos destes materiais está relacionado ao seu baixo impacto ambiental comparado ao CP. A principal vantagem ambiental do MAA em relação ao CP é a menor taxa de emissão de CO_2 na produção, cerca de 80% (Duxson, 2007). MAA são considerados polímeros inorgânicos obtidos pela reação entre um aluminossilicato e uma solução alcalina (solução ativadora). Eles podem ser produzidos pela ativação de materiais comerciais como metacaulim, cinzas volantes, escórias de alto forno e sílica ativa (Palomo, 1999).

O emprego de subprodutos da mineração surge devido ao aumento significativo em sua geração nas últimas décadas (Kastiukas, 2017; Provis, 2009). Estes materiais são estocados em barragens, com riscos de infiltração de soluções de metais pesados e cianetos no solo. É, portanto, de grande

[1] RAMOS, Lucas Thadeu da Silva; SANTOS, Jonatas Douglas Almeida; BAUMBACH, Miriam de Oliveira; BORGES, Paulo Henrique Ribeiro.; OLIVEIRA, Raquel Diniz. Estudo comparativo entre cimento portland emateriais alcali-ativados na construção de paineis de vedação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

importância manter a estabilidade destes reservatórios a fim de evitar possíveis desabamentos ou vazamentos (IBRAM, 2016).

O objetivo deste trabalho é verificar se a aplicação de matérias MAA na fabricação de placas de vedação vertical permite atender aos requisitos de temperatura interna do ar no ambiente dentro da faixa de conforto térmico.

As propriedades dos MAA não fazem parte da lista de materiais para aplicação comercial. As características térmicas dos MAA são desconhecidas, mas estudos indicam que podem ter valores de calor especifico menores que CP e, consequentemente, melhor desempenho térmico se aplicados em projetos para determinadas condições climáticas uma vez que a difusividade térmica é diretamente proporcional à condutividade térmica (Colangelo, 2013; Bezerra, 2003).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As placas MAA produzidas foram obtidas pela ativação do metacaulim (MC) e da escória do alto-forno (EAF). A composição química desses aluminossilicatos e agregados são apresentados na Tabela 1.

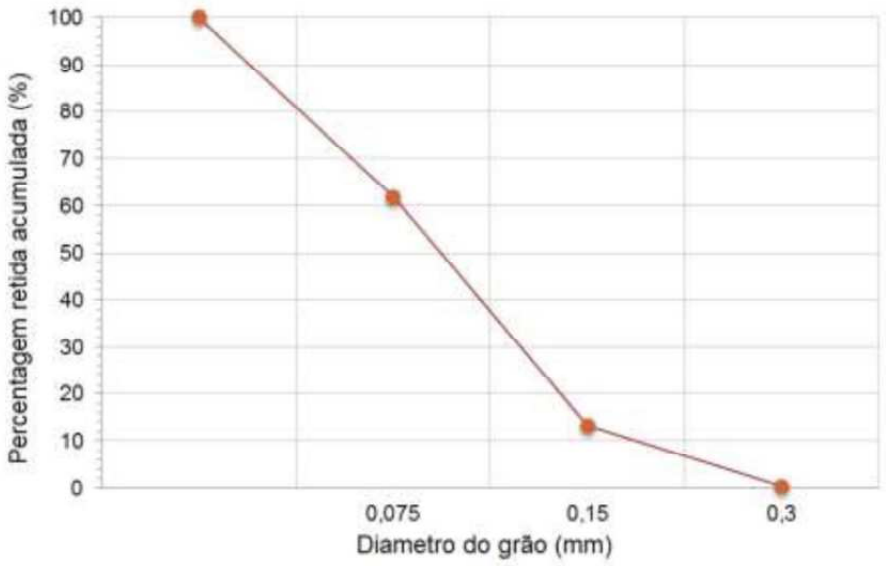
Tabela 1 - Composição química aglomerante e agregados

Composição	MC (%)	EAF (%)	Resíduo de mineração (%)
SiO_2	43,55	34,95	82,78
Al_2O_3	37,00	12,63	2,35
K_2O	-	0,93	0,1
CaO	0,05	32,74	-
MgO	0,05	5,38	-
Fe_2O_3	2,00	2,30	13,86
Densidade	2,59	2,86	-
Tamanho médio (µm)	2,12	8,75	-

Fonte: Os autores

O MC é composto principalmente de SiO_2 e Al_2O_3 sendo, majoritariamente, amorfo. O EAF é rico em cálcio (CaO = 32,74%), fato que altera a composição da matriz álcali-ativada. O resíduo de minério de ferro empregado como agregado é proveniente das atividades de mineração no estado de Minas Gerais, Brasil. Sua composição principal é de quartzo e hematita. A Figura 1 mostra a distribuição de tamanho de partícula deste agregado, que tem uma densidade de 2,95 e um módulo de finura de 0,14.

Figura 1 - Distribuição granulometrica do agregado



Fonte: Os autores

Verifica-se, na na Tabela 2, os parâmetros de proporção das misturas das 3 amostras, sendo **100MC** para 100% de MC MAA, **80/20MC/EAF** para 80% de MC / 20% de argamassa EAF e **CP** para 100% cimento Portland de referência. As soluções ativadoras do MAA foram hidróxido de sódio (50%vol.) e silicato de sódio (Na_2O = 15,00%, SiO_2 = 31,79% e H_2O = 53,21% em% de peso) como ativadores alcalinos. Na amostra CP foi utilizado cimento Portland comercial tipo CPV-ARI, com superplastificante comercial 2% em massa de cimento, e proporção de água/cimento de 0,38. Em todas as argamassas foi utilizado como agregado o resíduo de mineração em proporção de agregado para aglutinante de 1,0 em massa.

As placas foram lançadas em moldes de 300x300x20mm para a determinação da condutividade térmica. A cura ocorreu em 28 dias, expostos a condições ambiente. Foram moldadas amostras cilindricas de 100x50mm para medição da sua densidade aparente.

Tabela 2 – Parâmetros de proporção

Amostras	**MC (%)**	**EAF (%)**	**CP (%)**	**Solução/ argamassa**	**[SiO_2]/ [Al_2O_3]**	**[SiO_2]/[Na_2O]**
CP	0	0	100	0,38	-	-
100MC	100	0	0	1,09	3,0	1,29
80/20MC/EAF	80	20	0	0,91	3,0	1,01

Fonte: Os autores

2.1 Determinação das propriedades térmicas

A ASTM C351-92b (1999) detalha os procedimentos utilizando calorímetro para definir o calor específico dos materiais. No entanto, para um estudo preliminar, foi adotado o calor específico encontrado na literatura própria do concreto MAA e CP (Tabela 3) considerando a indisponibilidade do equipamento especificado para tal teste.

Tabela 3 - Calor específico

Material	Temperatura (°C)	Calor específico (J/kg K)
MAA	20	730,1
CP	23	1000,0

Fonte: Adaptado de ISO (2007)

O teste de condutividade térmica foi realizado utilizando medidor de fluxo de calor HFM 436 Lambda, da marca NETZSCH, de acordo com ISO 8301 (1999).

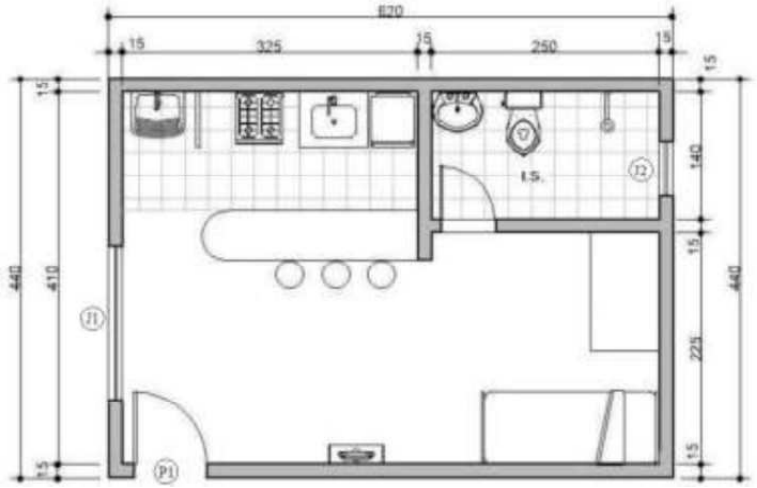
Os dados de absorção solar foram obtidos por cálculo a partir das medidas de amostra feitas pelo espectrômetro de refletância ALTA II, da marca *Vernier*. Este equipamento realiza medições correspondentes à radiação em onze diferentes comprimentos de onda entre 470 e 940 nm, sete na região visível e quatro na região próxima ao infravermelho. As análises foram realizadas conforme descrito por Sangoi, Ramos e Lamberts (2010).

2.2 Simulação

Foram testadas as condições de conforto térmico de uma unidade residencial com área minima de 24m², conforme Figura 2, e aberturas com largura, altura e peitoril de 1,5x1,2X1,0m (J1) e 0,6x0,6x1,6m (J2), revestidas por vidro simples de 3mm. Um modelo 3D foi criado usando o *software* SketchUp associado à extensão Euclid que possibilita a criação de geometria compatível para estudos termoenergéticos.

O envelope do edifício foi projetado de acordo com os requisitos de zona climática 3 estabelecidos na ABNT NBR 15.575 (2013) conforme composição e valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) especificados na Tabela 4. As simulações computacionais foram realizadas com auxílio do programa Energy Plus, versão 8.7, considerando os dados do arquivo climático desenvolvidos pelo programa *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) para a cidade de Belo Horizonte-MG.

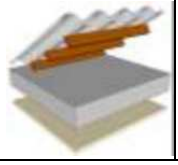
Figura 2 – Planta Baixa



Fonte: Adaptado de PBH (2012)

Como resultado da simulção extaíu-se a temperatura operativa horária anual da sala, para posterior comparação com a faixa de coforto adaptativa definida pela ASHRAE Standard 55 (2013), para 80% de aceitabilidade dos ocupantes. Não foram considerados ganhos internor de calor devido a ocupação de pessoas bem como rotinas de uso para equipamentos e iluminação. Considerou-se a janela da sala aberta nos casos em que a temperatura operativa for superior à temperatura de conforto (linha central) calculada a partir do modelo de conforto adaptativo e da programação de disponibilidade de ventilação, permitindo, portanto, a ventilação.

Tabela 4 – Composição da vedação horizontal e vertical do estudo de caso.

Tipologia	Vedação	Composição	U (w/m²K)	CT (kJ/m²K)
CP		1) Placa Cimentícia (3cm) (a=0,8) 2) Câmara de ar (5cm) 3) Placa Cimentícia (3cm) 4) Placa Gesso interna (1cm)	2,5	140
100MC		1) Placa 100MC (3cm) (a=0,7) 2) Câmara de ar (5cm) 3) Placa 100MC (3cm) 4) Placa Gesso interna (1cm)	1,5	85
80/20MC/EAF		1) Placa 80/20MC/EAF (3cm) (a=0,7) 2) Câmara de ar (5cm) 3) Placa 80/20MC/EAF (3cm) 4) Placa Gesso interna (1cm)	1,4	88
Cobertura		1) Telha fibrocimento 6mm (a=0,4) 2) Câmara de Ar (5 cm) 3) Laje maciça de concreto (8,0 cm) 4) Forro de gesso (1,0 cm)	2,0	210

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de absortância, densidade de massa aparente e condutividade térmica medidas para os três diferentes painéis são mostrados na Tabela 5. Esses resultados concordam com os encontrados na literatura, em que a condutividade térmica é menor nas placas MAA, em comparação ao CP(Colangelo, 2013).

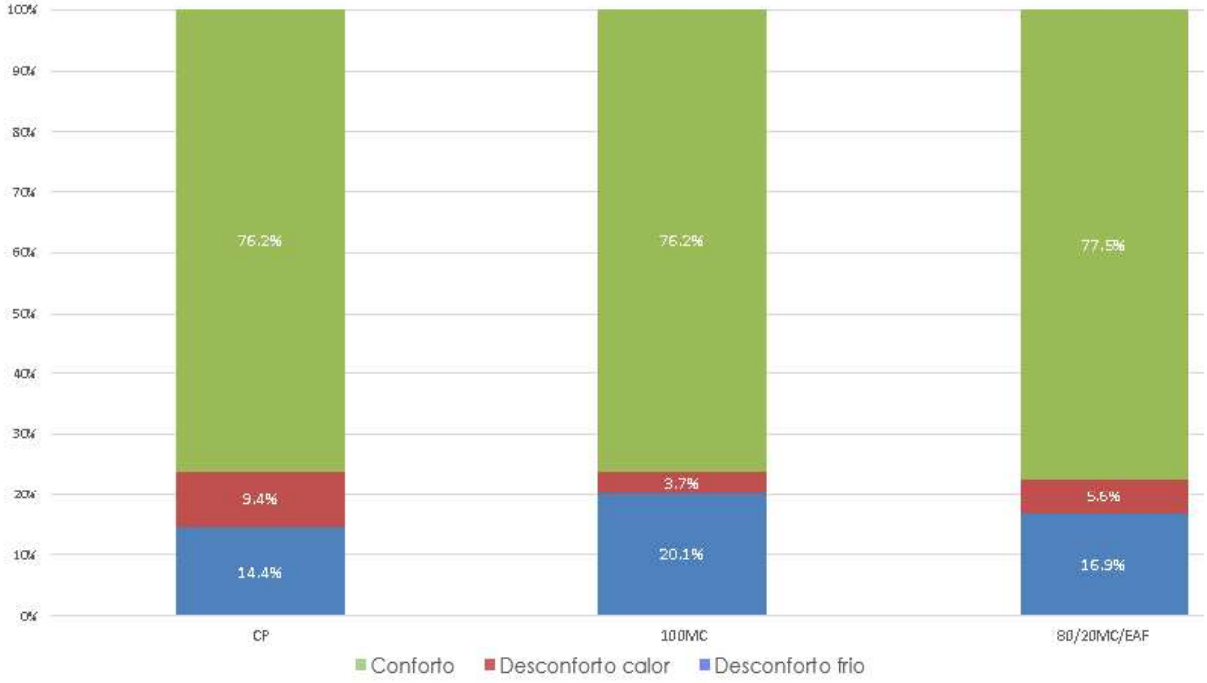
Tabela 5 - Resultados das amostras

	Absortância	**Densidade aparente**	**Condutividade térmica W/(m.K)**
CP	0,816	2,20	1,75
100MC	0,694	1,77	0,20
80/20MC/EAF	0,910	1,83	0,18

Fonte: Os autores

Por meio da simulação computacional, nota-se na Figura 3 que o painel de 80/20MC/EAF teve desempenho compatível com o painel de CP para Belo Horizonte. As amostras CP e 100 MC obtiveram percentual de horas confortáveis semelhante porém, o período desconfortável foi bastante distinto. Contudo, considerando apenas o desconforto por calor, o painel 100MC apresentou, perceptivelmente, o melhor desempenho, seguida da opção 80/20MC/EAF. Por outro lado, a opção 100MC foi aquela que propiciou o maior desconforto por frio ao passo que o painel CP, o menor. A variação da absortância pode ter contribuido para diferenciar a performance 100MC e 80/20MC/EAF uma vez que apresentaram U e CT com valores próximos. Assim, o maior valor de absortância do painel 80/20MC/EAF possibilitou impedir a perda de calor quando as temperaturas externas se encotravam acima do limite superior de conforto térmico (TLS Conforto) favorecendo, por outro lado, o ganho de calor quando as temperaturas estavam aquém do limite inferior de conforto (TLI Conforto). Neste sentido, adoção de cor clara na sua superfície externa reduziria a sua absortancia solar podendo contribuir para reduzir o desconforto por calor. A associação de dispositivos de sombreamento nas aberturas também poderia otimizar tal objetivo. Contudo, tais modificações precisariam ser investigadas para analisar o impacto de possíveis modificações no sistema 80/20EAF.

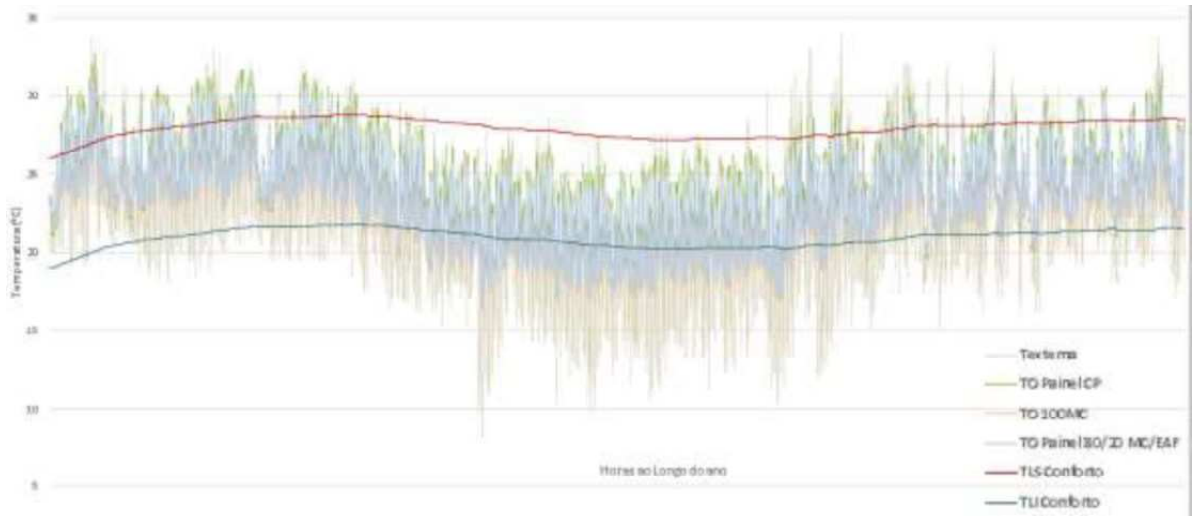
Figura 3 – Proporção do tempo em conforto térmico



Fonte: Os autores

Os resultados obtidos para temperatura operativa da sala pela simulação dos diferentes tipos de vedação vertical demostrou que a opção de painel CP proporcionou menor amortecimento térmico uma vez que possibilitou os valores máximos mais extremos ao longo do ano(Figura 4). O valor de U mais elevado pode ter contribuído para este fenômeno. A opção 100MC foi aquela que apresentou as temperaturas operativas mínimas e máximas com menor amplitude térmica ao longo do período analisado para Belo Horizonte. Em determinados períodos a temperatura operativa foi superior ao limite de conforto térmico, para todas as opções de painel. Assim, mudanças no projeto da edificação poderiam contribuir para reduzir este desconforto.

Figura 4 – Desempenho térmico anual para Belo Horizonte das 3 placas



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que as opções de painéis de vedação vertical analisados, quais sejam, CP, 100MC e 80/20MC/EAF, possibilitaram atingir condições de conforto térmico aceitáveis para os ocupantes da moradia, ao longo de grande parte das horas do ano. Considerando o desconforto por calor, as placas de 100MC e 80/20MC/EAF apresentaram melhor desempenho em relação as placas de CP além de serem fabricadas com material com menor emissão de CO_2 asscociado ao seu ciclo de produção. Esta pesquisa contribui para fomentar novos estudos e apresentar dados térmicos de material alternativo e sustentável em comparação com painéis de cimento Portland. Verifica-se, por fim, espaço para que estudos complementares testem diferentes arranjos da composição dos painéis com objetivo de otimizar o desempenho térmico do sistema, bem como, as horas de conforto propiciadas aos seus usuários para Belo Horizonte ou mesmo para outras cidades brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2013**. Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE, Atlanta, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C351 - 92b**. Standard Test Method for Mean Specific Heat of Thermal Insulation. ASTM: West Conshohocken, 1999.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

COLANGELO, F.; DE LUCA, G.; FERONE, C.; MAURO, A. Experimental and Numerical Analysis of Thermal and Hygrometric Characteristics of Building Structures Employing Recycled Plastic Aggregates and Geopolymer Concrete. **Energies**, 6, 2013.

DUSON, P; PROVIS, J. L.; LUKEY, G. C.; van DEVENTER, J. S. J. The role of inorganic polymer technology in the development of 'green concrete'. **Cem. Concr. Res**. 37, p. 1590–1597, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. IBRAM: Brasília, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 10456-2007**. Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. ISO, Switzerland, 2005.

_____. I**SO 8301-1999**. Thermal insulation **–** Determination of steady-state thermal resistance and related properties **–** Heat flow meter apparatus. ISO, Switzerland, 1999.

KASTIUKAS, G.; ZHOU, X.; CASTRO-GOMES, J. Towards Preparation Conditions For The Synthesis Of Alkali-Activated Binders Using Tungsten Mining Waste, ASCE's J. **Mater. Civ. Eng**, p. 1**–**35, 2017.

PALOMO, A.; Grutzeck, M.W.; Blanco, M.T. Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. **Cem. Concr. Res**. p.1323**–**1329, 1999.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (PBH). **Manual Técnico Aplicado as Edificações.** Secretaria municipal de serviços urbanos: Belo Horizonte, 2012.

PROVIS, John L.; van DEVENTER, Jannie S.J.V. Geopolymers. Structures, Processing, Properties and Industrial Applications, WP 2009.

SAGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do Espectrômetro alta II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010, Canela. **Anais...** Canela: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010. P. 1-9.