

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**CONTRIBUIÇÃO NO ESTUDO DE PROPRIEDADES
DO SOLO CIMENTO PARA O DESEMPENHO TÉRMICO DAS
EDIFICAÇÕES NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6**

KATIA ROSA DIDONÉ

CAMPO GRANDE

2015

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**CONTRIBUIÇÃO NO ESTUDO DE PROPRIEDADES
DO SOLO CIMENTO PARA O DESEMPENHO TÉRMICO DAS
EDIFICAÇÕES NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6**

KATIA ROSA DIDONÉ

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração em Eficiência Energética.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Milani Silva

Co-Orientador: PhD. Geovani Ferreira Alves

CAMPO GRANDE

JUNHO, 2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

CONTRIBUIÇÃO NO ESTUDO DE PROPRIEDADES DO SOLO CIMENTO PARA O DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6

KATIA ROSA DIDONÉ

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 30 de junho de 2015, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Profª. Ana Paula da Silva Milani (UFMS)
(Orientadora)

Prof. Wagner Augusto Andreasi, Dr. (UFMS)
(Examinador Interno)

Prof. Roberto Apolonio, Doutor (UFMT)
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

À professora Ana Paula da Silva Milani, por sua valiosa orientação, dedicação, disponibilidade e ensinamentos durante a realização desta pesquisa.

Ao professor Geovani Ferreira Alves pela disponibilidade às orientações e olhar multidisciplinar ao trabalho, sempre contribuindo de maneira positiva às análises.

Aos membros da banca, Dr. Wagner Augusto Andreasi e Dra. Roberto Apolonio, pela disponibilidade em avaliar o trabalho e pelas contribuições geradas ao mesmo.

Aos meus pais, Agustinho e Bernardete e à minha irmã, Simone, que desde sempre manifestaram carinho, apoio incondicional, confiança e incentivos para a realização dos meus estudos, com certeza foram fundamentais na passagem de todas as fases da minha vida até a obtenção deste título.

Ao Marcio, meu amor, companheiro e amigo de todas as horas, pelo carinho, compreensão, contribuições em todas as etapas desta pesquisa, e acima de tudo minha fonte de inspiração para prosperar e lutar pelos meus sonhos.

Ao professor Julio Ferencz pela disponibilidade em analisar a pesquisa e gerar contribuições significativas para a conclusão da pesquisa.

Aos familiares e amigos que, de alguma maneira, estiveram próximos apoiando e incentivando para a conclusão desta etapa.

Aos proprietários das edificações selecionadas para análise, que permitiram o monitoramento das mesmas.

Aos Centro de Meteorologia da Uniderp-Anhanguera e pelo Centro de Meteorologia de Mato Grosso do Sul (Cemtec-MS/Agraer) por disponibilizar dados de suma importância para a realização desta pesquisa.

RESUMO

DIDONÉ, K.R. (2015). Contribuição no estudo de propriedades do solo cimento para o desempenho térmico das edificações na zona bioclimática 6. Campo Grande, 2015. 66 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Existem poucos estudos científicos demonstrando o comportamento térmico de edificações construídas com os materiais cerâmicos, especificamente o material solo-cimento, como também, há a variabilidade dos valores de propriedades físico-térmicas dos referidos materiais, que por sua vez, geram a dúvida de qual referência utilizar no planejamento correto de edificações para o atendimento do desempenho térmico exigido pelas normas vigentes. Com isso, a pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento térmico de edificações construídas com paredes de solo cimento e de cerâmica vermelha inseridas na zona bioclimática brasileira 6 (ZB6) para contribuir com o estudo das propriedades físico-térmicas dos materiais cerâmicos. Para tal foram realizados cálculos térmicos pelo método prescritivo em conformidade com a NBR 15220 (ABNT 2005) e medições in loco nas edificações construídas em alvenaria de blocos de solo-cimento e de cerâmica vermelha. Posteriormente, foram realizadas correlações entre características térmicas e as aferições de temperatura e umidade relativa do ar do interior das edificações, a fim de se obter o desempenho térmico das mesmas. Com os resultados obtidos foi possível perceber que as edificações em envelopes verticais construídos com blocos de solo cimento e de cerâmica vermelha apresentaram desempenho térmico semelhante na ZB6; sendo que para o material solo cimento as propriedades físico-térmicas de densidade 1890 kg/m^3 , condutividade térmica $0,38 \text{ W/(m.K)}$ e calor específico $1,30 \text{ kJ/(kg.K)}$ são favoráveis ao bom desempenho térmico desta matéria-prima, no entanto, para que estas sejam potencialmente destacadas deve-se compatibilizar o formato e volume de material a ser utilizado no envelope da edificação para o alcance de elevados valores de atraso térmico.

Palavras-chaves: solo cimento, desempenho térmico, propriedades físico-térmicas.

ABSTRACT

There are few scientific studies demonstrating the thermal performance of buildings built with ceramic materials, specifically soil-cement material, but also, there is variability in the values of physical and thermal properties of such materials, which, in turn, generate the doubt which reference using the correct planning of buildings to meet the thermal performance required by current regulations. Thus, the research aimed to analyze the thermal behavior of buildings built with soil cement walls and red tile inserted in the Brazilian bioclimatic zone 6 (ZB6) to contribute to the study of the physical and thermal properties of ceramic materials. For such heat transfer calculations were performed by prescriptive method in accordance with NBR 15220 (ABNT 2005) and in situ measurements in buildings built on the ground masonry cement and red ceramic blocks. Subsequently, correlations were made between thermal characteristics and temperature measurements and relative humidity of air inside of the building in order to obtain the same thermal performance. With the results we see that the buildings in vertical envelopes built with soil cement blocks and red ceramics showed similar thermal performance in ZB6; being that for the solo material cement the physical and thermal properties of density 1890 kg / m^3 , thermal conductivity 0.38 W / (mK) and specific heat 1.30 kJ / (kg.K) are conducive to good thermal performance of this matter raw, however, that these are highlighted potentially should match the shape and volume of material to be used in the building envelope to reach high levels of thermal lag.

Keywords: soil-cement, thermal performance, physical and thermal properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 18: Imagem do data logger T175T2 e termopar tipo T.....	17
Figura 19: Imagem do data logger hobo.	17
Figura 1: Imagem da edificação em SC e o entorno.....	20
Figura 2: Imagem da edificação em CV e o entorno.	20
Figura 3: Localização aproximada das edificações em estudo na cidade.	21
Figura 4: Localização da residência em seu entorno imediato.....	22
Figura 5: Implantação da edificação no lote.....	22
Figura 6: Perspectiva do elemento isolado e da parede de BTC.	23
Figura 7: Vista da edificação em SC.....	23
Figura 8: Planta baixa da edificação e o ambiente monitorado.....	24
Figura 9: Ambiente monitorado e a orientação solar.....	25
Figura 10: Vista externa da parede monitorada em SC.	25
Figura 11: Localização da residência em seu entorno imediato.....	26
Figura 12: Implantação da edificação no lote.....	26
Figura 13: Perspectiva do elemento isolado e da parede de blocos cerâmicos 8 furos.	27
Figura 14: Planta baixa da edificação e a marcação do ambiente monitorado.....	28
Figura 15: Vistas da edificação em CV.....	28
Figura 16: Ambiente monitorado e a análise da orientação solar.....	29
Figura 17: Vistas da face externa da parede monitorada em CV.	29
Figura 20: Temperaturas durante todo o período monitorado de verão para a edificação em SC.....	35
Figura 21: Temperaturas no dia típico do período monitorado de verão na edificação SC.....	35
Figura 22: Umidade relativa do ar durante todo o período monitorado de verão para a edificação em SC.	37
Figura 23: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado de verão na edificação em SC.....	37
Figura 24: Temperaturas durante todo o período monitorado de verão para a edificação em CV.....	38
Figura 25: Temperaturas no dia típico do período monitorado de verão na edificação CV. ...	39
Figura 26: Umidade relativa do ar durante o período monitorado de verão para a edificação em CV.	40
Figura 27: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado de verão na edificação em CV.	40
Figura 28: Representação das temperaturas no período monitorado de inverno/primavera. ...	42
Figura 29: Representação da umidade relativa do ar no período monitorado de inverno/primavera.	43
Figura 30: Representação das temperaturas no dia típico do período monitorado inverno/primavera.	44
Figura 31: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado inverno/primavera. .	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Descrição das propriedades dos materiais utilizados nas residências.....	5
TABELA 2: Valores das propriedades termo físicas das amostras.....	11
TABELA 3: Propriedades térmicas do material SC.....	11
TABELA 4: Propriedades térmicas do material CV.....	12
TABELA 5: Características físicas dos materiais SC e CV.....	14
TABELA 6: Valores utilizados nas equações pelo método prescritivo.....	31
TABELA 7: Recomendações relativas às paredes externas.....	31
TABELA 8: Resultados relativos às paredes externas da edificação em SC.....	32
TABELA 9: Resultados relativos às paredes externas da edificação em CV.....	32
TABELA 10: Síntese do comportamento térmico da edificação em SC no período de verão.....	46
TABELA 11: Síntese do comportamento térmico da edificação em CV no período de verão.	46
TABELA 12: Síntese do comportamento térmico das edificações no período inverno/primavera.....	46
TABELA 13: Desempenho térmico pelo método prescritivo dos materiais SC e CV.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Desempenho térmico dos envelopes verticais	4
2.2 Propriedades termo-físicas dos materiais	9
2.2.1 Propriedades termo-físicas do SC	10
2.2.2 Propriedades termo-físicas da CV	12
2.3 Características físicas dos materiais SC e CV	13
3 METODOLOGIA	14
3.1 Introdução	14
3.1.1 Caracterização climática da cidade de Campo Grande - MS	15
3.1.2 Materiais	16
3.2 Métodos de avaliação	18
3.3 Edificações selecionadas para análise	19
3.2.1 Edificação em SC	21
3.2.2 Edificação em CV	25
3.4 Coleta de Dados	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Método prescritivo de avaliação de desempenho térmico	30
4.2 Método de medições <i>in loco</i> para avaliação de desempenho térmico	34
4.2.1 Medições <i>in loco</i> no período monitorado de verão	34
4.2.1.1 Edificação em SC	34
4.2.1.2 Edificação em CV	38
4.2.2 Medições <i>in loco</i> no período monitorado inverno/primavera.....	42
4.3 Comparativos sobre o comportamento térmico do SC e da CV	45
4.4 Comparativos entre os métodos de análise	49
5 CONCLUSÃO	53
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	55
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	56

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido aos programas habitacionais do governo, houve um aumento expressivo de novas moradias contribuindo para o fomento do setor da construção civil. Segundo dados da Associação Brasileira de Cerâmica – ABC, dentre os sistemas construtivos utilizados, as alvenarias de tijolos e blocos cerâmicos encontram-se como os mais representativos e continuam apresentando um uso crescente, conseqüentemente, há várias décadas o material de cerâmica vermelha vem recebendo a denominação de material convencional. Outro material com menor representatividade, mas também com uso crescente é o solo-cimento, entretanto ainda considerado um material alternativo.

Contudo, é necessário salientar que a cerâmica vermelha (CV) e o solo-cimento (SC), ambos com utilização na construção civil, possuem a mesma origem de matéria-prima, ou seja, o solo como principal constituinte do produto final.

A CV é originada da mistura de argila, normalmente definida como um material natural terroso e plástico em determinados teores de água, devido a sua plasticidade pode ser modelada e ao ser aquecida, durante o processo de queima, adquire a sua forma final (LAAROUSSI et al., 2014). Segundo Silva (2000), neste último processo a área específica das partículas do material reduz-se em consequência da aproximação e contato das partículas, causando diminuição do volume aparente, aumento da resistência mecânica e conseqüentemente redução da porosidade do material.

O SC, por sua vez, é uma mistura de solo e água, com adição de pequenas percentagens de produtos estabilizadores. A mistura do material é compactada ou prensada e posteriormente sofre o processo de secagem ao natural até chegar à condição de material apropriado à construção (NEVES, 2010). Segundo o PROTERRA (NEVES e FARIA, 2011) edificações podem ser construídas em mais de cinquenta diferentes técnicas construtivas com terra. No entanto, o sistema analisado neste trabalho será a alvenaria de Blocos de Terra Comprimida (BTC), que por sua vez, constitui a mistura estabilizada e prensada em máquina específica e assim gerando blocos para constituir a alvenaria.

No âmbito dos aspectos térmicos dos materiais, existe por décadas, um paradigma relacionado a estes dois materiais supondo um desempenho térmico superior do SC sobre a CV. Pode-se observar através das afirmativas de Torgal e Jalali (2011) que a condutibilidade térmica das paredes de terra crua corresponde à metade da condutibilidade das paredes em

tijolos cerâmicos, isso porque as paredes de terra compõem um bom isolante térmico, que por sua vez aprisiona o ar nas pequenas cavidades do material sólido, conseqüentemente, dificulta a passagem de calor por condução e as grandes oscilações de temperatura no ambiente interno. Segundo Silva (2000), a renovação do ar nas casas de terra crua, cujas paredes não receberam nenhum tratamento selante como revestimentos cerâmicos ou pintura, é uma conseqüência da sua capacidade de “respirar”, ou seja, permitir a passagem do ar devido à porosidade ser maior nesse material e facilitar as trocas gasosas. Ainda nas afirmativas de Torgal e Jalali (2011), os mesmos salientam a elevada inércia térmica dos fechamentos em terra que por sua vez, resultam na capacidade do material armazenar e administrar as trocas térmicas contribuindo para um favorável comportamento térmico da edificação; e também, pelo material apresentar a característica de comportamento higroscópico, capaz de manter a umidade relativa do ar na faixa entre 40% e 60%, sendo a condição mais apropriada à saúde humana.

A partir disto, pode-se perceber a condição favorável ao uso do SC, em contrapartida, há poucos estudos científicos observando o comportamento térmico de edificações construídas com estes materiais gerando um empirismo, não bem esclarecido, no meio da construção civil. Conseqüentemente, as dúvidas permanecem no exercício projetual diário, onde o projetista precisa elaborar propostas que atendam as normas vigentes, - NBR 15.220, parte 2 e 3 (ABNT 2005), e NBR 15.575 (ABNT 2013); e escolher referências de características e propriedades térmicas para realização dos cálculos prescritivos, logo os resultados do comportamento da edificação utilizando as referências disponíveis ainda é subjetivo e apenas informativo.

Há resultados de propriedades físico-térmicas publicadas com valores distintos, que por sua vez, geram a dúvida de qual referência utilizar, podendo ocasionar o planejamento da edificação com uma referência bibliográfica, aparentemente gerando desempenho térmico satisfatório as Normas, e depois de construída a edificação, perceber que a mesma apresenta um comportamento térmico diferente do planejado em cálculos prescritivos, resultando em um planejamento fracassado. No cenário destas incertezas, Laaroussi et al. (2014) realizaram uma pesquisa com ênfase na compatibilidade entre os resultados de propriedades térmicas obtidas através do método prescritivo e do método de medições experimentais, sendo verificado um nível elevado de confiabilidade dos resultados obtidos. O interesse pelo estudo foi ao encontro dos novos regulamentos criados pelo governo marroquino, para aumentar a eficiência energética e a sustentabilidade de novas edificações, para tanto, os referidos autores

disponibilizaram valores de propriedades térmicas dos blocos cerâmicos, com embasamento científico, para profissionais utilizarem com segurança no exercício profissional.

Tendo em vista que a energia incorporada no funcionamento de uma edificação, durante o seu ciclo de vida, é muito maior do que a energia consumida durante a fase de construção reforça a importância da correta especificação dos materiais de construção bem como suas características e desempenho (MARTÍN, MAZZARÓN e CAÑAS, 2010). Assim, fazer a relação entre as referências bibliográficas associadas às propriedades térmicas, características dos materiais, e requisitos resultantes da aplicação de critérios de verificação de desempenho, podem corroborar com o efetivo comportamento térmico da edificação e soluções construtivas adequadas à realidade do local onde a edificação será inserida.

No presente trabalho foi desenvolvida uma pesquisa, de cunho teórico-prático, tendo como objeto de estudo duas edificações, uma construída em alvenaria de SC e outra em alvenaria de CV, ambas inseridas no meio urbano da cidade de Campo Grande/MS. Nos estudos houve a busca por referências de propriedades físico térmicas do SC e a CV, e características projetuais das edificações a fim de realizar cálculos térmicos, através do método prescritivo sugeridos pelas normas vigentes, para obter o panorama do desempenho térmico das edificações com os referidos materiais. Também foi aplicado o método de medições *in loco*, com o auxílio de sensores, onde foram realizadas aferições de temperatura e umidade relativa do ar no interior das edificações com o intuito de obter o comportamento térmico das edificações. Posteriormente, foram realizadas correlações entre os parâmetros obtidos pelo método prescritivo e as medições *in loco* para verificar a compatibilidade entre o comportamento térmico e o desempenho térmico das edificações.

Com a realização destas análises, o presente trabalho pretende colaborar no estudo do desempenho térmico dos materiais SC e CV, disponibilizar mais informações sobre o comportamento térmico dos referidos materiais na ZB6, bem como contribuir com o exercício projetual dos profissionais do setor construtivo e auxiliar na concepção de projetos mais sustentáveis e de melhor eficiência energética das edificações.

1.1 Objetivos

- Estudar o comportamento térmico de edificações construídas com paredes de solo cimento e de cerâmica vermelha inseridas na ZB6 para avaliar o mito do superior desempenho térmico da edificação com envelope vertical em solo cimento.
- Validar referências das propriedades físico térmicas dos materiais solo cimento e cerâmica vermelha para uso no planejamento de edificações dentro da zona bioclimática 6.
- Disponibilizar informações sobre o desempenho térmico dos materiais solo-cimento e cerâmica vermelha na zona bioclimática 6 em diferentes formatos e configurações.
- Verificar a influência das características de atraso térmico, fator solar e higroscopicidade dos materiais cerâmicos no comportamento térmico das edificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desempenho térmico dos envelopes verticais

Os conceitos de desempenho térmico e comportamento térmico apresentam distinções entre eles. Desse modo, a resposta física que a edificação apresenta, quando submetida às solicitações do clima externo (variáveis climáticas) e às condições de uso dos ambientes, é denominada comportamento térmico e pode ser identificada observando-se fatores como a variação da temperatura e umidade do ambiente interno ou dos fluxos de calor transmitidos através das vedações. Quando estes fatores são analisados com o enfoque ao atendimento das exigências de conforto dos usuários tem-se a avaliação do desempenho térmico. (LAMBERTS et al., 2010).

Os sistemas de paredes e coberturas são compostos de camadas de materiais com diferentes propriedades térmicas, alguns com elevada massa e materiais isolantes, onde é

usado o conceito da massa térmica, o qual se refere à combinação entre densidade (ρ) e espessura (e) dos componentes de uma edificação. Segundo Givoni (1998), o efeito quantitativo da massa no desempenho térmico das edificações depende da interação entre a massa e a condutividade térmica do material que formam os elementos, assim como da posição relativa das diferentes camadas, com diferentes massas e resistências térmicas. O calor recebido pelo envelope da edificação através da radiação solar na superfície é transmitido de partícula em partícula, de modo que se transmite lentamente para o interior do ambiente provocando certo retardo (atraso) no tempo, mas nem todo o calor que entra através da face externa de um elemento chegará à face interna, pois parte dele será consumida no aquecimento do próprio material da parede. O pico de temperatura no ambiente interno acontecerá algumas horas após o fechamento estar submetido ao pico da temperatura externa, caracterizando o atraso térmico. E durante o processo de transmissão de calor, a amplitude de variação da temperatura interna e externa define o amortecimento térmico que ocorre na edificação (DORNELLES, 2004).

No estudo de Martín, Mazzarón e Cañas (2010) demonstram o desempenho térmico de três soluções construtivas existentes em um bairro espanhol. Foram escolhidas duas edificações tradicionais, uma construída com o material adobe e a outra em pedra, e a terceira residência, uma edificação recente pré-fabricada de madeira, considerada nos padrões atuais de construção. As edificações possuíam diferentes espessuras de parede externa, de modo que a residência em adobe com espessura de 50 cm, a de pedra atingindo 40 cm e a edificação em madeira com apenas 5 cm de espessura das paredes do envelope. Na tabela 01 são apresentados os materiais e as respectivas propriedades e características.

Tabela 1: Descrição das propriedades dos materiais utilizados nas residências.

Material	Adobe	Pedra de mão	Madeira pré-fabricada
Espessura	40 cm	50 cm	5 cm
Densidade	1772 kg/m ³	2100 kg/m ³	460 kg/m ³
Condutividade térmica	0,71 W/(m.K)	2,33 W/(m.K)	0,2 W/(m.K)
Calor específico	0,96 kJ/(kg.K)	0,92 kJ/(kg.K)	1,40 kJ/(kg.K)
Transmitância térmica	1,35 W/m ² .K	0,91 W/m ² .K	2,38 W/m ² .K

Fonte: Adaptado por Martín, Mazzarón e Cañas, 2010.

Através dos valores considerados na figura 01, os valores de transmitância térmica para a residência em adobe encontram-se no valor de 1,35 W/m²K, para a de pedra 0,91 W/m²K e para a pré-fabricada de madeira 2,38 W/m²K. Com isso, pode-se perceber antecipadamente às medições, que as edificações em adobe e pedra possuíam coeficientes de transmitância térmica inferiores a edificação de madeira, resultando em uma resistência

térmica superior a edificação pré-fabricada, contribuindo assim, para as edificações em adobe e pedra possuírem um envelope de elevada inércia térmica (MARTÍN, MAZZARÓN e CAÑAS, 2010)

Dando continuidade à análise, os autores realizaram as medições in loco considerando os dados de temperatura e umidade registrados no período de medição. Para tanto, foi possível diagnosticar que a razão da variação da temperatura interna para a externa na casa de madeira era quatro vezes maior do que a mesma relação para as casas tradicionais. Isso comprova o efeito da estabilidade térmica no interior das casas tradicionais que tem maior capacidade térmica nas paredes. Os referidos autores também puderam mensurar as horas de desconforto no interior das edificações, com isso concluíram que no verão 44% dos dados registrados estavam fora da zona de conforto para a casa de madeira; 2% para a casa feita de pedra e 11% para a casa feita de adobe; e para o inverno 36% dos dados registrados estavam fora da zona de conforto para a casa de madeira; 18% para a casa de pedra e de 9% para o casa feita de adobe. A partir dos materiais analisados, os referidos autores puderam aferir que o material mais denso pode fornecer melhores condições de conforto.

Os autores Gonçalves e Gomes (2012), afirmam sobre o considerável desempenho térmico de paredes de terra devido a sua massa, baixa condutividade térmica e sua higroscopicidade, característica de favorecer a regulação da umidade relativa dos ambientes, fatores que contribuem para grande inércia térmica e bom isolamento acústico das edificações que fazem uso do solo como material construtivo. Todavia, baixa condutividade térmica e resistência térmica são características antagônicas, fazendo-se necessária a compatibilização dessas duas características.

Nos estudos de Ferreira (2003), o mesmo realizou ensaios em diferentes composições de solo e estabilizantes químicos, com as misturas obtidas, moldou corpos-de-prova cilíndricos, tijolos e mini-painéis que tiveram suas características físico-mecânicas e termo físico determinados em laboratório. Foram ensaiados somente tijolos obtidos a partir da mistura solo-aditivo que proporcionaram os melhores resultados em termos de desempenho físico-mecânico, ou seja, as misturas de solo arenoso com adição de 10% de cimento. Os ensaios foram realizados através de uma parede assentada em meio-tijolo, sendo o tijolo com dimensões de 23 x 11 x 5, com isso se obteve uma resistência térmica total $0,3612 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, capacidade térmica $162,21 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$, transmitância térmica $2,77 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, atraso térmico de 4 horas e fator de calor solar de 7,20%; e o referido autor concluiu mencionando que para a parede os valores calculados para a transmitância térmica, obteve-se o valor $2,77 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, e

um atraso térmico de 4 horas, a mesma encontra-se dentro dos limites recomendados pelas normas para paredes externas.

No trabalho de Dumke (2002), 18 moradias habitadas e de sistema construtivo diferenciado foram analisadas, a avaliação térmica das habitações foi realizada a partir de medições *in loco* nos ambientes internos da edificação, com a utilização de dataloggers (HOBO, OnsetR). Foram medidos períodos no verão e no inverno. Na análise do referido autor, observou-se que tanto para o inverno como para o verão, as coberturas com forro de madeira, câmara de ar não-ventilada e telha cerâmica foram as que apresentaram melhor desempenho térmico, e as situações mais desconfortáveis foram obtidas nas coberturas de forro de madeira ou de painéis de concreto e telhas de fibrocimento. Com relação às tecnologias, constatou-se que o sistema construtivo com tijolos cerâmicos vazados e cobertura de madeira, com câmara de ar muito ventilada, apresentou pior desempenho térmico no inverno, mas um dos melhores desempenhos no verão, sendo apropriada para regiões de clima quente. De modo semelhante, o sistema construtivo de blocos de concreto autotravados, apresentou bom desempenho térmico no verão e ruim no inverno.

Das tecnologias estudadas pelo autor, a mais adequada foi a de tijolos de solo-cimento, no qual apresentou melhor desempenho no inverno e segundo melhor desempenho no verão. A situação mais desfavorável foi observada no sistema de tijolos cerâmicos vazados, com características de transmitância e inércia térmicas muito semelhantes ao sistema de tijolos de solo-cimento, exceto por apresentar a transmitância da cobertura acima do valor recomendado. Nos resultados apresentados por Dumke (2002), não foi verificado uma relação clara entre o desempenho térmico e as características termofísicas dos materiais. No verão, tais características parecem ser fatores determinantes do desempenho térmico das moradias, o que não se apresenta seguramente no inverno.

Nos estudos de Goulart (2007) a referida autora analisou, por meio de simulações computacionais, dois ambientes em uma edificação. Em cada ambiente em análise a autora simulou: diferentes formas de ventilação natural e mecânica; dimensões diferenciadas de aberturas nos ambientes e formas de sombreamento; diversos materiais nas soluções de cobertura e forro; e distintos materiais para as paredes de fechamento. Com estas análises, pôde afirmar que não se deve tomar partido apenas da inércia térmica como estratégia isolada para alcançar o melhor desempenho térmico, é necessário uma combinação de medidas de projeto, assim como a implantação da ventilação noturna, do sombreamento adequado nas aberturas controlando os ganhos solares, a correta especificação dos materiais e soluções da cobertura, e outros aspectos que possam vir a contribuir para o aquecimento interno da

edificação. E, além disso, Granja (2002) complementa afirmando que a partir da concepção de métodos que proporcionem maneiras de investigar as interações quantitativas, entre parâmetros climáticos e termofísicos, e seu efeito no fechamento poderão possibilitar o conhecimento analítico da inércia térmica como técnica solar passiva.

A massa térmica integrada com a ventilação natural forma um sistema passivo de resfriamento que pode ser usado para ajustar o ambiente interno, garantir o conforto térmico e manter aceitável o nível de qualidade do ar interno. Por conseguinte, também são importantes aliados nas estratégias passivas de condicionamento de ar para o projeto de edificações (ZHOU et. al., 2007). Nos estudos esses autores investigaram o fator da massa térmica externa da edificação e seu impacto sobre a ventilação natural para a localidade de Changsha, na China, de modo que, puderam verificar a temperatura do ar interior dos ambientes a partir da simulação computacional, com o uso de diferentes tipos de materiais construtivos no envelope da edificação.

Na análise foram simulados seis tipos de paredes externas, comumente usadas, com diferentes configurações e materiais. Com a pesquisa foi possível evidenciar que o isolamento externo pode manter mais constante a temperatura interna, enquanto o isolamento interno pode prorrogar o pico de temperatura no interior. Quando externamente isolados uma parede pesada pode resultar em menor variação de temperatura e mais longo intervalo de tempo do que uma parede leve. Contudo, foi verificado que no verão, a fim de reduzir o pico de temperatura do ar interior e a onda de amortecimento de temperatura do ar para salas com ventilação natural a parede pesada com isolamento externo seria a melhor escolha para aquela localidade.

Portanto, quanto maior a massa térmica externa, maior será a dificuldade de transferência de calor para o ambiente interno, com isso faz-se necessário mais tempo para o aquecimento do ambiente, conseqüentemente, quanto menor a temperatura do ambiente interno, menor será a quantidade de números de trocas de ar por ventilação na edificação.

A cor do envelope da edificação também produz efeitos no desempenho térmico das edificações. Segundo Roriz, Dornelles e Roriz (2010) o índice de absorvância das cores do envelope construtivo estão associadas ao impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega ao edifício é realmente absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas, e qual fração é refletida, sem nenhum efeito sobre as condições térmicas da edificação. Segundo Caram et al. (2013) indicam que superfícies escuras apresentam um maior ganho térmico em relação a superfícies

mais claras, com isso a cor da pintura externa possui um efeito significativo no ganho de calor, sendo possível, através da escolha adequada, atenuá-lo significativamente.

Cheng (2004) apresenta resultados de um experimento realizado em Hong Kong, em que foram medidas as temperaturas do ar no interior e exterior de dois protótipos pintados com duas cores diferentes: branco fosco (baixa absorvância) 25% de absorvância solar e preto fosco (alta absorvância) 80% de absorvância solar. Os resultados demonstraram que, tanto no verão quanto no outono, a temperatura máxima interna no protótipo preto foi cerca de 12°C superior à do protótipo branco. A temperatura do ar no protótipo branco, durante o dia, permaneceu próxima à temperatura do ar exterior, com temperatura máxima interna em torno de 2°C a 3°C superior à externa. Durante a noite, as temperaturas internas nos dois protótipos foram similares.

Nos estudos de Granja (2002), o referido autor analisou a influência da cor na transmissão de calor através de um fechamento opaco homogêneo (placa de concreto), considerando-se diferentes absorvâncias à radiação solar da face externa do fechamento (branca: $\alpha = 20\%$ e cinza: $\alpha = 70\%$). Também investigou a diminuição da influência da absorvância à medida que se aumenta a espessura do fechamento.

Segundo o referido autor para uma placa de concreto de 5 cm de espessura, quando se altera a absorvância da superfície de 70% para 20%, há uma redução na amplitude da onda de calor, porém aumentando-se a espessura da placa para 20 cm, quando alterada de cinza para branco, a mesma registrou uma redução menos significativa. Contudo, considerando os coeficientes de redução indicam, em números absolutos, que a influência da absorvância na transmissão de calor em fechamentos opacos apresenta maior importância em estruturas com menor espessura. Granja (2002) finaliza afirmando que o aumento da espessura supera o efeito da absorvância na densidade de fluxo de calor.

2.2 Propriedades termo-físicas dos materiais

No estudo relacionado ao desempenho térmico é importante o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e fechamentos, pois permitem estabelecer estratégias para que o edifício responda de maneira eficiente às variações do clima, visto que o envelope da edificação é responsável pelas trocas térmicas entre o meio externo e interno. Além disso, a

correta seleção dos materiais construtivos tem papel fundamental para a promoção de um desempenho térmico satisfatório, oferecendo conforto aos usuários (KAPPAUN, 2012).

No planejamento de edificações, muitas vezes, as recomendações sobre os materiais a serem utilizados tratam apenas de uma das suas propriedades térmicas, mas não é possível basear-se em apenas um quesito de forma independente, uma vez que todo o material combina essas propriedades como uma unidade (GONZÁLEZ, 2002). Dentre as propriedades termo físicas existentes serão abordadas com maior ênfase neste estudo a condutividade térmica (λ), a densidade (ρ) e o calor específico (c) dos materiais SC e da CV.

2.2.1 Propriedades termo-físicas do SC

Marques, Castro e Isaac (2009) realizaram ensaios em Blocos de Terra Comprimida (BTC), com solo caracterizado como arenoso, e apresentam 1890 kg/m^3 de densidade, $0,38 \text{ W/(m.K)}$ de condutividade térmica e $1,30 \text{ kJ/(kg.K)}$ de calor específico para o material em estudo de determinada região.

Meukan et al. (2004) realizaram um estudo experimental a fim de determinar as propriedades de diferentes tipos de solo, de determinada região, para ser utilizado na produção de tijolos prensados e estabilizados com cimento ou cal e analisar os efeitos da adição de pozolana no tijolo. Foram produzidos diversos corpos-de-prova e determinadas as propriedades térmicas dos materiais constituintes do solo, com isso, os autores obtiveram densidade 1.807 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,95 \text{ W/(m.K)}$ e calor específico de $0,90 \text{ kJ/(kg.K)}$.

Ferreira (2003) em sua tese moldou corpos-de-prova cilíndricos, tijolos e mini-painéis que tiveram suas características físico-mecânicas e termo físicas determinadas em laboratório. Nos ensaios foi encontrado o valor de $0,49 \text{ W/(m.K)}$ para a condutividade térmica, 1.868 kg/m^3 para a densidade e calor específico de $0,75 \text{ (kJ/kg.K)}$.

Adam e Jones (1995), por sua vez, desenvolveram estudos com dois objetivos: determinar experimentalmente as propriedades termo físicas de três tipos característicos de solos selecionados na cidade de Cartum, no Sudão, e com uma amostra do Reino Unido; e fornecer dados para análise térmica dos edifícios construídos a partir de blocos de solo estabilizado. As amostras foram denominadas conforme a sua localização, sendo a amostra número um denominada Fetehab, a número dois Deroshabe e a número três BRE, esta por sua

vez, uma amostra originária do Reino Unido. Na tabela 02 encontram-se os valores de densidade, condutividade térmica e calor específico das amostras descritas.

Tabela 2: Valores das propriedades termo físicas das amostras.

Amostras	Densidade (ρ) (kg/m ³)	Condutividade (λ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (kJ/(kg.K))
Fetehab	1820 kg/m ³	0,41 W/m.K	0,83 kJ/kg.K
Deroshab	1920 kg/m ³	0,55 W/m.K	0,83 kJ/kg.K
BRE	1840 kg/m ³	0,51 W/m.K	0,83 kJ/kg.K

Fonte: Adaptado por Adam e Jones (1995).

Os autores puderam concluir que dentro das amostras de solo a condutividade térmica aumenta com o aumento da densidade, variando de acordo com a resposta de cada tipo de solo para o estabilizador adicionado a ele, sendo que os resultados experimentais também mostraram que o estabilizante tem um efeito acentuado sobre a condutividade térmica (ADAM E JONES, 1995).

Walker e Maniatidis (2003) realizaram um trabalho de revisão bibliográfica em busca de referências sobre paredes de terra compactada. Os mesmos mencionam que a densidade seca do solo na taipa é dependente do tipo de solo, o teor de umidade durante a compactação e o esforço de compactação. A partir dos dados pesquisados em Adam (1995); Standards Australia (2002); Houben & Guillaud (1994); os referidos autores afirmaram que há uma ampla gama de valores de densidade para a taipa, variando de 1700 kg/m³ a 2200 kg/m³. Ainda Houben & Guillaud apud Walker e Maniatidis (2003) afirma que o calor específico da taipa encontra-se por volta de 1,83 kJ/kg.K e de acordo com Standards Australia apud Walker e Maniatidis (2003) a condutividade térmica da taipa está em torno de 0,35 a 0,70 W/(m.K).

As referências mencionadas estão sintetizadas na tabela 03, de maneira que são demonstrados os valores de densidade (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais SC, disponibilizado pelos autores.

Tabela 3: Propriedades térmicas do material SC.

Referências	Densidade (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (kJ/(kg.K))
Marques, Castro e Isaac (2009)	1890	0,38	1,30
Meukan et al. (2004)	1807	0,95	0,90
Ferreira (2003)	1868	0,49	0,75
Adam e Jones (1995)	1820	0,41	0,83
Adam e Jones (1995)	1920	0,55	0,83
Adam e Jones (1995)	1840	0,51	0,83
Walker e Maniatidis (2003)	1700 - 2200	0,35 – 0,7	1,83

Fonte: autora.

2.2.2 Propriedades termo-físicas da CV

Os autores Laaroussi et al. (2014) realizaram um estudo a fim de caracterizar as propriedades térmicas de amostras de tijolos de cerâmica vermelha vindos de uma olaria marroquina. Foram determinados dois tipos de amostra, com diferentes espessuras, composições semelhantes e apresentando alguma heterogeneidade. A amostra um, com dimensões de 100 x 100 x 26 cm foi caracterizada com a densidade de 1777 kg/m³ e a amostra dois com dimensões de 100 x 100 x 21 cm apresentou densidade de 1652 kg/m³. Para tanto, os referidos autores apresentaram os seguintes valores para ambas as amostras: calor específico de 0,82 kJ/(kg.K) e condutividade térmica de 0,35 W/(m.K).

Sobre a condutividade térmica Lamberts et al. (1997) já mencionavam os valores para os materiais cerâmicos, compreendido entre 0,65 a 0,70 W/(m.K).

A NBR 15220 (ABNT, 2003) apresenta valores de propriedades térmicas de vários materiais, entre eles os tijolos cerâmicos, onde define 0,92 kJ/(kg.K) para o calor específico e para as outras propriedades disponibiliza faixas de valores. A densidade de massa aparente (ρ) e a condutividade térmica (λ), são determinados as seguintes faixas de valores, respectivamente: 1000 – 1300 kg/m³ e 0,70 W/(m.K); 1300 – 1600 kg/m³ e 0,90 W/(m.K); 1600 – 1800 kg/m³ e 1,00 W/(m.K); 1800 – 2000 kg/m³ e 1,05 W/(m.K); apresentando determinada variação entre os valores de densidade e condutividade térmica para o referido material.

Conforme as referências pesquisadas, os dados sobre densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais CV são apresentados na tabela 04.

Tabela 4: Propriedades térmicas do material CV.

Referências	Densidade (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (kJ/(kg.K))
N. Laaroussi et al. (2014)	1777	0,35	0,82
N. Laaroussi et al. (2014)	1652	0,35	0,82
Lamberts et. al. (1997)	-	0,65 - 0,70	-
NBR 15.220 (2005)	1000 - 1300	0,70	0,92
NBR 15.220 (2005)	1300 - 1600	0,90	0,92
NBR 15.220 (2005)	1600 - 1800	1,00	0,92
NBR 15.220 (2005)	1800 - 2000	1,05	0,92

Fonte: autora.

2.3 Características físicas dos materiais SC e CV

As características de capacidade de absorção de água, permeabilidade e porosidade dos materiais cerâmicos tem influência sobre a condutividade térmica dos materiais; segundo Callister (2013), o aumento no volume dos poros e a forma de ligação entre eles, sob a maioria das circunstâncias, resultam em uma diminuição da condutividade térmica. Muitos materiais cerâmicos usados como isolantes térmicos são porosos e a transferência de calor através dos poros, normalmente, é lenta e ineficiente. A porosidade é uma variável microestrutural que deve ser controlada para que se produzam tijolos de qualidade. A resistência, a capacidade de suportar carga e a resistência ao ataque por materiais corrosivos aumentam com a redução da porosidade, ao mesmo tempo, as características de isolamento térmico e a resistência a choques térmicos são diminuídos. Obviamente, a porosidade ótima depende das condições de serviço, aplicação e uso.

Devido aos diferentes componentes da mistura dos materiais CV e SC, e as diferentes formas de fabricação dos mesmos contribuem para a distinta configuração das características físicas dos materiais e pode ser visualizado nos estudos de determinados autores demonstrados a seguir.

Para o material SC, com concentração de 10% de cimento, Góis (2012) apresenta absorção de água entre 14,94 % à 16,59 %, e Silva (2007) valores entre 11,17% e 12,74%, aproximadamente. Enquanto isso, para o material de CV, Arruda e Marimbondo (2007) demonstraram um percentual de 13 %; Carvalho (2003) apresentou 21%; Bastos (2003) uma faixa entre 14,27 % à 25,58 %; e Oliveira (1993) entre 10,25 % à 29,5 % de absorção de água.

Na característica de permeabilidade dos materiais, Hall e Djerbid (2006) apresentaram uma faixa entre 0,29 à 0,31 kg/m².min de sucção para o material SC; no entanto Assis (2008) disponibiliza o valor de 4,82 kg/m².min. Para o material CV, Carvalho (2003) afirma ser 2,1 kg/m².min de sucção do material; Prado (1995) compreende uma faixa entre 0,80 à 1,74 kg/m².min; e Oliveira (1993) determina que a permeabilidade das diferentes amostras ensaiadas podem apresentar 0,35 à 7,21 kg/m².min de sucção.

A porosidade dos materiais SC, segundo Vitali (2008) encontra-se em uma faixa entre 36 a 38 %, e os materiais CV, Silva (2011) corresponde à 32 % aproximadamente.

Conforme as referências pesquisadas, os dados referentes à absorção de água, permeabilidade e porosidade dos materiais SC e CV são apresentados na tabela 05.

Tabela 5: Características físicas dos materiais SC e CV.

Referências	Absorção	Permeabilidade	Porosidade
	(%)	(kg/m ² .min)	(%)
	Solo cimento (SC)		
Gois (2012)	14,94% - 16,59%	-	-
Silva (2007)	11,17% - 12,74%	-	-
Hall e Djerbid (2006)	-	0,29 - 0,31	-
Assis (2008)	-	4,82	-
Vitali (2008)	-	-	36 a 38%
	Cerâmica vermelha (CV)		
Silva (2011)	-	-	32,31
Arruda e Marimbondo (2007)	13	-	-
Bastos (2003)	14,27 - 25,58	-	-
Carvalho (2003)	21	2,1	-
Prado (1995)	-	0,80 - 1,74	-
Oliveira (1993)	10,25 - 29,5	0,35 - 7,21	-
Oliveira (1993) bloco 8 furos	15,58 - 26,15	0,38 - 2,46	-

Fonte: autora.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

Com o intuito de colaborar nos estudos relacionados ao desempenho térmico dos materiais SC e CV foi realizada uma revisão bibliográfica sobre às propriedades físico térmicas disponíveis dos referidos materiais, a fim de utilizá-las em equações do método prescritivo, sugerido pela NBR 15220 (ABNT 2005), para determinar o desempenho térmico de edificações construídas em SC e CV. O método de medições *in loco* foi realizado nas edificações selecionadas para determinar o comportamento térmico dos materiais SC e CV nos períodos monitorados. Através do parâmetro atraso térmico apresentado pelas edificações, tanto no método prescritivo como pelo método de medições *in loco*, foi possível avaliar o comportamento térmico dos materiais em estudo e validar as referências bibliográficas utilizadas no método prescritivo que resultaram em valores compatíveis ao contexto da zona bioclimática 6.

Os parâmetros obtidos pelo método prescritivo e pelo método de medições *in loco* são significativos para o desempenho térmico, mas apenas o quesito atraso térmico foi obtido em ambos os métodos. Com isso, apenas a NBR 15220 (ABNT 2005) menciona este parâmetro em suas exigências normativas, portanto foi definido o uso desta norma para a base das análises.

As edificações em questão atuaram como objeto de estudo na pesquisa e foram selecionadas pelo tipo de material constituinte na parede, pela disponibilidade para realização das medições *in loco* e por apresentarem similaridades, mas sabe-se dos limitadores no estudo, assim como: as restritas informações sobre a origem e composição do solo utilizado na produção dos blocos constituintes da alvenaria, devido o processo construtivo das edificações estar concluído; a utilização de valores aproximados de absorvância dos materiais para caracterizar as cores utilizadas nas superfícies das paredes devido à carência de informações disponíveis; a influência do entorno da edificação, os fechamentos em muros e as sombras geradas nas proximidades; e a diferença nas dimensões dos ambientes internos analisados; mas acredita-se que estes aspectos não tenham sido significativos para o comportamento térmico das edificações e às conclusões da pesquisa.

3.1.1 Caracterização climática da cidade de Campo Grande - MS

O município de Campo Grande, capital do estado do Mato Grosso do Sul, situa-se no centro do estado, centro-oeste brasileiro, na latitude 20° 26' 18" Sul e longitude de 54° 32' 18" Oeste, a 530 metros de altitude. Segundo informações levantadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a cidade está situada na faixa de transição entre o clima mesotérmico úmido sem estiagem e o tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Possui clima controlado por três massas de ar características: a Massa Polar Atlântica, a Massa Equatorial Continental e a Massa Tropical Continental. O período chuvoso vai de outubro a março e a média da precipitação total anual é de 1.225mm, a umidade relativa do ar apresenta valores próximos a 80% de dezembro a fevereiro e, a partir de março, a mostra um declínio gradativo atingindo seu valor mínimo no mês de agosto. Os ventos predominantes são na direção leste existindo também uma frequência bastante significativa na direção norte e nordeste. De acordo com a NBR 15.220 (ABNT 2005) parte 3, o Brasil é

dividido em oito diferentes zonas bioclimáticas, a cidade de Campo Grande encontra-se na zona bioclimática brasileira 6, caracterizado pelo verão quente e chuvoso e o inverno quente e seco.

As normais climatológicas para a cidade, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de verão a temperatura mínima aproximada encontra-se em torno de 20 °C e a máxima de 30,2 °C; e considerando o mês de setembro, onde foram realizadas medições *in loco* nas edificações, as normais apresentam mínimas aproximadas de 17,5 °C e máxima de 30 °C.

3.1.2 Materiais

Nas medições *in loco* foram utilizados sensores que registraram dados de temperatura do ar, temperatura na superfície da parede em análise e umidade relativa do ar de hora em hora durante os períodos monitorados. Os sensores utilizados no experimento foram cedidos pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS.

Para obter os dados de temperatura do ar no ambiente e na superfície da parede foi utilizado o equipamento tipo Data Logger, modelo 175T2 da marca Testo. Este sensor de Data Logger opera na faixa de temperaturas de - 40°C a +120°C. O equipamento ficou posicionado no centro do ambiente, em uma altura de 1,10 m do piso, registrando os dados de temperatura do ar. O termopar tipo T, conectado ao Data Logger, ficou fixo na superfície da parede, a uma altura de 1,50 m do piso, e armazenou as trocas térmicas através da alvenaria do exterior para o interior do ambiente. Na figura 18 pode ser visualizado o equipamento Data Logger e o termopar tipo T utilizado na superfície da parede em análise.



Figura 1: Imagem do Data Logger T175T2 e termopar tipo T.

Fonte: Autora.

Para a coleta dos dados referentes a umidade relativa do ar, no interior dos ambientes em análise, foi adotado o sensor modelo “HOBO”, fabricado pela empresa ONSET Computer Corporation, o mesmo opera na faixa de umidade relativa de 0 a 95%. O sistema eletrônico de aquisição de dados foi posicionado a uma altura de 1,10 m do piso. Na figura 19 pode ser visualizado o sensor.



Figura 2: Imagem do Data Logger HOBO.

Fonte: Autora.

Após as medições *in loco*, todos os dados salvos pelos sensores foram transferidos à softwares específicos dos próprios aparelhos e posteriormente transferidos a base do programa Microsoft Office Excel, versão 2007.

Os dados obtidos em todo o período de medições *in loco* foram tratados através de métodos estatísticos para gerar gráficos demonstrando o comportamento térmico das edificações, assim estabelecendo a relação da temperatura e umidade em função do tempo. Os

dados coletados por meio dos sensores mencionados e os dados das variáveis ambientais externas foram demonstrados por meio de gráficos apresentando todo o período de medições e posteriormente o dia típico representativo do período monitorado.

O tratamento estatístico dos dados inicialmente foi realizado pela análise de variância, considerando o delineamento inteiramente casualizado, entretanto não foi evidenciado homogeneidade de variância, mesmo utilizando transformação dos dados, do exposto foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, tanto para verificar diferença entre os tratamentos como comparações múltiplas entre as médias. As análises foram utilizadas no software R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível pelo endereço <http://www.R-project.org/>. Com o auxílio do software Microsoft Excel, versão 2007, os dados gerados pelo software R Core Team (2015) foram plotados em formato de gráficos demonstrando o comportamento térmico das edificações.

3.2 Métodos de avaliação

A pesquisa iniciou com a revisão bibliográfica referente aos valores disponíveis de propriedades físico térmicas dos materiais SC e CV. Pelo método prescritivo, baseado na normativa NBR 15220 (ABNT 2005) parte 2 e 3, foram realizados cálculos prescritivos utilizando os valores das propriedades físicas térmicas dos materiais e as características construtivas dos elementos das edificações em estudo. Com isso, foram encontrados para a parede da edificação os parâmetros de resistência térmica do material, resistência térmica da parede, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar dos elementos da envoltória das edificações. Com estes resultados foi possível verificar o desempenho térmico da edificação pelo método prescritivo e se atende aos parâmetros estabelecidos para a zona bioclimática 6.

O método de medições *in loco* foi realizado a partir da coleta de dados das variáveis ambientais temperatura e umidade relativa do ar, do entorno e do ambiente interno da edificação, bem como a temperatura na superfície interna da parede da edificação com determinado material. Com os dados coletados da temperatura e umidade do ambiente externo, temperatura e umidade interna da edificação e temperatura da superfície interna da

parede em análise foi possível demonstrar o comportamento térmico apresentado pelos materiais SC e CV em determinados períodos monitorados e obter os parâmetros de atraso térmico e de amortecimento térmico.

Para validar e indicar as referências bibliográficas ao contexto da zona bioclimática 6 foi verificado a correlação entre o parâmetro atraso térmico obtido pelo método prescritivo e pelo método de medições *in loco*.

3.3 Edificações selecionadas para análise

As residências unifamiliares em SC e CV selecionadas apresentam parâmetros comparativos compatíveis entre elas, de maneira que, a tipologia construtiva e as condições de entorno são semelhantes. As mesmas estão inseridas em lotes de pequenas dimensões, com áreas mínimas de permeabilidade do solo e rodeadas por muros altos com pequenas áreas de ventilação, características predominantes às edificações que vem sendo construídas no meio urbano da cidade de Campo Grande – MS. O programa de necessidades das residências contempla uma suíte, dois dormitórios, sala de estar e jantar integradas, cozinha, banheiro social, área de serviço e duas vagas de garagem. O dormitório da suíte, para ambas as edificações, foi o ambiente escolhido para monitoramento, devido o grau de permanência nos espaços, e para análise da superfície foi escolhido a parede que recebe a maior incidência solar diária conforme o posicionamento da edificação. Os estudos nas residências iniciaram após o processo construtivo estar concluído, com isso foram realizadas análises a fim de compreender os materiais e sistemas construtivos utilizados, ambas as edificações não estavam habitadas nos períodos de aferições e foram realizadas as medições *in loco* com as edificações fechadas não contemplando a ventilação no ambientes. Na figura 01 há a imagem da edificação de SC e na figura 02 a vista da edificação em CV em estudo, em ambas é possível visualizar o entorno imediato.



Figura 3: Imagem da edificação em SC e o entorno.

Fonte: Autora.



Figura 4: Imagem da edificação em CV e o entorno.

Fonte: Autora.

As edificações estão inseridas no meio urbano da cidade de Campo Grande – MS, situadas em localizações próximas, tendo como ponto de referência a Avenida Cônsul Assaf Trad, próximo a BR-163, a localização aproximada das mesmas, orientação solar e pontos de referência podem ser visualizados na figura 03.

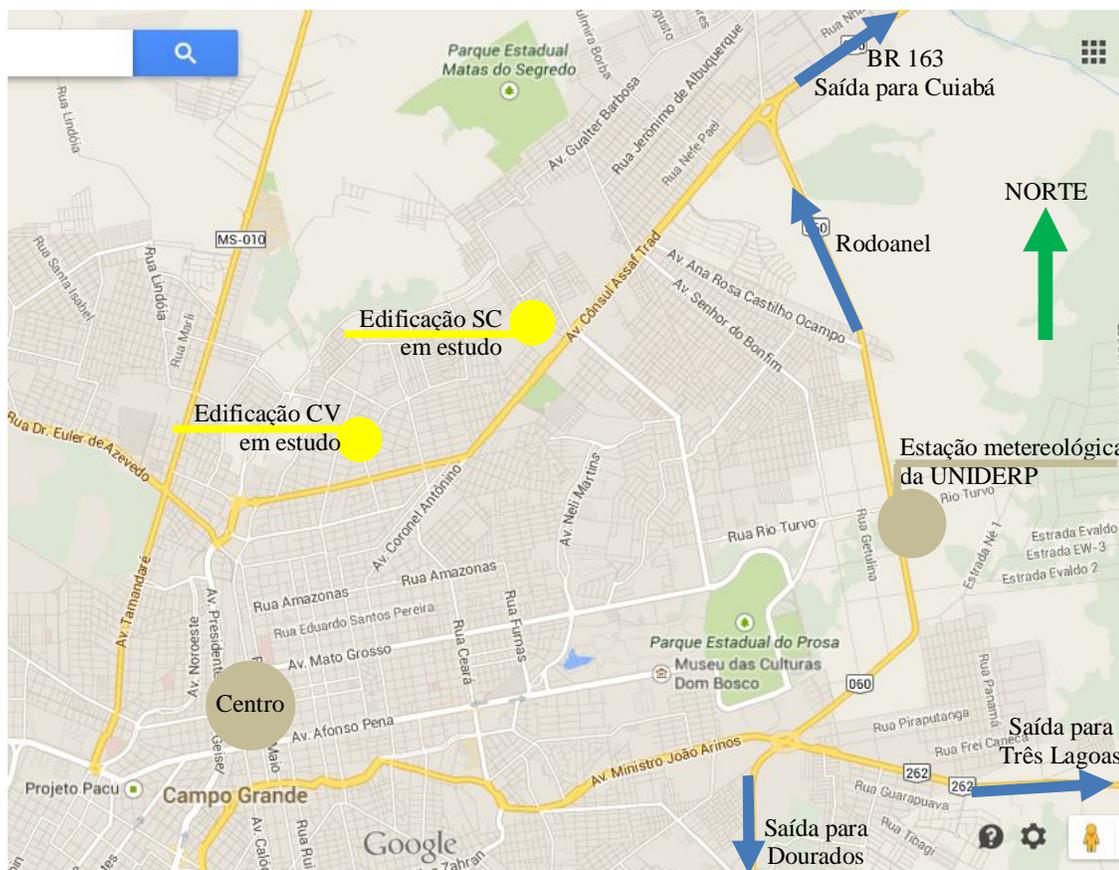


Figura 5: Localização aproximada das edificações em estudo na cidade.

Fonte: Google maps adaptado pela autora. Acesso em 13 jan. 2014.

3.2.1 Edificação em SC

A edificação em SC é uma residência unifamiliar construída em alvenaria de Blocos de Terra Comprimida (BTC) situada na Rua das Araras, no Bairro Morada Verde, conforme demonstrado na figura 04. A edificação está inserida em um lote de 169,88 m² e possui 114,25 m² de área construída, na figura 04 e 05 pode-se perceber que nos lotes limítrofes também possuem edificações e em uma das divisas laterais existe uma rua sem saída, configurando um cul-de-sac próximo à residência em estudo. A implantação da edificação pode ser visualizada na figura 05.



Figura 6: Localização da residência em seu entorno imediato.

Fonte: Google maps. Acesso em 13 jan. 2014.

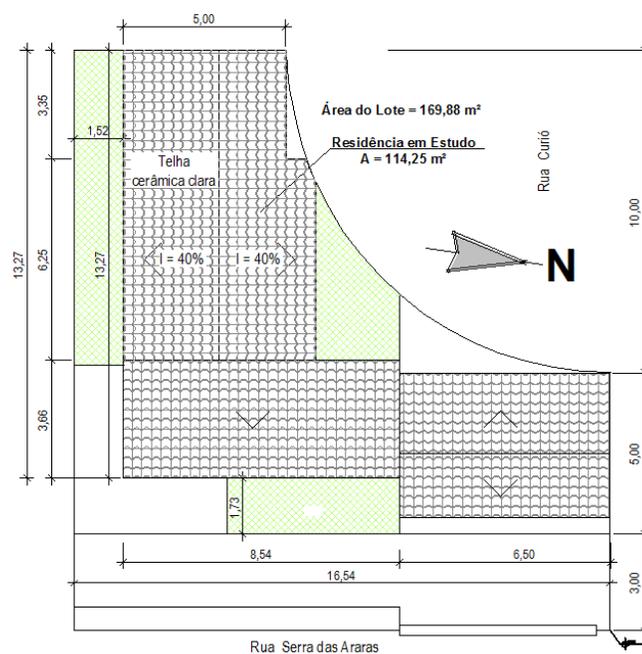


Figura 7: Implantação da edificação no lote.

Fonte: Autora.

O sistema de vedação é composto por paredes de alvenaria de Blocos de Terra Comprimida (BTC), estes com dimensões de 15 x 7 x 30 cm, na face externa da parede encontram-se de forma aparente e na superfície interna do ambiente há reboco de 1 cm e pintura com tinta acrílica, configurando uma parede de espessura de 16 cm no total. Na figura 06 pode ser visualizado em perspectiva o BTC como elemento isolado e ao lado a imagem da parede rebocada em uma das faces.

Conforme as análises realizadas no material BTC, sobre a tonalidade do bloco não há na NBR 15.220 (2005) um valor preciso de absorvância para este material, no entanto através da tabela de cores disponibilizada por Dornelles (2008), foi possível determinar a absorvância de $\alpha = 0,65$ para utilização nos cálculos prescritivos.

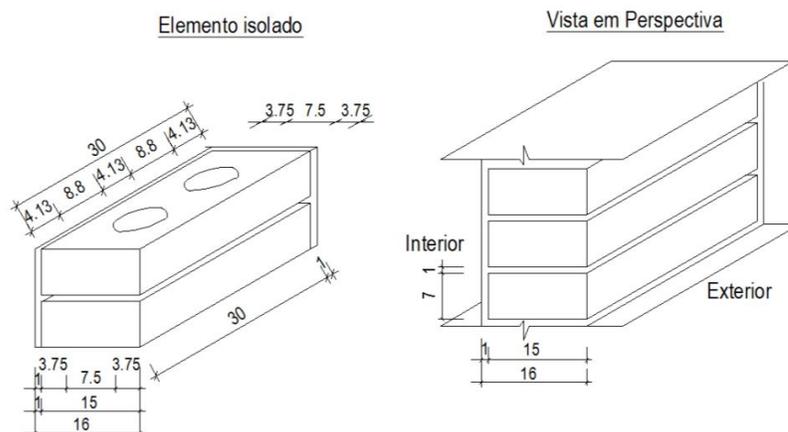


Figura 8: Perspectiva do elemento isolado e da parede de BTC.

Fonte: Autora.

A cobertura é formada por laje de concreto de 12 cm de espessura, sendo uma estrutura de vigas treliçadas de concreto espaçadas com adição de isopor no encaixe entre elas, sendo 6 cm de espessura de isopor e sob esta mais 6 cm de espessura em concreto usinado. As tesouras do telhado, com inclinação de 40%, são compostas por estrutura metálica e cobertas com telha cerâmica vitrificada na cor branca, com absorvância de $\alpha = 0,3$. As portas internas e externas são em madeira e as janelas são em alumínio, com venezianas. O ambiente monitorado possui uma janela de 0,74 x 0,98 m de área livre de abertura, totalizando 0,725 m² para ventilação.

Nas figuras 07 pode ser visualizada uma imagem da edificação em SC.



Figura 9: Vista da edificação em SC.

Fonte: Autora.

Na figura 08 é apresentada a planta baixa da edificação e a marcação do ambiente em análise.

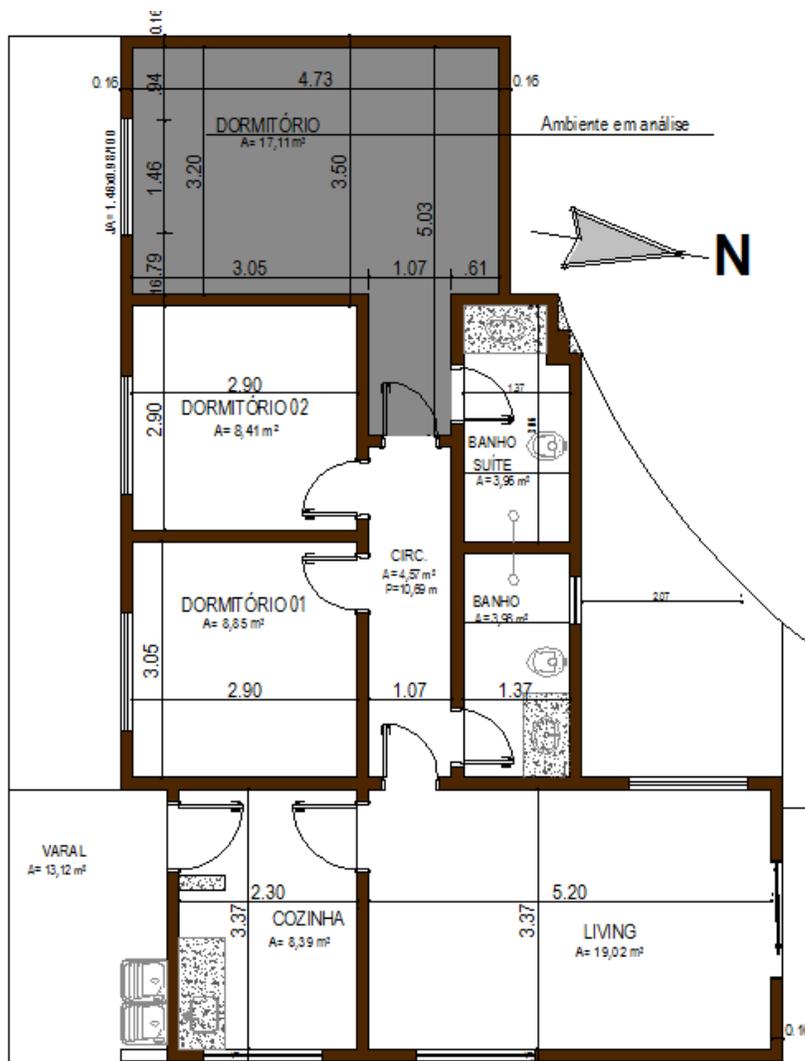


Figura 10: Planta baixa da edificação e o ambiente monitorado.

Fonte: Autora.

Devido a orientação solar da edificação e com o intuito de analisar um ambiente de longa permanência foi escolhido o dormitório da suíte para as aferições dos dados relacionados a temperatura e umidade, na figura 09 demonstra-se o ambiente monitorado, a orientação solar e o posicionamento dos sensores de medição. Na figura 10 está demonstrada a face externa da parede onde foi posicionada a sonda de medição.

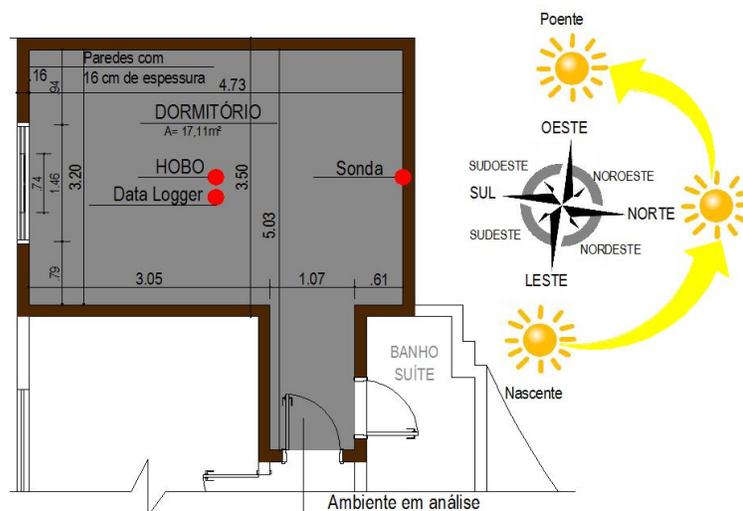


Figura 11: Ambiente monitorado e a orientação solar.

Fonte: Autora.



Figura 12: Vista externa da parede monitorada em SC.

Fonte: Autora.

3.2.2 Edificação em CV

A edificação em CV é uma residência unifamiliar construída em alvenaria de blocos cerâmicos de oito furos, está localizada próxima a avenidas importantes da cidade, assim como Avenida Mascarenhas de Moraes e Av. Cônsul Assaf Trad, situa-se mais precisamente na Rua Zola Cícero, no Bairro Monte Castelo, conforme demonstrado na figura 11. A

edificação está inserida em um lote de 207,54 m² e possui 109,84 m² de área construída. Na figura 12 pode ser visualizada a localização da edificação no lote.



Figura 13: Localização da residência em seu entorno imediato.

Fonte: Google maps. Acesso em 13 jan. 2014.

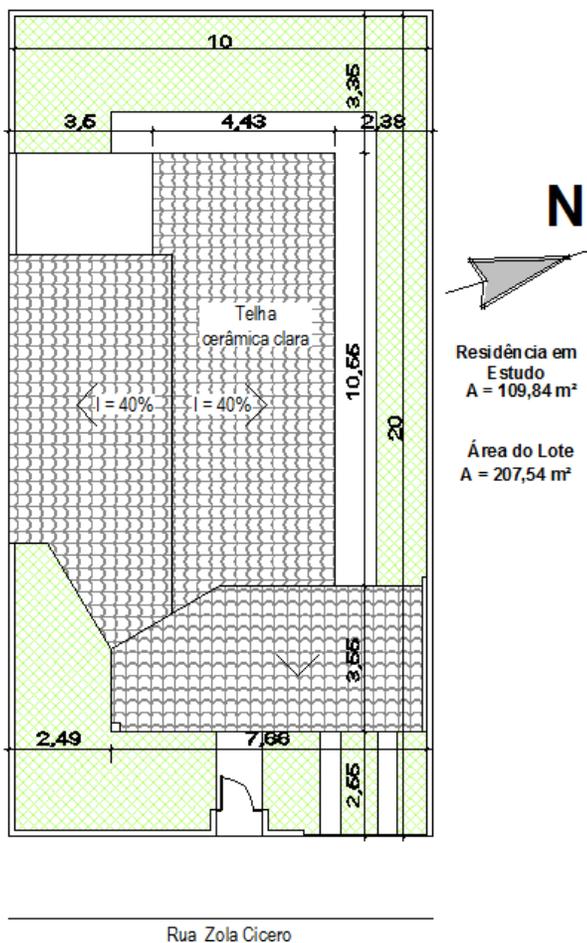


Figura 14: Implantação da edificação no lote.

Fonte: Autora.

O sistema de vedação é composto por paredes de alvenaria de blocos cerâmicos 8 furos, com dimensões de 9 x 19 x 19 cm, adição de reboco de 2,5 cm em ambas as faces e um acabamento de pintura na cor branca, com isso será considerado a absorvência das paredes com o $\alpha = 0,3$, conforme orientação da NBR 15220 (ABNT, 2005). O conjunto de tijolo, argamassa e reboco confere uma parede de 14 cm de espessura. Na figura 13 encontra-se a perspectiva do bloco cerâmico 8 furos como elemento isolado e ao lado a demonstração da parede rebocada em ambas as faces.

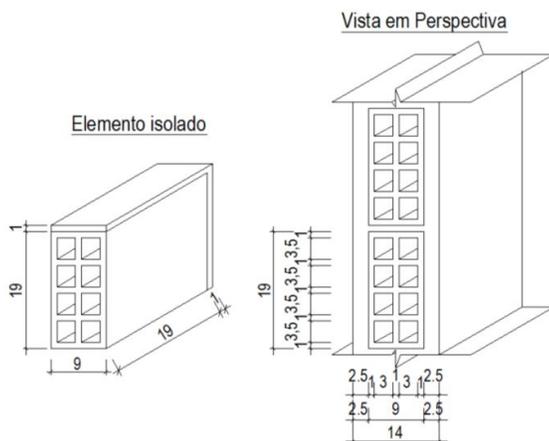


Figura 15: Perspectiva do elemento isolado e da parede de blocos cerâmicos 8 furos.

Fonte: Autora.

A cobertura é formada por laje de concreto de 12 cm de espessura, sendo uma estrutura de vigotas de concreto espaçadas com adição de tabelas cerâmicas no encaixa entre elas, totalizando uma espessura de 9 cm e sob esta estrutura mais 3 cm de espessura em concreto maciço usinado. As tesouras do telhado, com inclinação de 40%, são compostas por estruturas de madeira e cobertas com telha cerâmica natural na cor branca, sendo considerado a nível de cálculo absorvência de $\alpha = 0,3$. As portas internas e externas são em madeira e as janelas são em alumínio, com venezianas.

O ambiente monitorado também possui uma janela metálica, igual à edificação em SC, ou seja, uma janela de 0,74 x 0,98 m de área livre de abertura, totalizando 0,725 m² para ventilação. Na figura 14 pode ser visualizada a planta baixa da edificação com a marcação do ambiente monitorado pelos sensores, e na figura 15 a imagem da edificação em CV.

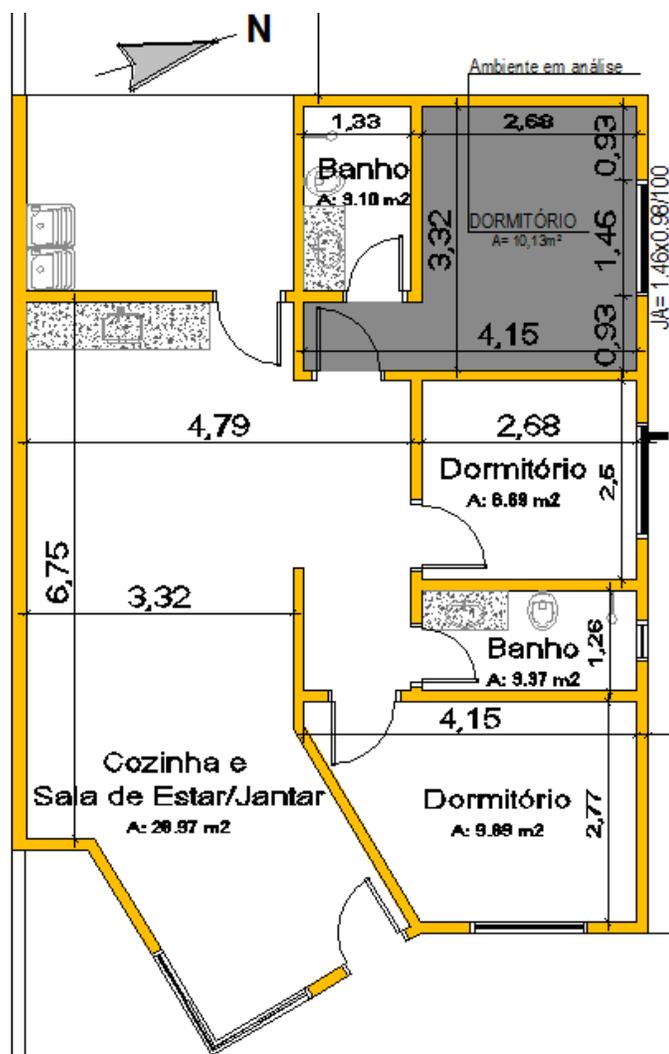


Figura 16: Planta baixa da edificação e a marcação do ambiente monitorado.

Fonte: Autora.



Figura 17: Vistas da edificação em CV.

Fonte: Autora.

Na figura 16 demonstra o local em análise, o posicionamento dos sensores para as aferições e a orientação solar do ambiente. A figura 17 demonstra a face externa da parede da edificação em CV monitorada pelos sensores.

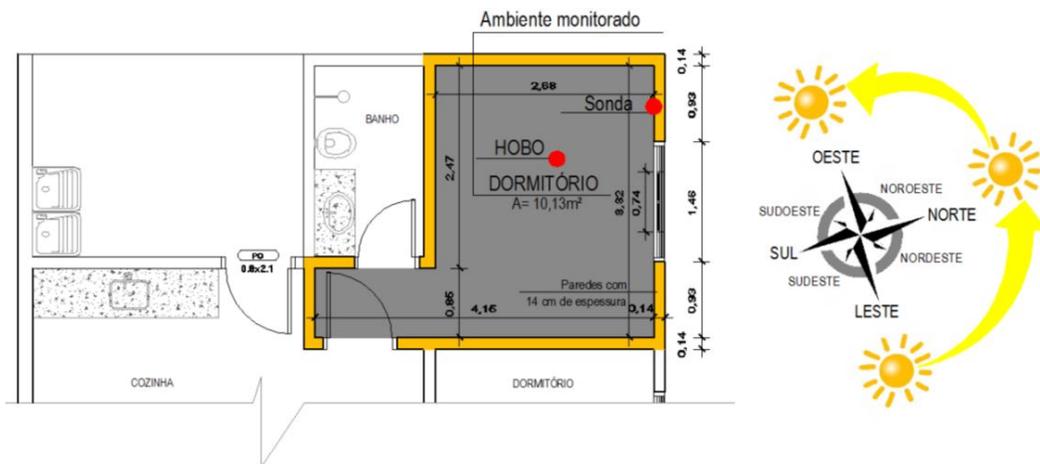


Figura 18: Ambiente monitorado e a análise da orientação solar.

Fonte: Autora.



Figura 19: Vistas da face externa da parede monitorada em CV.

Fonte: Autora.

No ambiente em análise há uma esquadria na mesma parede onde foi instalada a sonda para aferições da temperatura na superfície, com isso foi realizado um dia de medições com o sensor de globo para verificar se a janela metálica poderia alterar os resultados relativos à temperatura do ar no ambiente interno, no entanto não foi verificada influências nos dados pela mesma.

3.4 Coleta de Dados

As variáveis ambientais externas, assim como temperatura do ar, umidade relativa, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar e índice pluviométrico; foram fornecidos pelo Centro de Meteorologia da Uniderp-Anhanguera e pelo Centro de Meteorologia de Mato Grosso do Sul (Cemtec-MS/Agraer), ambos localizados na cidade de Campo Grande. Considerando o posicionamento do Centro de Meteorologia e das edificações em estudo faz-se necessário salientar que é possível haver diferenças nas variáveis ambientais externas da estação e o entorno das residências devido a possíveis zonas de calor formadas no interior da cidade.

As medições *in loco* das edificações em SC e CV do período de verão teve de ser realizada em dias distintos devido a disponibilidade de uso das edificações e a quantidade de equipamentos disponíveis para as medições. A residência em SC foi monitorada por determinado tempo, mas puderam ser considerados válidos os dados dos dias 22 de janeiro a 19 de fevereiro de 2014, resultando em 28 dias de registros. Na edificação em CV foi possível monitorá-la do dia 18 de dezembro de 2014 a 6 de janeiro de 2015, resultando em 19 dias de registros válidos. No entanto, foram realizadas medições *in loco* concomitantemente nas edificações em SC e CV do dia 2 a 28 de setembro de 2014, período final do inverno e início da primavera, ao passo que, ainda se demonstrou um clima quente e seco característico do período. Nas medições mencionadas, não se demonstraram eventuais problemas com aparelhos ou qualquer outro tipo de imprevisto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Método prescritivo de avaliação de desempenho térmico

A NBR 15220 (ABNT 2005) é dividida em 5 partes, mas neste trabalho foram utilizadas apenas a Parte 2 e 3, onde são disponibilizados os procedimentos de cálculo e as equações para determinar o desempenho térmico de uma edificação, as recomendações de

diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo para as diferentes zonas bioclimáticas.

Para aplicação das equações sugeridas pela NBR 15220 (ABNT 2005) foram utilizadas as características das edificações e as propriedades dos materiais construtivos disponibilizados na revisão bibliográfica. Algumas propriedades disponíveis nas tabelas 3 e 4 aparecem em determinadas faixas de valores, com isso foi necessário gerar a média dos mesmos a fim de adotar um valor e inserir nos processos de cálculo do método prescritivo. Desta maneira, na tabela 06 são demonstrados tais valores adotados.

Tabela 6: Valores utilizados nas equações pelo método prescritivo.

Material	Referências	Densidade (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) (W/(m.K))	Calor específico (c) (kJ/(kg.K))
SC	Marques, Castro e Isaac (2009)	1890	0,38	1,30
	Meukan et al. (2004)	1807	0,95	0,90
	Ferreira (2003)	1868	0,49	0,75
	Adam e Jones (1995)	1820	0,41	0,83
	Adam e Jones (1995)	1920	0,55	0,83
	Adam e Jones (1995)	1840	0,51	0,83
	Walker e Maniatidis (2003)	1800	0,525	1,83
CV	N. Laaroussi et al. (2014)	1777	0,35	0,82
	N. Laaroussi et al. (2014)	1652	0,35	0,82
	NBR 15.220 (2005)	1150	0,70	0,92
	NBR 15.220 (2005)	1450	0,90	0,92
	NBR 15.220 (2005)	1600	0,90	0,92
	NBR 15.220 (2005)	1900	1,05	0,92

Como recomendações para o desempenho térmico das paredes externas das edificações, esta norma disponibiliza valores para os parâmetros de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para cada zona bioclimática, na tabela 07 são apresentados os valores estabelecido para a zona bioclimática 6 (ABNT, 2005).

Tabela 7: Recomendações relativas às paredes externas.

Zona	Vedações externas	Transmitância Térmica U (W/m ² .K)	Atraso térmico ϕ (horas)	Fator Solar FS _o (%)
6	Pesada	$U \leq 2,20$	$\geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$

Fonte: Adaptado pela NBR 15220 (ABNT, 2005).

Portanto, nas tabelas 08 e 09 é possível visualizar o desempenho térmico das edificações através dos valores referentes à transmitância térmica, atraso térmico e fator solar relativo às paredes externas de cada edificação. Os valores destacados na cor cinza referem-se ao desempenho de acordo com a norma e os demais representam os resultados que não estão em conformidade com a mesma.

No que diz respeito à edificação em SC, na tabela 08, é possível visualizar a listagem de referências utilizadas e o desempenho térmico obtido para as paredes externas.

Tabela 8: Resultados relativos às paredes externas da edificação em SC.

Referências	Transmitância Térmica U W/(m ² .K)	Atraso térmico ϕ (horas)	Fator solar FS _o (%)
Marques, Castro e Isaac (2009)	1,81	4,00	4,72
Meukan et al. (2004)	2,66	2,26	6,90
Ferreira (2003)	2,04	2,76	5,31
Adam e Jones (1995)	1,88	3,07	4,89
Adam e Jones (1995)	2,15	2,80	5,60
Adam e Jones (1995)	2,08	2,83	5,41
Walker e Maniatidis (2003)	2,10	4,00	5,48

Conforme os dados disponibilizados para a edificação em SC, a característica de transmitância térmica (U) apenas a referência de Meukan et al. (2004) obteve valores além dos limites estabelecidos pela norma, os demais geraram resultados de $U \leq 2,20$ W/(m².K), portanto valores adequados para este parâmetro.

No aspecto do atraso térmico (ϕ), utilizando as características da edificação e as referências disponíveis, nenhum resultado atingiu o valor mínimo de 6,5 horas. No entanto, os valores mais próximos ao sugerido pela norma foram obtidos com os autores Marques, Castro e Isaac (2009) e Walker e Maniatidis (2003), onde se obteve atraso térmico de 4 horas.

No parâmetro do fator solar (FS_o) os valores também não estão adequados aos sugeridos pela norma, pois encontram-se superiores 3,5%, com isso acredita-se que os valores superiores ao estabelecido foram gerados pelo elevado valor de absorvância do componente da envoltória devido a “marrom-avermelhada” característica do material.

Na tabela 09 é possível visualizar a listagem de referências utilizadas e o desempenho térmico obtido para as paredes externas da edificação em CV.

Tabela 9: Resultados relativos às paredes externas da edificação em CV.

Referências	Transmitância Térmica (U) W/(m ² .K)	Atraso térmico (ϕ) (horas)	Fator de calor solar FS _o (%)
N. Laaroussi et al. (2014)	2,91	2,79	3,50
N. Laaroussi et al. (2014)	2,91	2,75	3,50
NBR 15220 (2005)	2,50	3,00	3,0
NBR 15220 (2005)	2,36	3,40	2,83
NBR 15220 (2005)	2,30	3,50	2,76
NBR 15220 (2005)	2,27	3,65	2,73

Para a edificação em CV, utilizando as referências disponibilizadas, no parâmetro da transmitância térmica todos os resultados ficaram superiores ao estabelecido pela norma,

sendo que uma das referências disponíveis da NBR obteve um valor de $2,27 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ o mais próximo de $U \leq 2,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. O aspecto do atraso térmico também obteve valores não conformes às orientações da norma, tendo como valor superior de 3,65 horas utilizando propriedades térmicas da própria NBR, no entanto, o valor é consideravelmente inferior às 6,5 horas de atraso térmico determinado pela norma.

No parâmetro do fator solar, devido a edificação possuir pintura na superfície com cor de tonalidade clara, o seu índice de absorvância é relativamente baixo ocasionando um baixo fator solar, e isto se confirma na tabela 08, pois simulando o desempenho térmico da edificação, com todas as referências utilizadas a edificação esteve com este parâmetro adequado à norma. Também é possível perceber que com a referência de N. Laaroussi et al. (2014) o fator solar de 3,50% ficou no limite estabelecido.

Conforme o demonstrativo das tabelas rapidamente percebe-se a variabilidade dos resultados que podem ser obtidos para um mesmo parâmetro de avaliação, ao mesmo tempo evidencia a dificuldade na escolha de qual referência de propriedades e características térmicas utilizar, portanto reforçam a necessidade de conhecer as propriedades do material para então obter o real desempenho da edificação.

Apesar disso, com os resultados de transmitância térmica e atraso térmico, disponibilizados pelo método prescritivo, percebe-se a inclinação ao superior desempenho térmico do material SC. Conforme as referências de Marques, Castro e Isaac (2009) e Walker e Maniatidis (2003), chegaram a 4 horas de atraso, e devido ao parâmetro de transmitância térmica demonstrar, com exceção de uma, todas as referências de acordo para a ZB6, contrário à CV que não obteve nenhum valor de acordo com a norma. Por conseguinte, o SC apresenta-se em desvantagem pelo parâmetro do fator solar, pois na edificação em CV todas as referências utilizadas alcançaram valores adequados à ZB6. Com estes dados acredita-se que as propriedades térmicas do SC são favoráveis ao superior desempenho térmico e que a absorvância das superfícies pode ser uma variável que pode influenciar os demais fatores no comportamento térmico da edificação.

4.2 Método de medições *in loco* para avaliação de desempenho térmico

As medições *in loco*, nas edificações em SC e CV, ocorreram em determinados períodos do ano. Com isso foi determinado como período monitorado de verão para as medições realizadas em datas inseridos na estação climática do verão e denominado período monitorado inverno/primavera referente aos dias do mês de setembro. Os dados considerados válidos foram organizados em formato de gráficos, sendo demonstradas as variáveis ambientais, representadas pela: temperatura do ar com a legenda Temp Ext, e umidade relativa do ar em Umid Ext; as variáveis térmicas do interior da edificação, representadas pela: temperatura do ar com a legenda Temp Amb, e umidade relativa do ar em Umid Amb; e a variável de temperatura na superfície da parede em análise da edificação, designada Temp PA. A partir das figuras foi demonstrado o comportamento térmico da edificação em todo o período monitorado e posteriormente o dia típico de projeto considerando o período monitorado.

4.2.1 Medições *in loco* no período monitorado de verão

4.2.1.1 Edificação em SC

Na figura 20 está representado as temperaturas do ar externo, interno e da superfície da parede para todo o período de monitoramento válido na edificação em SC, sendo assim encontra-se as aferições do dia 22 de janeiro a 25 de janeiro de 2014 e do dia 4 de fevereiro à 19 de fevereiro de 2014. O dia 12 de fevereiro de 2014 caracteriza o dia típico de projeto considerando o período monitorado, portanto a demarcação da referida data na figura 20.

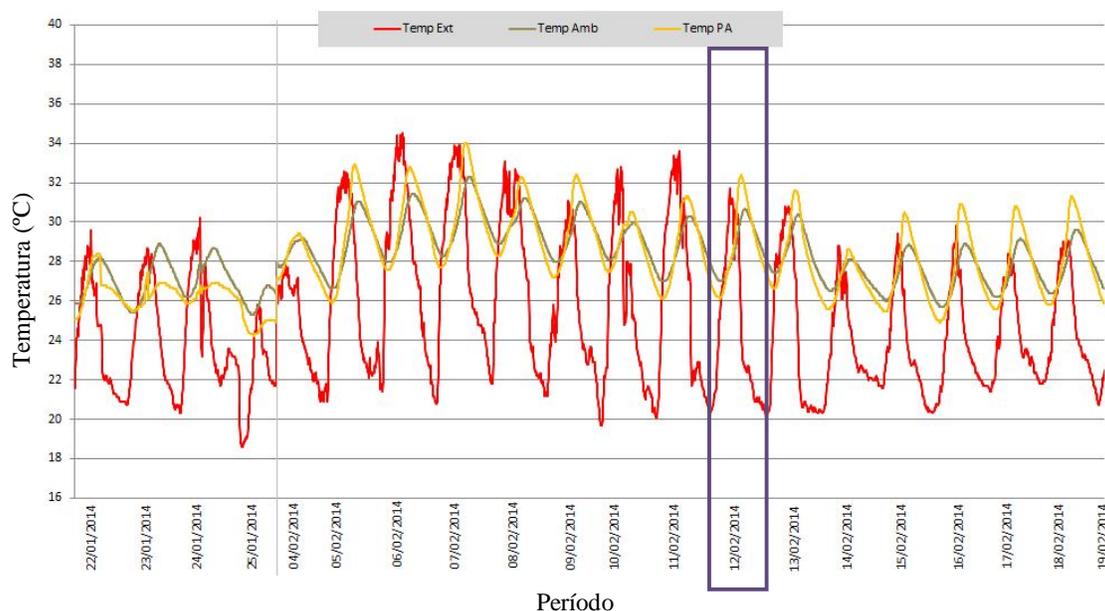


Figura 20: Temperaturas durante todo o período monitorado de verão para a edificação em SC.

Conforme demonstrado pelo gráfico, em todo o período de monitoramento, a temperatura externa demonstrou-se mais elevada no dia 6 de fevereiro de 2014, onde atingiu $34,5^{\circ}\text{C}$, a temperatura mínima, por sua vez, ocorreu no dia 25 de janeiro e atingiu $18,6^{\circ}\text{C}$. A temperatura do ar no ambiente interno apresentou a máxima temperatura no dia 7 de fevereiro, onde alcançou aproximadamente $32,3^{\circ}\text{C}$, e a temperatura mínima de $25,3^{\circ}\text{C}$ no dia 25 de janeiro. A temperatura na superfície da parede atingiu temperatura máxima de 34°C no dia 7 de janeiro e a temperatura mínima de $24,2^{\circ}\text{C}$ no dia 25 de janeiro.

Na figura 21 demonstra-se o comportamento térmico da edificação em SC no dia 12 de fevereiro de 2014, característico do dia típico do período monitorado, relacionando as temperaturas em função do tempo.

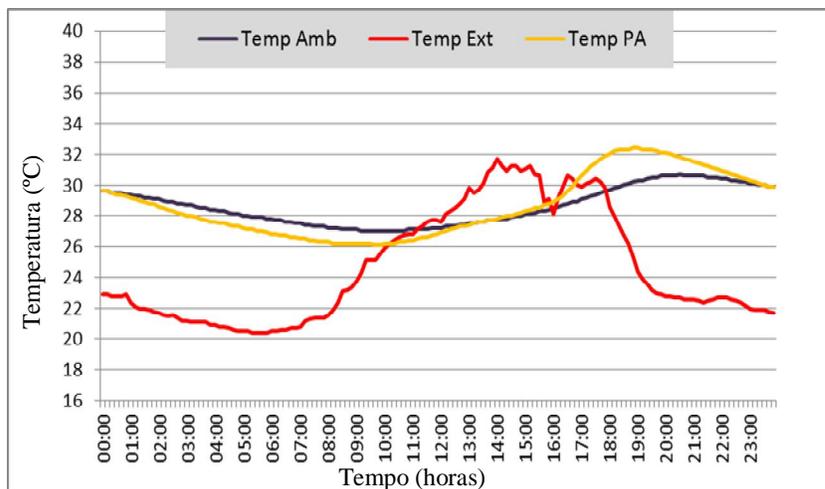


Figura 21: Temperaturas no dia típico do período monitorado de verão na edificação SC.

Com os dados disponíveis pode-se perceber que a Temp Ext máxima atingiu 31,7 °C aproximadamente às 14 horas do dia, e a temperatura máxima no interior do ambiente ocorreu em torno das 20 horas atingindo 30,7 °C, isso revela um atraso térmico próximo à 6 horas; e a temperatura máxima na superfície da parede chegou à 32,4 °C alcançada às 18 horas e 30 minutos, com isso um atraso térmico de aproximadamente de 4 horas e 30 minutos. Assim, a diferença da temperatura máxima no ambiente interno comparada ao ambiente externo foi de aproximadamente 1°C, com isso o amortecimento térmico foi muito baixo, e a Temp Pa apresentou temperatura superior ao Temp Ext. Quanto às amplitudes térmicas, diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas, externamente (Temp Ext) houve 11,3 °C de diferença, no ambiente (Temp Amb) apenas 3,7 °C e na temperatura superficial na parede (Temp PA) obteve-se 6,3 °C de diferença, aparentemente baixas amplitudes, mas considerando que durante todo o dia apresentaram-se entre mínima de 27°C e máxima próximo aos 31°C, isto contribuiu para ambientes condicionados a elevadas temperaturas durante as 24 horas do dia.

Portanto, o comportamento térmico apresentado demonstra que a Temp Amb atingiu valores superiores à temperatura máxima exterior, apesar de ter sido alcançada horas depois à Temp Ext, em vista disso acredita-se que o material SC possa apresentar melhor desempenho térmico quando trabalhado com volumes superiores de massa térmica, pois neste formato foi possível verificar que não atende de maneira satisfatória os parâmetros de desempenho térmico. Outro fator que pode ter contribuído para determinado comportamento é o valor de absorvância do material, pois devido a tonalidade do material constituinte do bloco o coeficiente aproximado de absorvância encontra-se em 0,65, com isso o envelope da edificação absorve quantidades significativas da radiação incidente, conseqüentemente o índice de absorção do envelope é superior a reflexão do mesmo.

Na figura 22 encontra-se o comportamento térmico da edificação em SC, demonstrando os dados referentes a umidade relativa do ar para todo o período monitorado de verão, o dia 12 de fevereiro de 2014 caracteriza o dia típico de projeto considerando o período monitorado. O gráfico apresenta as informações referentes a umidade relativa do ar em função do período monitorado.

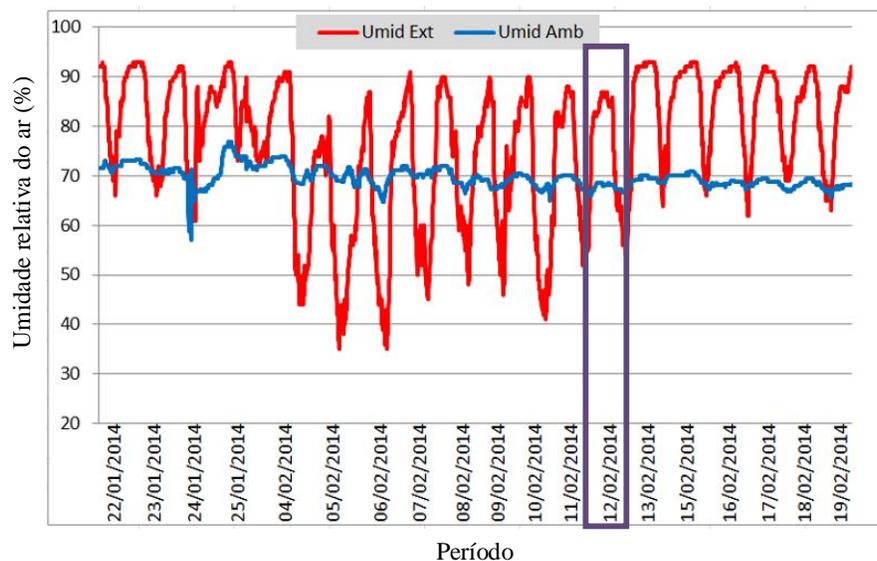


Figura 22: Umidade relativa do ar durante todo o período monitorado de verão para a edificação em SC.

Na figura 23 demonstra-se o comportamento térmico no dia típico do período monitorado na edificação em SC, relacionando a umidade relativa do ar em função do tempo.

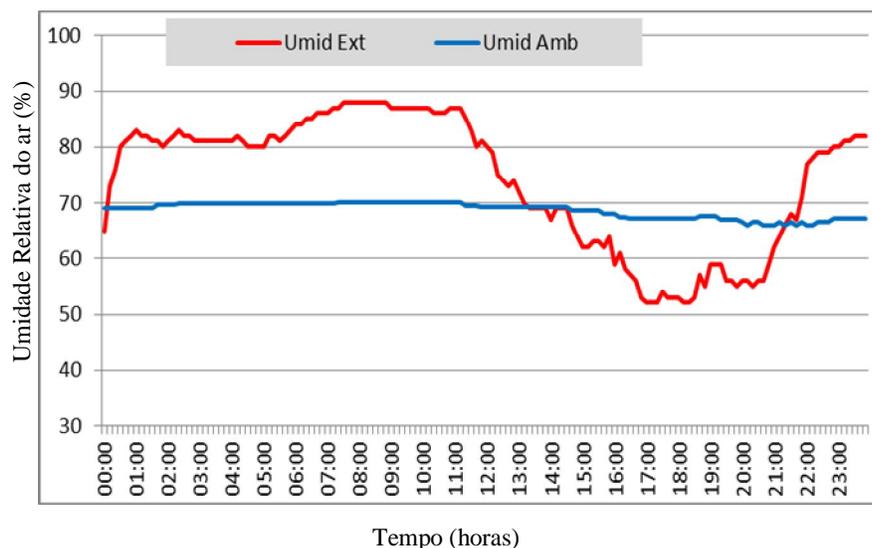


Figura 23: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado de verão na edificação em SC.

Através dos dados apresentados é possível perceber que a umidade relativa do ambiente externo teve considerável amplitude, visto que alcançou picos de umidade máxima de 88% e mínima de 52%, chegando a variações em torno de 36%; no interior da edificação o comportamento foi diferente, pois apresentou variação entre 66% à 70%, apenas 4% de diferença para o período. Visto isso, é interessante lembrar que, durante o monitoramento *in loco*, não houve renovações de ar (ventilação) no interior da edificação contribuindo com a variação de amplitude apresentada. De qualquer maneira, com os dados disponíveis, torna-se

possível visualizar que a umidade no ambiente apresenta comportamento praticamente constante, com isso pode-se perceber que o envelope da edificação não apresenta valores expressivos de renovações de ar, fato que não confere com determinadas afirmações de bibliografias disponíveis. Devido a característica da porosidade do material ser superior frente aos demais materiais cerâmicos, acreditava-se que a umidade do ambiente interno pudesse demonstrar variações significativas para basear as afirmativas referentes ao fenômeno de que a “parede respira”, o que não ocorreu. Este desempenho relacionado a umidade provavelmente também ocorre devido a restrita espessura de material constituinte do bloco, pois se o mesmo fosse estruturado com quantidade de massa superior o mesmo poderia trabalhar de forma diferente.

4.2.1.2 Edificação em CV

Na figura 24 está representado as temperaturas do ar externo, interno e da superfície da parede para todo o período de aferições válidas na edificação em CV, com isso foram registrados os valores do dia 18 de dezembro de 2014 à 6 de janeiro de 2015, e o dia 31 de dezembro de 2014 caracteriza o dia típico do período monitorado de verão.

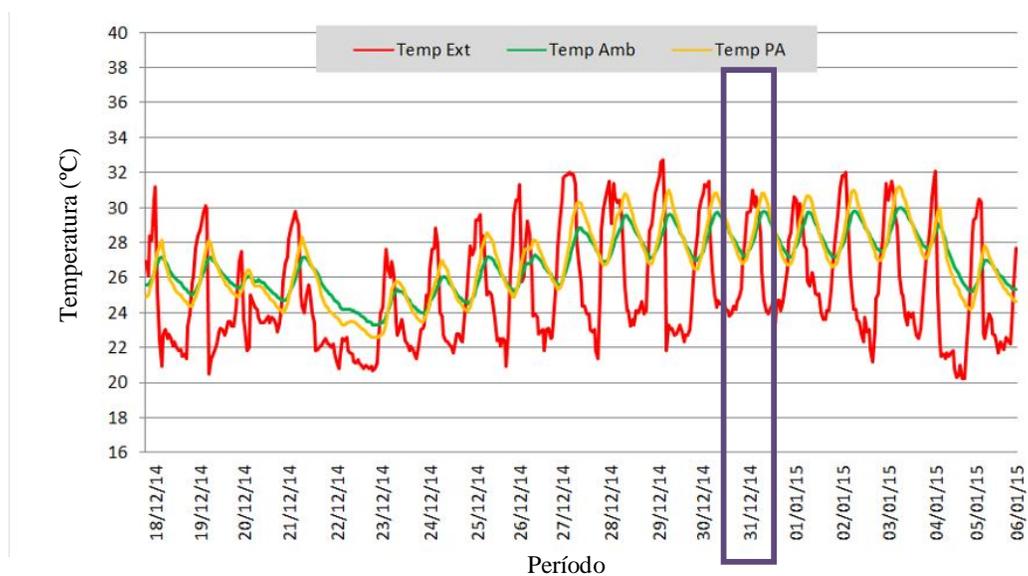


Figura 24: Temperaturas durante todo o período monitorado de verão para a edificação em CV.

Conforme demonstrado pelo gráfico, a temperatura externa demonstrou-se mais elevada no dia 29 de dezembro de 2014, onde atingiu 32,7°C, a temperatura mínima, por sua

vez, ocorreu no dia 5 de janeiro, onde atingiu 20,2°C. A temperatura do ar no ambiente interno apresentou a máxima temperatura no dia 3 de janeiro, onde atingiu 30°C, e a temperatura mínima de 23,3°C no dia 23 de dezembro. A temperatura na superfície da parede atingiu temperatura máxima de 31,2°C no dia 3 de janeiro e a temperatura mínima de 22,6°C no dia 23 de dezembro.

Na figura 25 demonstra-se o comportamento térmico da edificação em CV no dia 31 de dezembro de 2014, característico do dia típico do período monitorado, relacionando as temperaturas em função do tempo.

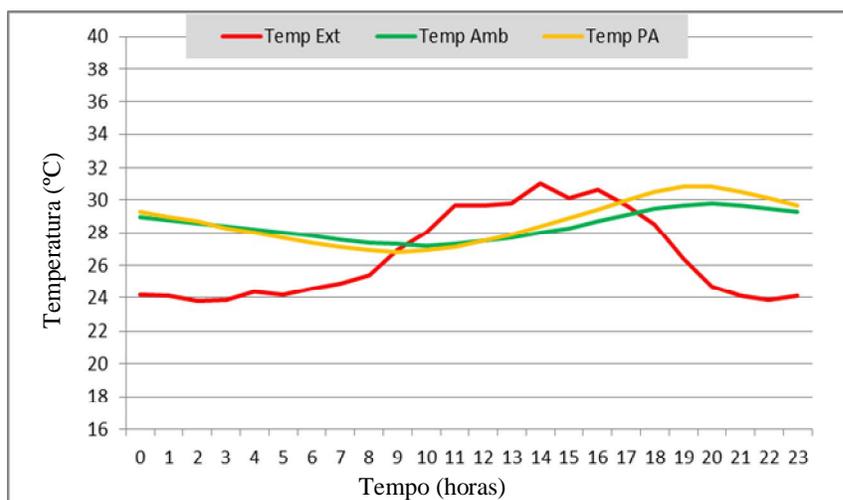


Figura 25: Temperaturas no dia típico do período monitorado de verão na edificação CV.

Conforme os dados disponíveis foi possível perceber que a temperatura externa esteve entre 23,8°C e 31,0°C durante o dia, atingindo a máxima aproximadamente às 14 horas. No ambiente interno registrou-se temperatura mínima de 27,2°C e a máxima de 29,8°C, aproximadamente às 20 horas. A partir do termopar fixo na superfície da parede foi possível verificar os registros de temperatura mínima de 26,8°C e a máxima de 30,8°C às 19 horas aproximadamente. Portanto, o atraso térmico aproximado no ambiente interno foi de 6 horas e na superfície da parede em torno de 5 horas. O amortecimento térmico foi positivo em ambas as análises, mas consideravelmente insignificantes, pois relacionado ao ambiente interno houve 1,2°C e na superfície da parede apenas 0,2°C. A amplitude térmica, no ambiente interno apresentou-se apenas 2,6°C de variação, e na superfície da parede 4,0°C de diferença entre temperaturas mínimas e máximas. Sendo assim, o ambiente interno da edificação apresenta-se em elevadas temperaturas durante todo o período, ocasionando desconfortos pelo calor.

Devido aos resultados obtidos acredita-se que o comportamento térmico apresentado também é reflexo da restrita espessura das paredes, que por sua vez não consegue reter o calor

de forma efetiva no envelope da edificação. Entretanto, supõe-se que se houver expressiva massa térmica no envelope da edificação, o material poderia apresentar melhores resultados de desempenho térmico.

Na figura 26 encontra-se o comportamento térmico da edificação em CV de todo o período monitorado, o dia 31 de dezembro de 2014 caracteriza o dia típico do período monitorado, e o gráfico demonstra a umidade relativa do ar em função do tempo.

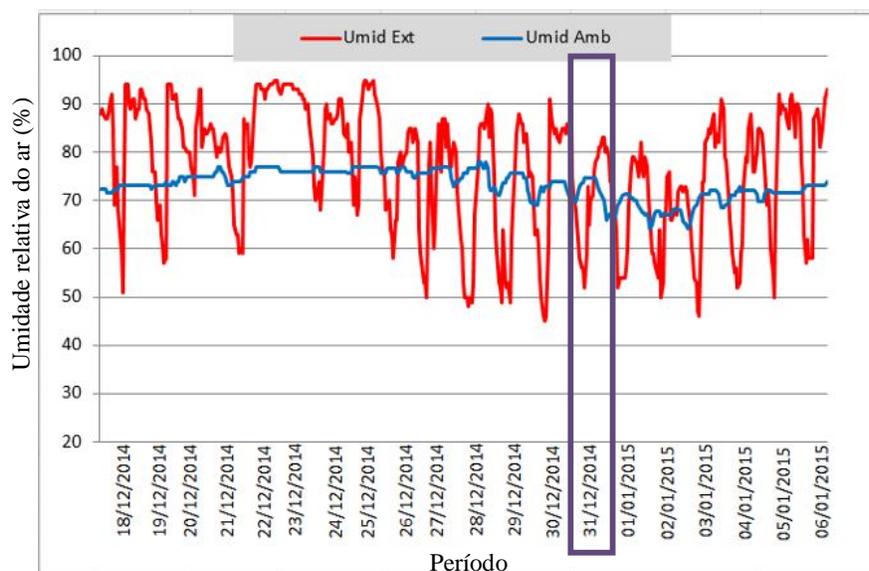


Figura 26: Umidade relativa do ar durante o período monitorado de verão para a edificação em CV.

Na figura 27 demonstra-se o comportamento térmico no dia típico do período monitorado na edificação em CV, relacionando a umidade relativa do ar em função do tempo.

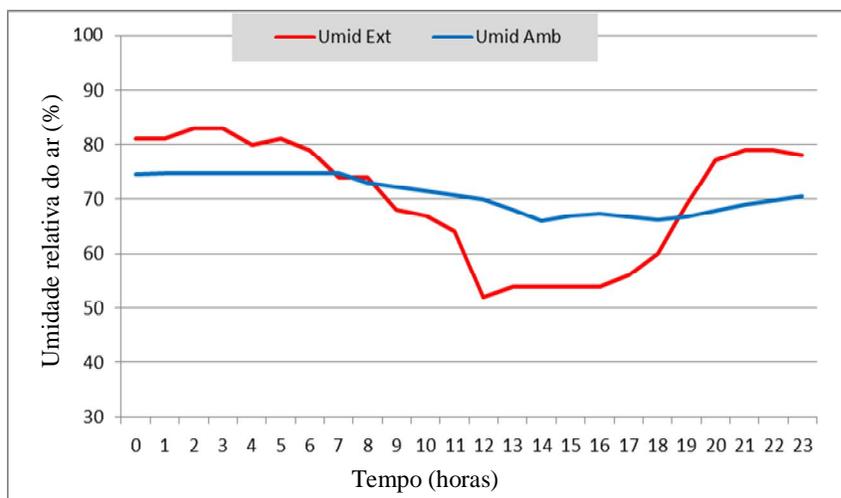


Figura 27: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado de verão na edificação em CV.

Conforme os dados da figura 27, a umidade relativa do ar no ambiente externo esteve entre 52% a 83% aproximadamente, ocasionando uma amplitude de 31%. Entretanto, no

ambiente interno apresentou-se apenas 8% de variação, sendo a umidade mínima de 66% e a máxima de 74%. Devido as características do clima local, a umidade relativa do ar no ambiente externo apresentou índices elevados, com isso os valores relativos a umidade no ambiente interno também estiveram elevados, mas com variações praticamente insignificantes. Devido às bibliografias apresentadas anteriormente, sobre a porosidade dos materiais de cerâmica vermelha que passam pelo processo de queima, esta característica não se demonstra de maneira expressiva, conseqüentemente o comportamento apresentado já era esperado.

4.2.2 Medições *in loco* no período monitorado inverno/primavera

Na figura 28 estão representadas as temperaturas do ar registradas em função do tempo nas medições *in loco*, concomitantemente nas edificações em SC e CV, dos dias 2 de setembro a 28 de setembro de 2014, o dia 18 de setembro de 2014 caracteriza o dia típico do período monitorado.

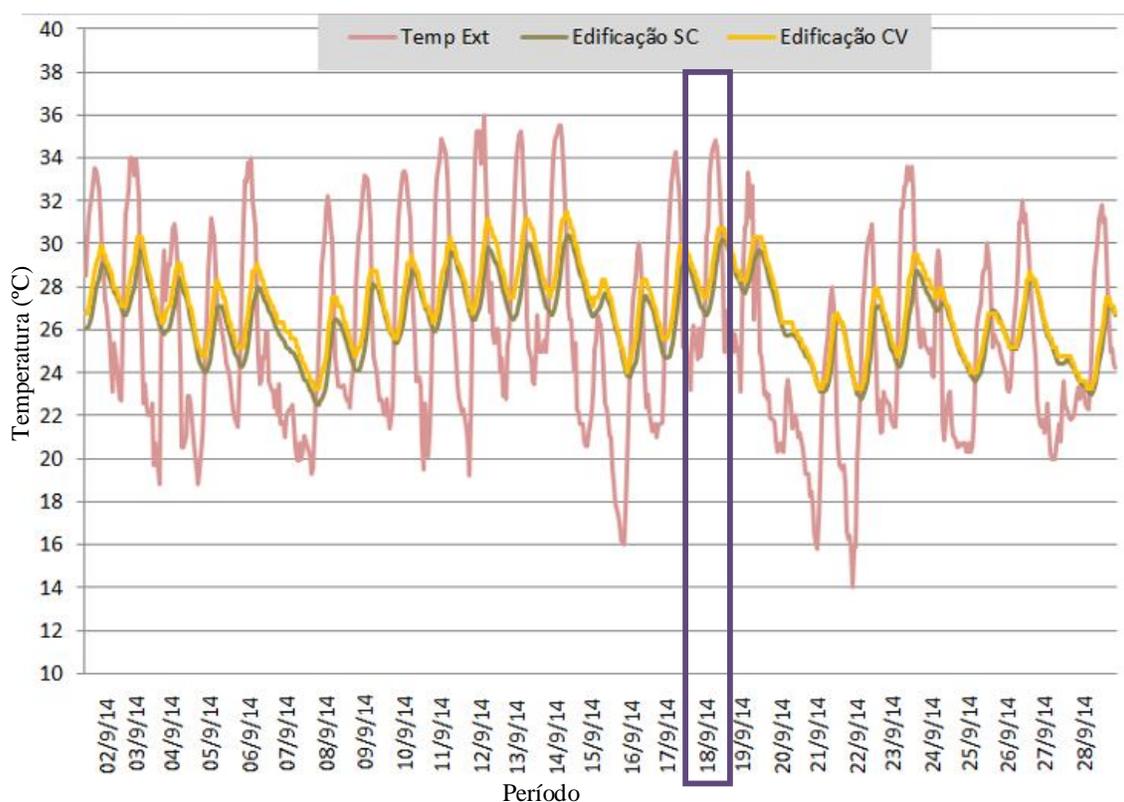


Figura 28: Representação das temperaturas no período monitorado de inverno/primavera.

Através dos dados pode-se perceber que as maiores variações de temperatura do ar ocorreram no ambiente externo, onde as oscilações foram mais acentuadas, no ambiente interno das edificações percebe-se uma resposta semelhante de ambas as edificações ao clima externo, pois as variações de temperatura do ar no interior dos ambientes estão muito próximas uma da outra caracterizando um comportamento térmico semelhante. Em todo o período de aferições foi registrado temperatura mínima no exterior dia 22 de setembro, atingindo 14 °C e a máxima 35,2°C, registrada no dia 12 de setembro. As temperaturas mínimas no ambiente interno da edificação em SC e CV ocorreu no mesmo dia, 8 de setembro sendo Temp Amb de aproximadamente 22,5°C na edificação em SC, e 23,2°C na edificação

em CV. A temperatura máxima também foi registrada no dia 14 de setembro para ambas as edificações, sendo 30,4°C na edificação em SC e 31,52°C na edificação em CV.

Na figura 29 representa a umidade relativa do ar registradas concomitantemente por todo o período monitorado nas edificações em SC e CV e demarcado o dia 18 de setembro de 2014 como o dia típico do período monitorado.

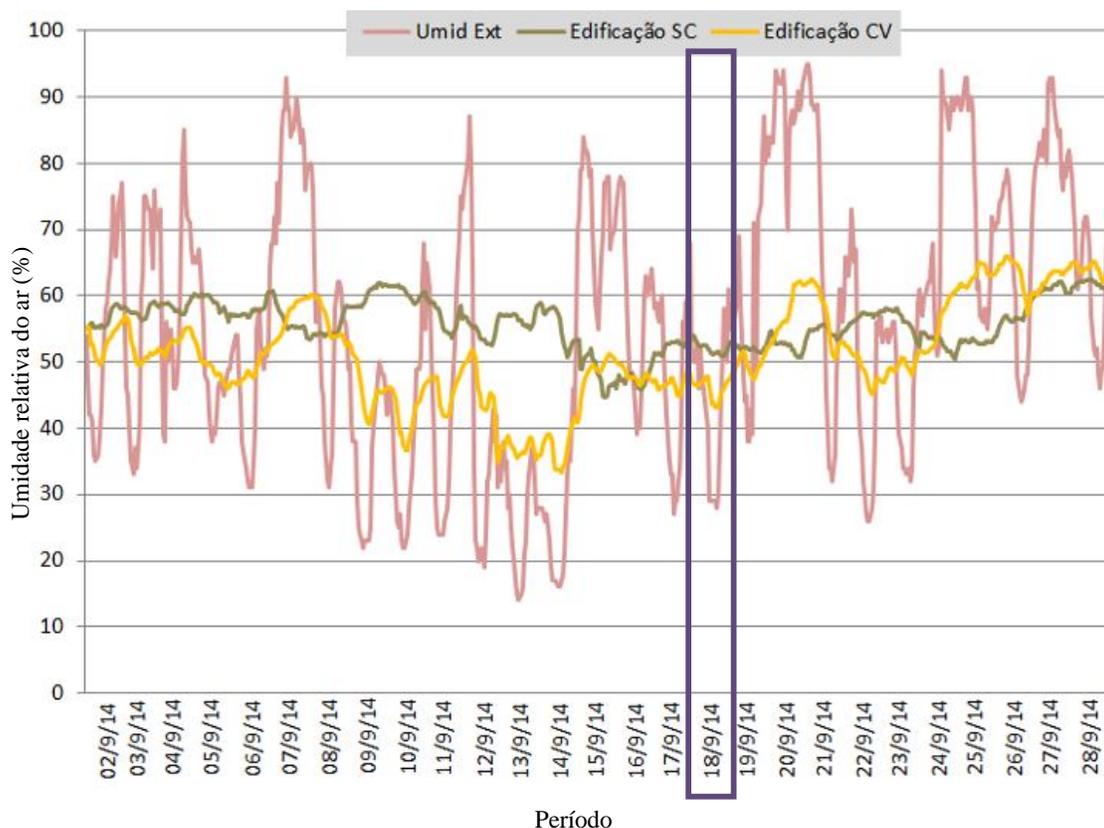


Figura 29: Representação da umidade relativa do ar no período monitorado de inverno/primavera.

A umidade relativa do ar no ambiente externo também apresentou elevadas amplitudes chegando a mínima de 14% no dia 13 de setembro e máxima no dia 20 de setembro atingindo 95%. A edificação em CV atingiu a umidade mínima de aproximadamente 33,2% no dia 14, e a edificação em SC no dia 15 de setembro, registrando valores próximos a 44,6%. A umidade relativa do ar na edificação em CV atingiu máxima de 65,8% no dia 26, no entanto a edificação em SC no dia 28 de setembro alcançando 62,5%. Com isso, acredita-se que o envelope da edificação em SC conseguiu conservar a umidade no seu interior por mais tempo, pois atingiram os valores de mínima e máxima umidade posteriormente a edificação em CV; e ainda assim apresentou um valor de umidade mínima superior ao valor atingido pela edificação comparada. No entanto, as edificações apresentaram valores muito próximos de umidades máximas reforçando assim a semelhança nos comportamentos das edificações.

Na figura 30 encontra-se o comportamento térmico do dia típico do período monitorado, são demonstradas as temperaturas no exterior, na edificação em SC, na superfície da parede em SC, e no ambiente interno da edificação em CV. O gráfico relaciona a temperatura do ar em função do tempo.

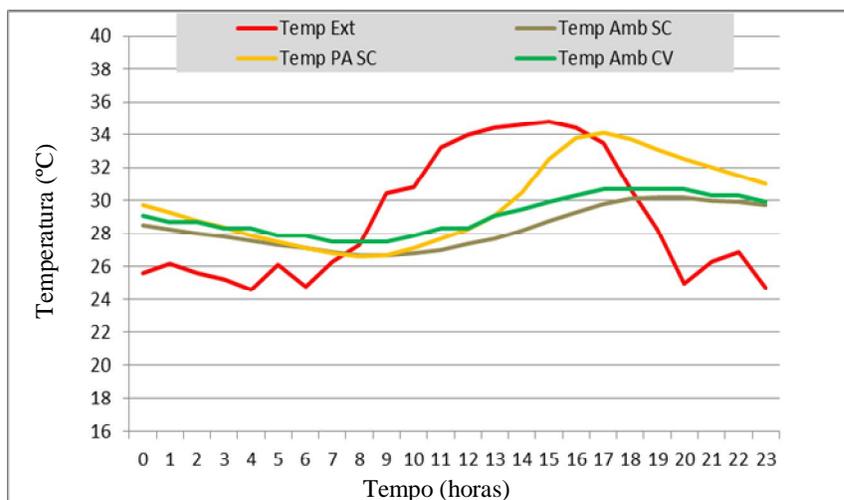


Figura 30: Representação das temperaturas no dia típico do período monitorado inverno/primavera.

Conforme os dados disponíveis verificou-se que a temperatura externa esteve entre 24,6°C e 34,8°C aproximadamente, e atingiu a máxima às 15 horas.

No ambiente interno da edificação em SC as temperaturas aproximadas registraram mínima de 26,7°C e a máxima de 30,2°C às 20 horas. A partir do termopar fixo na superfície da parede foi possível verificar que a temperatura mínima na superfície atingiu aproximadamente 26,6°C e máxima de 34,1°C, às 18 horas. Portanto, o atraso térmico no ambiente interno foi de 5 horas e na superfície da parede em torno de 3 horas.

Na edificação em CV a temperatura no ambiente interno registrou mínima de 27,5°C e a máxima de 30,7°C às 19 horas, portanto, o atraso térmico no ambiente interno foi de aproximadamente 4 horas. Neste período de inverno/primavera não há informações sobre o atraso térmico na superfície da parede porque não foi possível aferir os dados na edificação em CV devido a ausência de sensores disponíveis para as aferições nas referidas datas.

O desempenho térmico das edificações em SC e CV no período de inverno/primavera apresentaram comportamento semelhante, ambas demonstraram amplitude térmica de 2°C aproximadamente e diferença entre si de 1°C na temperatura máxima. Sendo assim, apesar do período em análise ser caracterizado pelo inverno/primavera devido as temperaturas apresentadas confirma-se a característica do inverno possuir clima quente.

Na figura 31 demonstra-se a umidade relativa do ar no ambiente externo e o comportamento das edificações em SC e CV no dia típico do período monitorado, de maneira que os dados relacionam a umidade relativa do ar em função do tempo.

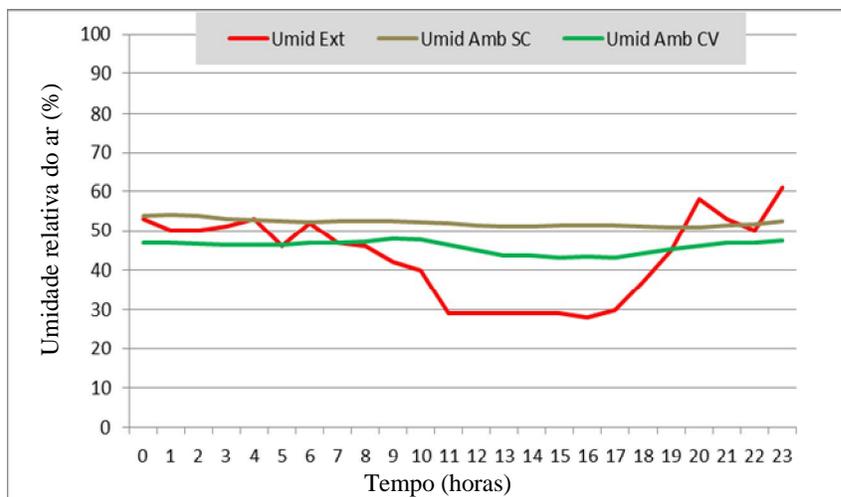


Figura 31: Umidade relativa do ar no dia típico do período monitorado inverno/primavera.

Através dos dados apresentados é possível perceber que a Umidade relativa do ambiente externo teve considerável amplitude, visto que alcançou picos de umidade máxima de 61% e mínima de 28%, chegando a uma variação em torno de 33%; no interior das edificações o comportamento foi diferente, pois ambas apresentaram apenas 4% de diferença; na edificação em SC apresentou valores de 50% à 54%; na edificação em CV aproximadamente 43% à 47%. Com isso, torna-se possível visualizar que a umidade no ambiente interno das edificações apresenta comportamento praticamente constante e a diferença de umidade no envelope da edificação em SC é pouco expressiva para caracterizar um material de superior desempenho.

4.3 Comparativos sobre o comportamento térmico do SC e da CV

Os materiais em estudo apresentaram comportamento térmico semelhante, apesar de determinadas características particulares sugerirem resultados favoráveis ao SC. Com isso acredita-se que a similaridade nos comportamentos foram evidenciados pela restrita espessura do material, pois os mesmos não possuem massa térmica suficiente para reter quantidade considerável de calor no envelope da edificação contribuindo assim para a transferência de calor para o ambiente interno.

Na tabela 10, 11 e 12 são demonstrados resumidamente, conforme os períodos analisados, os resultados do comportamento térmico das edificações em SC e CV, sendo possível visualizar os valores aproximados de temperaturas do ar e umidade relativa do ar mínimas e máximas, e o atraso térmico no ambiente interno e nas superfícies da parede de cada edificação.

Tabela 10: Síntese do comportamento térmico da edificação em SC no período de verão.

	SC		
	Exterior	Ambiente	Parede
Temperatura mín. (°C)	20,4	27,0	26,1
Temperatura máx. (°C)	31,7	30,7	32,4
Atraso térmico (ω)	-	6 horas	4 hs 30 min
Amortecimento térmico (°C)	-	1,0	-0,70
Amplitude térmica (°C)	-	3,7	6,3
Umidade mín. (%)	52,0	66,0	-
Umidade max. (%)	88,0	70,0	-

Tabela 11: Síntese do comportamento térmico da edificação em CV no período de verão.

	CV		
	Exterior	Ambiente	Parede
Temperatura mín. (°C)	23,8	27,2	26,8
Temperatura máx. (°C)	31,0	29,8	30,8
Atraso térmico (ω)	-	6 horas	5 horas
Amortecimento térmico (°C)	-	1,2	0,2
Amplitude térmica (°C)	7,2	2,6	4,0
Umidade mín. (%)	52,0	66,0	-
Umidade max. (%)	83,0	74,0	-

Tabela 12: Síntese do comportamento térmico das edificações no período inverno/primavera.

	Variáveis ambientais	SC		CV
	Exterior	Ambiente	Parede	Ambiente
Temperatura míni. (°C)	24,6	26,7	26,6	27,5
Temperatura máx. (°C)	34,8	30,2	34,1	30,7
Atraso térmico (ω)	-	5 hs	3 hs	4 hs
Amortecimento térmico (°C)	-	4,6	0,7	4,0
Amplitude térmica (°C)	10,2	3,5	7,5	3,2
Umidade mín. (%)	28,0	50,0	-	43,0
Umidade max. (%)	33,0	54,0	-	47,0

Conforme os resultados sintetizados acima percebe-se a proximidade nos valores de temperatura e umidade, mínimas e máximas do ar, no ambiente interno das edificações independentemente do período aferido. As similaridades dos resultados geraram atraso térmico de aproximadamente 6 horas para o ambiente interno e 5 horas na superfície da

parede no período monitorado de verão, para ambas as edificações; e no período monitorado inverno/verão, onde as edificações foram monitoradas simultaneamente, o atraso térmico característico da edificação em SC foi de aproximadamente 5 horas para o ambiente interno e aproximadamente 4 horas de atraso térmico para a edificação em CV. No verão houve mais horas de atraso térmico em ambas as edificações. Com isso, acredita-se que o desempenho térmico apresentado tenha ocorrido devido ao clima quente e úmido característico da estação, onde a umidade relativa do ar apresentou-se superior e parte deste calor foi dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros dos materiais cerâmicos, conseqüentemente, contribuindo para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação. Contudo, os dados reforçam a semelhança de comportamento dos materiais em análise e percebe-se a influência direta da umidade relativa do ar no desempenho dos materiais cerâmicos.

No entanto, segundo o teste estatístico com 5% de probabilidade pelo teste de Kruskal, o desempenho térmico das edificações demonstrou diferença entre os tratamentos, mas considerando que foram apresentados valores menores de 1°C de diferença, estes valores não representam diferença significativa perante as sensações de conforto humano.

Devido aos dados apresentados faz-se necessário recordar a característica da absorvância dos materiais, pois o desempenho semelhante entre as edificações acredita-se que possa ser justificado também por este parâmetro. O material SC encontra-se caracterizado com absorvância aproximada de $\alpha = 0,65$, devido à tonalidade marrom-avermelhada dos blocos aparentes da edificação; e o envelope da edificação em CV aproximadamente $\alpha = 0,30$, conseqüência da tonalidade clara das paredes rebocadas e pintadas em ambas às faces. Com isso, associando estes valores à espessura das paredes, sendo a edificação em SC com 16 cm e a CV com 14 cm, entende-se que o material com maior absorvância e espessura está se comportando de maneira semelhante à edificação de menor absorvância e espessura. Portanto, nesta situação a influência da absorvância no envelope das edificações atuou de maneira significativa, pois ficou evidente a facilidade na transferência de calor pela superfície do envelope da edificação de absorvância superior.

Independente do período monitorado verão ou inverno/primavera, apesar da edificação em SC apresentar espessura maior das paredes, propriedades e características favoráveis ao desempenho térmico, cobertura com adição de materiais isolantes e elevado fator solar; a residência em CV, que por sua vez possui espessura menor das paredes, sistema de cobertura tradicional e baixo fator solar; apresentou temperaturas no ambiente interno inferiores aos verificados na edificação em SC. Entretanto, mesmo que a edificação em SC estivesse,

aparentemente, em condições favoráveis à CV, as diferentes configurações no sistema de vedação utilizadas reforçam a influência do parâmetro do fator solar, pois este se demonstra mais elevado na edificação em SC e pode ter se tornado preponderante para a elevação na temperatura do ambiente interno. Visto isso, percebe-se que o material SC, independente do período, neste formato e configuração, não apresenta satisfatório desempenho térmico para a zona bioclimática 6 e não demonstra comportamento superior ao material CV.

Para a zona bioclimática 6, a NBR 15220 (ABNT 2005) também orienta o uso da ventilação seletiva para contribuir com o desempenho térmico nas edificações, conforme já mencionado, durante os períodos de monitoramento, as edificações não fizeram uso deste recurso, pois permaneceram fechadas e desocupadas por todo tempo. Visto isso, pode-se pressupor que com uso da ventilação o comportamento das edificações poderia ser diferente, talvez apresentar um desempenho melhor, pois o comportamento encontrado, nas condições mencionadas, apresentou significativo desconforto para o calor no interior dos ambientes, para ambas as edificações.

A umidade relativa no ambiente interno das edificações também apresentou similaridade nas amplitudes, independente do período, fato não esperado, pois devido às referências mencionadas anteriormente conduzindo à superior porosidade e absorção de água dos materiais em SC imaginava-se superior desempenho da edificação com este material. Acredita-se que o envelope da edificação em SC também possua interferência da restrita espessura das paredes, pois devido à quantidade de massa do material no bloco, possa ocorrer um número reduzido de poros no seu interior, não tendo influência suficiente para realizar número considerável de trocas térmicas com o ambiente, apresentando um comportamento praticamente constante. Com isso, as edificações apresentaram uma amplitude de umidade similar, aproximadamente 2%, enfatizando a semelhança de comportamento das edificações e demonstrando que a característica da porosidade, absorção de água e permeabilidade do material não tiveram efetiva relevância no desempenho das mesmas.

Portanto, as edificações utilizando SC e CV no sistema construtivo, não estão adequadas aos parâmetros estabelecidos para a ZB6 e tampouco estão preparadas para receber as elevadas temperaturas de referência características do clima local.

4.4 Comparativos entre os métodos de análise

Os resultados obtidos no parâmetro do atraso térmico, pelo método prescritivo e no método de medições *in loco*, podem ser analisados e comparados para avaliar o desempenho térmico nas edificações da zona bioclimática 6.

A edificação em SC apresentou, nas medições *in loco*, um atraso térmico na superfície da parede de aproximadamente 4 horas. A partir da tabela 07, com o demonstrativo dos resultados, calculados para o atraso térmico da edificação, segundo as referências de determinados autores pesquisados, apenas Marques, Castro e Isaac (2009) e Walker e Maniatidis (2003), chegaram ao valor aproximado do comportamento térmico apresentado pela edificação e os demais disponibilizam valores que minoraram o comportamento térmico da edificação demonstrando um atraso térmico inferior ao praticado.

No entanto, torna-se necessário ressaltar que Walker e Maniatidis (2003) disponibilizaram informações de um solo característico de outro país, e ainda, em faixas de valores para a densidade e condutividade térmica do material, com isso foram utilizadas as médias destes valores para realização do método prescritivo. Com isso, percebe-se um resultado aproximado de desempenho, mas talvez não característico a situação do bloco de SC obtido no país de realização da pesquisa. Contudo, para a indicação como referência, de valores de propriedades do material SC, para o método prescritivo acredita-se ser conveniente sugerir o uso das referências de Marques, Castro e Isaac (2009), pois os mesmos utilizaram em seus experimentos solos arenosos, também característicos ao solo encontrado na região de Campo Grande, e demonstraram valores específicos para cada propriedade. Visto isso, acredita-se que utilizando estas referências, para o método prescritivo, seja possível realizar simulações de desempenho térmico aproximado ao comportamento térmico que a edificação possa apresentar na ZB6 posteriormente a sua construção.

Nas medições *in loco*, a edificação em CV também apresentou um atraso térmico, na superfície da parede, de aproximadamente 5 horas. Na tabela 08, demonstra os resultados obtidos pelo método prescritivo e, através do parâmetro do atraso térmico da edificação, o valor máximo apresentado foi de 3,7 horas aproximadamente, com isso foi possível verificar que todos os valores foram inferiores às 5 horas de atraso térmico obtido nas medições *in loco*. Sendo assim, utilizando as referências disponíveis o desempenho térmico da edificação é minorado, pois os resultados não se aproximam do comportamento térmico apresentado pela edificação em CV.

Entretanto, vale salientar que a Norma 15220 (ABNT 2005) disponibiliza, de maneira positiva, equações com um coeficiente parcial de segurança para os cálculos, que por sua vez, também explicam os resultados de desempenho inferiores ao comportamento térmico apresentado pela edificação. De qualquer maneira, percebe-se que as edificações em análise, da forma que estão configuradas e com os materiais utilizados no envelope da edificação, resultam, na maioria do período, em sensações de desconforto para o calor no ambiente interno, com isso compreende-se o porquê dos resultados prescritivos minorarem o comportamento da mesma. Além disso, o comportamento de ambas as edificações demonstram que a tipologia utilizada não se encontra adequada ao clima da ZB6 devido as elevadas temperaturas apresentadas no interior das edificações.

Contudo, na metodologia sugerida pela norma também torna possível verificar, através do método prescritivo, o desempenho dos materiais SC e CV na formatação de paredes em tijolos maciços e paredes monolíticas, desta maneira pode-se contribuir com a análise relacionada à massa térmica dos referidos materiais. Para as simulações com o material SC foi considerado uma parede de 16 cm de espessura, conforme a configuração utilizada no estudo de caso, sendo 1 cm de reboco interno e, no entanto, utilizando tijolos maciços com dimensões de 15 cm de espessura, 7 cm de altura e 30 cm de comprimento, modelo também disponíveis no mercado; e em formato de uma parede monolítica de SC com espessura de 15 cm. Para os cálculos foram utilizadas as referências Marques, Castro e Isaac (2009) para as propriedades do SC, sendo densidade de 1890 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,38 \text{ W/(m.K)}$ e calor específico de $1,30 \text{ kJ/(kg.K)}$. Para o material CV foi simulado uma parede de 14 cm de espessura, conforme a configuração utilizada no estudo de caso, sendo 2,5 cm de reboco interno e externo, e fazendo o uso de tijolos maciços com dimensões de 9 cm de espessura, 19 cm de altura e 19 cm de comprimento; e a parede monolítica de CV também com espessura de 15 cm. Para os cálculos foram utilizadas as referências da NBR 15220 (ABNT 2005) para as propriedades da CV, sendo densidade de 1600 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,90 \text{ W/(m.K)}$ e calor específico de $0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$.

Na tabela 13 é demonstrado o desempenho térmico obtido pelos blocos em SC e CV utilizados nos estudos de caso, e encontra-se o desempenho térmico das simulações realizadas em paredes de tijolos maciços e paredes monolíticas em SC e CV conforme as descrições anteriormente mencionadas. Na referida tabela são demonstrados o formato do material, as dimensões, o parâmetro da transmitância térmica, atraso térmico e fator solar indicado pela NBR 15220 (ABNT 2005) e o parâmetro da capacidade térmica da parede, indicado pela NBR 15575 (ABNT 2013), para contribuir com as conclusões geradas pelas simulações.

Tabela 13: Desempenho térmico pelo método prescritivo dos materiais SC e CV.

Formato	Dimensão* (cm)	Transmitância térmica (U)	Atraso térmico (ϕ)	Fator Solar (FS _o)	Capacidade térmica** (C _T)	
SC	Bloco BTC	15x7x30	1,81	4,0 hs	4,7 %	130
	Tijolo maciço	15x7x30	3,48	4,3 hs	9,0 %	381
	Parede monolítica	15	1,77	8,7 hs	4,6 %	368
CV	Bloco 8 furos	9x19x19	2,36	3,5 hs	2,8 %	167
	Tijolo maciço	9x19x19	3,41	4,0 hs	4,1 %	236
	Parede monolítica	15	2,97	4,4 hs	3,5 %	220

*As dimensões do material são demonstradas pela espessura x altura x comprimento segundo o formato do material.

**Parâmetro estabelecido pela NBR 15575 (ABNT 2013) que sugere $C_T \geq 130$ para a ZB6.

Conforme os resultados demonstrados torna-se possível perceber que apenas a simulação em parede monolítica de SC está adequada ao parâmetro de atraso térmico para a ZB6, onde atinge um valor de 8,4 horas, e é superior às demais. A transmitância térmica desta parede também apresenta um valor adequado a zona, no entanto o fator solar encontra-se superior ao sugerido pela norma. O tijolo maciço de SC apresenta todos os parâmetros inadequados a NBR 15220, mas apresenta um valor elevado de capacidade térmica, isto se deve a massa constituinte do tijolo maciço. E o bloco em SC, conforme já mencionado nas análises anteriores, apresenta uma transmitância térmica adequada, mas atraso térmico inferior e fator solar superior ao sugerido pela norma. O fator solar, em todos os formatos em SC, apresentaram-se superiores ao indicado pela NBR 15220 (ABNT 2005) e acredita-se que isto ocorra devido a cor do solo que caracteriza um material de alta absorvância, consequentemente gerando um elevado valor de fator solar. Com isso, se fossem selecionados solos, de tonalidades mais claras, para o uso na ZB6 talvez fosse possível diminuir esses valores de fator solar e contribuir no desempenho térmico da envoltória parede.

O bloco em SC apresentou transmitância e capacidade térmica inferiores ao tijolo de SC, no entanto, o parâmetro de atraso térmico dos diferentes formatos mencionados demonstrou-se semelhante. Com isso, acredita-se que a camada de ar no interior do bloco configura elevada resistência à passagem do calor e então se torna um fator preponderante no processo de transferência do calor pelo bloco. E apesar do tijolo apresentar elevada transmitância térmica, o mesmo também apresenta resistência à passagem do calor através da quantidade de massa do material constituinte do tijolo, que configura elevada capacidade térmica do material, com isso torna-se necessário maior quantidade de energia para elevar a temperatura do material e ocorrer a transferência do calor para o ambiente interno. Portanto, a partir dos diferentes processos de transferência de calor pela envoltória fazem com que os

blocos e tijolos em SC se equiparem no desempenho térmico, por isso os valores de atraso térmico apresentam-se muito próximos.

Devido à proximidade nos resultados de atraso térmico do bloco e do tijolo em SC e a diferença expressiva dos valores comparados aos da parede monolítica acredita-se que o formato e a configuração do material tenham influência significativa no desempenho térmico dos materiais. Conforme já mencionado, o SC é um material poroso e permite a alta absorção de água comparada ao material CV, e segundo a NBR 15220 (ABNT 2005) estas características contribuem para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipada no aquecimento e evaporação da água contida nos poros do material cerâmico. Com isso, percebe-se que o bloco e o tijolo possuem um volume de material muito inferior ao painel de parede monolítica, e considerando que o calor se transfere em todos os sentidos, de maneira horizontal e vertical, então o calor no interior dos blocos e tijolos encontra os limites da peça com mais facilidade para seguir a transferência. No entanto, a parede monolítica apresenta-se em formato de painel configurando um volume superior e interrupto de material, conseqüentemente o processo de transferência de calor pela parede apresenta maior dificuldade para passar de um meio a outro, devido à área superior de material em que o calor possa ser dissipado.

As simulações com os materiais em CV não apresentaram distinções representativas. No parâmetro da transmitância térmica, nos três casos simulados os valores ficaram superiores ao solicitado pela NBR 15220 (ABNT 2005), e no parâmetro do atraso térmico, todos demonstraram valores inferiores ao sugerido pela norma; no entanto, a parede de blocos e a monolítica apresentaram fator solar adequado para a zona, mas a parede de tijolos maciços apresentou um valor superior ao solicitado. Visto isso, percebe-se que o material CV, nas diferentes configurações e formatos, apresenta um comportamento térmico semelhante para os casos tratados.

Contudo, é necessário salientar que o material utilizado nas diferentes configurações mencionadas não encontram-se devidamente adequado ao uso na ZB6, pois não atinge os três parâmetros estabelecidos pela NBR 15220 (ABNT 2005). No entanto, acredita-se que se a parede monolítica em SC fosse constituída de um tipo de solo, com a cor de tonalidade mais clara, configurando um valor de absorvância máximo de $\alpha = 0,50$, a partir das simulações com este dado de absorvância, o fator solar poderia estar adequado e contemplar os todos os quesitos solicitados. Com isso, a edificação utilizando o material SC nesta formatação apresentaria comportamento térmico satisfatório na ZB6 e poderia ser especificada para execução em projetos na referida zona.

Portanto, o bloco de SC na ZB6, configurado com as dimensões mencionadas e absorvância de 0,65, não apresenta comportamento térmico superior ao bloco de CV, pois conforme já visto nas análises, os comportamentos apresentaram-se semelhantes entre os materiais. Entretanto, acredita-se que o material SC, utilizado nas mesmas configurações e dimensões, poderia apresentar um desempenho térmico superior se o solo utilizado tivesse um valor de absorvância inferior. O material SC, conforme visto nas simulações, utilizado em formato de parede monolítica poderia ser preponderante no processo de transferência de calor no envelope da edificação e minimizar a influência da alta absorvância no comportamento térmico do material. Talvez a aplicação de tais propriedades poderia levar ao encontro das afirmativas acerca do superior desempenho térmico do material SC.

5 CONCLUSÃO

As edificações com os envelopes verticais construídos com tijolos de solo cimento e blocos de cerâmica vermelha apresentaram desempenho térmico semelhante na zona bioclimática brasileira ZB6, independente do período analisado. Isto evidenciou que a edificação em solo cimento não possui parede com massa térmica suficiente para reter quantidade significativa de calor no envelope e atuar com superior valor de atraso térmico frente as variações climáticas que estiveram expostas.

A absorvância dos materiais constituintes do envelope das edificações também foi uma propriedade preponderante no desempenho térmico das edificações, pois a relação entre o valor menor de absorvância da edificação em cerâmica vermelha, gerando um baixo fator solar, compensou a menor espessura das suas paredes comparadas a maior espessura do envelope da edificação em solo cimento, esta por sua vez, apresentando elevado fator solar devido ao alto valor de absorvância do material solo constituinte das paredes. Portanto, o fator solar teve influência significativa no fluxo de calor do envelope vertical das edificações analisadas.

Em relação ao desempenho higrotérmico, os valores de umidade relativa do ar no interior das edificações analisadas também expressaram comportamento semelhante entre as edificações e as características de porosidade, permeabilidade e capacidade de absorção de água superiores do material solo-cimento perante ao material cerâmica vermelha não

apresentaram correlação relevante com o desempenho higroscópico da edificação em solo cimento estudada.

A aplicação do método prescritivo e de medições in loco demonstraram compatibilidade para apresentar o desempenho térmico das edificações, sendo possível indicar o uso das referências para o material solo cimento com os seguintes valores de propriedades: densidade (ρ) 1890 kg/m³, condutividade térmica (λ) 0,38 W/(m.K) e calor específico (c) 1,30 kJ/(kg.K). No entanto, os resultados obtidos de atraso térmico, da edificação em cerâmica vermelha, no método prescritivo minoraram o desempenho térmico que a edificação apresentou nas medições in loco, portanto não apresentaram proximidade nos resultados, com isso não foi possível identificar uma referência do material cerâmica vermelha a ser utilizada no método prescritivo para gerar um desempenho térmico aproximado.

O material solo-cimento apresenta propriedades físico-termicas favoráveis ao bom desempenho térmico no zoneamento bioclimático brasileiro, no entanto para que estas sejam potencialmente destacadas deve-se compatibilizar o formato e volume de material a ser utilizado no envelope para atuação efetiva sob as características de atraso térmico e higroscopicidade. Desta maneira, percebe-se que a configuração do produto final deve ser mais um parâmetro a ser relevante na forma arquitetônica das edificações, pois se a forma do material constituinte do envelope da edificação apresenta influencia preponderante no desempenho térmico da edificação, este parâmetro é de suma importância e soma-se a inúmeros quesitos a ser considerados no projeto arquitetônico para atender a premissa básica da arquitetura: abrigar de maneira confortável e digna os usuários.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para contribuir com a continuidade deste trabalho seria interessante:

- Verificar, a partir de medições *in loco*, se uma edificação com paredes monolíticas de 15 cm de espessura realmente apresenta melhoras significativas no comportamento térmico da edificação, conforme sugere as simulações pelo método prescritivo;
- Analisar a influência de diferentes espessuras do material SC para o comportamento de edificações;
- Caracterizar o material SC, de maneira que determine as propriedades e características do material frente às regiões de obtenção do mesmo para contribuir com os dados apresentados neste trabalho.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *NBR 15220*. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 21p.

_____. Rio de Janeiro. *NBR 15220*. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003. 23p.

_____. Rio de Janeiro. *NBR 15575*. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. C172d. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

ADAM, E.A.; JONES, P.J. **Thermophysical properties of stabilized soil building blocks**. Building and Environment, vol. 30, pag. 245-253, Nov. 1995.

ARRUDA, R. L. S.; MARIBONDO, R. N. O processo produtivo e a qualidade do produto cerâmico estrutural. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Anais... João Pessoa: CONNEPI 2007.

ASSIS, J. B. S. **Determinação experimental da resistência à tração na flexão em paredes construídas com blocos encaixáveis de solo-cimento**. 2008, 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BASTOS, Frederico Assis. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto**. Florianópolis, 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CALLISTER Jr., WILLIAM D. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução. 8ª Ed. LTC, São Paulo, 2013.

CARAM, R. M.; CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. Ambiente Construído (São Paulo), v. 3, n. 2, p. 69-69, 2013.

CHENG, V. **Predicting thermal performance of building design in Hong Kong: scale-model measurement and field study**. 2004. 171p. Thesis (Master of Philosophy in Architecture) – The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong. 2004.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP.** 2004. 150 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 152 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social.** 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – UTFPR, Curitiba, 2002.

FERREIRA, Regis de Castro. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos.** 2003, 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GRANJA, A. D. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos.** 2002. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GÓIS, L. C. **Estudo da incorporação da cal em composições binárias de solo-cimento para produção de tijolos maciços.** 2012, 119 f. Dissertação (Mestrado de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

GONÇALVES, T.; GOMES, M. I. **Construção de terra crua: potencialidade e questões em aberto.** Jornadas LNEC. Lisboa, 2012.

GONZÁLEZ, E. M. C. **Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática.** Estudios de Arquitectura Bioclimática. México: Anuário 2002.

GOULART, S. **O emprego da inércia térmica como técnica de resfriamento para edificações em Florianópolis - SC.** In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais... Ouro Preto: ENCAC 2007.

HOUBEN, H.; GUILLAUD H., 1994, **Earth Construction**, A comprehensive Guide. Intermediate Technology Publications, London, UK.

HALL M.; DJERBIB Y. **Moisture ingress in rammed earth: Part 2 – The effect of soil particle-size distribution on the absorption of static pressure-driven water.** Construction and Building Materials, v. 20, p. 374–383, Mar 2006. Out 2006

KAPPAUN, K. **Avaliação do Desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira.** 2012, 125 p. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LAAROUSSI et. al. **Measurement of thermal properties of brick materials based on clay mixtures**. Construction and Building Materials, vol. 70, pag. 351 – 361, Ago. 2014.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando. Eficiência Energética na Arquitetura. PW Gráficos e Editores Associados Ltda. São Paulo. 1997.

LAMBERTS, R. et al. (Ed.). **Casa eficiente**: Bioclimatologia e desempenho térmico. v. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2010.

MARQUES, W; CASTRO, R; ISAAC, M. Desempenho térmico de alvenaria de solo-cimento e sua Adequação ao zoneamento bioclimático brasileiro. In: X ENCAC - Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído. Anais... Natal: ENCAC, 2009.

MARTÍN, S.; MAZARRÓN, F. R.; CAÑAS, I. **Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia**. Construction and Building Materials. Vol. 24, pag. 666 – 676, Dez. 2009.

MEUKAM et. al. **Thermo physical characteristics of economical building materials**. Construction and Building Materials, vol. 18, pag 437–443, Mar. 2004.

MILANI, Ana Paula da Silva; BERTOCINI, Sandra Regina; SILVA, Alex Meneses. Estudo de argamassas para assentamento de Blocos de Terra Comprimida. In: III Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. Anais... Campo Grande: TERRA BRASIL, 2010.

NEVES, C. M. M. Inovações Tecnológicas Em Construção Com Terra Na Íbero-América. Engenheira civil, pesquisadora do CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, 2010.

OLIVEIRA, S. M. **Avaliação de blocos e tijolos cerâmicos do estado de Santa Catarina**. 1993, 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

ROCHA, H. B. **Bloco cerâmico estrutural**: uma análise conceitual do elemento-base. 2010, 251 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RORIZ, V.F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Fatores determinantes da absorvância solar de superfícies opacas. In: XIII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais... Canela: ENTAC, 2010.

STANDARDS AUSTRALIA, 2002, **The Australian earth building handbook**. Standards Australia, Sydney, Australia.

SILVA, C. R.. **Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre a alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa**: Estudo de caso. 2011, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

SILVA, W. M. **Efeitos da incorporação de resíduos agroindustriais nas características mecânicas e termofísicas de tijolos modulares de solo-cimento**. 2007, 129 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. 2000, 155 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

TORGAL, F. P.; JALALI S. **Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction**. Construction and Building Materials, vol. 29, pag. 512 –519, Dez. 2012.

VITALI, O. P. M. **Efeito da composição de misturas de solo-cimento nos parâmetros de rigidez e de resistência**. 2008, 152 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade do Porto, Porto, 2008.

WALKER, P.; MANIATIDIS, V., 2003, **A Review of Rammed Earth Construction** For DTi Partners in Innovation Project - Developing Rammed Earth for UK Housing. Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, London, UK.

ZHOU et. al. **Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings**. Energy and Buildings. Vol. 40, pag. 979–986, Ago. 2007.

NEVES, C.; FARIA, O. B. Técnicas de construção com terra. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79 p. il.