UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI

CRISTIANE SONEGO ROLIM

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CUSTOS RELACIONADA AO DESEMPENHO TÉRMICO DE DIFERENTES ALVENARIAS EM FACE DA NORMA BRASILEIRA 15.575

CRISTIANE SONEGO ROLIM

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CUSTOS RELACIONADA AO DESEMPENHO TÉRMICO DE DIFERENTES ALVENARIAS EM FACE DA NORMA BRASILEIRA 15.575

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Me. Cristina Eliza Pozzobon

Ijuí

2015

CRISTIANE SONEGO ROLIM

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE CUSTOS RELACIONADA AO DESEMPENHO TÉRMICO DE DIFERENTES ALVENARIAS EM FACE DA NORMA BRASILEIRA 15.575

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 24 de novembro de 2015

Prof^a. Cristina Eliza Pozzobon

Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina - Orientadora

Profa. Lia Geovana Sala

Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina e Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho ao meu marido Ender, à minha filha Poliana e ao meu filho Rafael pelo apoio, compreensão, paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para seguir em frente e chegar até aqui.

A meus pais, Antenor e Elvira, e meu irmão João Batista, minha cunhada Ana Paula e meu sobrinho e afilhado Álvaro Theodoro, por todas as oportunidades, apoio, amor e carinho de sempre.

A meu marido Ender, e meus filhos Poliana e Rafael, por sempre incentivar, apoiar e torcer por mim, mesmo nos momentos em que deixava de estar com a família, para me dedicar aos estudos. Agradeço muito por várias vezes entenderam minha ausência para me dedicar aos trabalhos e projetos. Sempre dando força e ajudando quando possível.

Aos grandes amigos com que fui presenteada no curso: Daniele Martinelli (in memorian), Liliane, Gabriela, Janaina, Cristiano, Paulo e Gilnei, companheiros de trabalhos intermináveis, mas também de boas risadas, brincadeiras e amizade. Sem vocês, com certeza teria sido mais difícil enfrentar esses cinco anos de curso. E a todos os amigos de sala, pelos quais tenho muito carinho.

A todos os professores da UNIJUI, que de alguma forma me ajudaram para concluir esta caminhada.

A todos os engenheiros com quem tive a oportunidade de estagiar durante o curso, me tornando uma profissional e pessoa muito melhor.

Por fim, agradeço a minha orientadora professor Cristina Eliza Pozzobon pelos ensinamentos, pelo seu exemplo profissional, pela inspiração, pela sua atenção, compreensão e simpatia com a qual sempre me recebeu.

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. Chico Xavier

RESUMO

ROLIM, C. S. Análise da Variação de Custos Relacionada ao Desempenho Térmico de Diferentes Alvenarias em Face da Norma Brasileira 15.575. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

O tema proposto no Trabalho de Conclusão de Curso "custos na construção civil" está inserido em um dos mais importantes assuntos da construção civil, o controle de custos e sua variação, para adequação às normas. Esta pesquisa verificou os sistemas construtivos mais utilizados atualmente para edificações no município de Ijuí-RS, e em cada um dos diferentes tipos de alvenarias foi feita a verificação, através de cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas dessas edificações, e comparando com os valores da NBR 15575, para a zona bioclimática 2, aceitando ou rejeitando os sistemas construtivos. Foram identificados os sistemas construtivos rejeitados e estudou-se alternativas de interferência construtiva para atender à norma de desempenho térmico nessas edificações. Através das mudanças para adequação da norma, foi obtida a variação de custos diretos ocorridos em função desta, através dos custos unitários de serviços de construção civil, utilizando planilhas orçamentárias desenvolvidas em software SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), metodologia orçamentária analítica, e demonstrando o que esse orçamento representa no valor total de uma obra, comparando o orçamento inicial e o orçamento final, caso seja necessário algum tipo de interferência. Foram analisados quatro sistemas construtivos, alvenaria de vedação com bloco cerâmico 6 furos (14x19x29), alvenaria de vedação com tijolo maciço cerâmico (5x10x20), alvenaria estrutural com bloco cerâmico (14x19x29) e alvenaria estrutural com bloco de concreto (14x19x39). Ao final das análises, percebe-se que os tijolos ou blocos confeccionados com material cerâmico apresentam melhor desempenho térmico em edificações em comparação com os de blocos de concreto e que dentre os cerâmicos, o tijolo furado apresenta resultados mais adequados do que o tijolo maciço, comparando com os valores citados na NBR 15575, para a zona bioclimática 2. Verificadas as melhores alternativas para atender o desempenho térmico dessas edificações, considerando apenas a alvenaria, substituindo o tijolo maciço pelo furado, e o bloco de concreto pelo bloco cerâmico, foi evidenciada uma redução em torno de 2% e 3% no custo final da obra.

Palavras-chave: SINAPI. Sistemas Construtivos. Edificações.

ABSTRACT

ROLIM, C. S. Análise da Variação de Custos Relacionada ao Desempenho Térmico de Diferentes Alvenarias em Face da Norma Brasileira 15.575. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

The subject studied in this Final Paper "Civil Constructions Cost" is inserted in one of the most important topics of civil engineering, The Costs Control And Its Variation, to fit in the standards. In this research is analyzed the most widely used building systems currently for constructions in the city of Ijuí-RS. Beyond that, each different type of masonry was verified, by calculating the thermal transmittance and thermal capacity of the external walls of these buildings, and compared with the values of ISO 15575, for the bioclimatic zone 2, by accepting or rejecting the building systems. The rejected building systems were identified and the constructive interference alternatives were studied to meet the thermal performance standards on these buildings. Through changes to fit the standard, the variation of costs occurred by making the modifications was obtained, through the unit costs of construction services it was obtained, using budget worksheets developed in SINAPI software (National System of Costs Survey and Indexes of Construction) Analytical Methodology of Budget and demonstrating what this budget represents in the total value of a work by comparing the initial budget and the final budget, if some sort of interference is needed. At the end of the analysis, it is possible to realize that the made bricks or blocks with ceramic materials have better thermal performance in buildings compared to concrete block and among the ceramic ones, the bored brick features more suitable than solid brick results, compared to the values quoted in the NBR 15575, for bioclimatic zone 2. Verified the best alternatives to meet the thermal performance of these buildings, considering only the masonry, replacing the solid brick by bored, and the concrete block by the ceramic block, a reduction of around 2 % and 3 % was observed in the final cost of the work.

Key words: SINAPI. Building Systems. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Norma Brasileira de Desempenho e suas partes	21
Figura 2 - Página Inicial da CEF	28
Figura 3 - Tabela do Relatório de Insumos Referente ao Mês de Agosto de 2015	29
Figura 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro	31
Figura 5 – Localização do Município de Ijuí no Rio Grande do Sul	32
Figura 6 – Bloco Cerâmico 6 furos	35
Figura 7 – Seções para Cálculo do Bloco Cerâmico 6 furos	36
Figura 8 – Tijolo Maciço Cerâmico	40
Figura 9 – Seções para Cálculo do Tijolo Cerâmico Maciço direção 10cm	41
Figura 10 – Seções para Cálculo do Tijolo Cerâmico Maciço direção 20cm	45
Figura 11 – Seções para Cálculo do Bloco Cerâmico 6 furos 9x14x19cm	50
Figura 12 – Bloco Cerâmico 14x19x29cm	56
Figura 13 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural Cerâmico 14x19x29cm	57
Figura 14 – Bloco de Concreto	63
Figura 15 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural de Concreto	64
Figura 16 – Bloco Cerâmico 14x19x39cm	68
Figura 17 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural Cerâmico 14x19x39cm	69
Figura 18 – Quantidade de Bloco e Argamassa por m²	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura da Norma Brasileira de Desempenho	21
Tabela 2 – Aberturas para Ventilação e Sombreamento para a Zona Bioclimática 2	30
Tabela 3 – Tipos de Vedações Externas para a Zona Bioclimática 2	30
Tabela 4 – Condicionamento Térmico Passivo para a Zona Bioclimática 2	31
Tabela 5 – Resultado Sistema Construtivo I	40
Tabela 6 – Resultado Sistema Construtivo II	44
Tabela 7 – Resultado Alternativa I/ Sistema Construtivo II	47
Tabela 8 – Orçamento Comparativo por m²	49
Tabela 9 – Resultado Alternativa II/ Sistema Construtivo II	54
Tabela 10 – Orçamento Comparativo por m²	55
Tabela 11 – Resultado Sistema Construtivo III	63
Tabela 12 – Resultado Sistema Construtivo IV	67
Tabela 13 – Resultado Solução Sistema Construtivo IV	75
Tabela 14 – Quantidade de Blocos por m² Considerando as Perdas	76
Tabela 15– Valor por m² de Bloco de Concreto X Bloco Cerâmico	77
Tabela 16 – Participação Percentual Média dos Serviços em um Orçamento- Edific	ações
de Padrão Normal, 8 a 12 pavimentos	78

LISTA DE SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

BNH Banco Nacional da Habitação

CBIC Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEF Caixa Econômica Federal

CENPHA Centro Nacional de Pesquisas Habitacionais

CNI Confederação Nacional da Indústria

FINEP Financiadora de Estudos e Projetos

FGTS Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

FUNASA Fundação Nacional da Saúde

IBAPE Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEG Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial

INCRA Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IPHAN Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

ISSO International Organization for Standardization

MCMV Programa Minha Casa, Minha Vida

NBR Norma Brasileira

SIDRA Sistema IBGE de Recuperação Automática

SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TCU Tribunal de Contas da União

UF Unidade da Federação

LISTA DE SÍMBOLOS

A Área de um componente ou seção

C Capacidade Térmica de um Componente ou seção

c Calor Específico ou Capacidade Térmica Específica

C_T Capacidade Térmica de Componentes

e Espessura de uma Camada

R Resistência Térmica de Elementos e Componentes

Rar Resistência Térmica Referente a uma câmara de ar

R_{se} Resistência Superficial Externa

R_{si} Resistência Superficial Interna

R_T Resistência Térmica Total, ambiente a ambiente

R_t Resistência Térmica, superfície a superfície

U Transmitância Térmica ou Coeficiente Global de Transferência de Calor

ρ Densidade de Massa Aparente do Material

λ Condutividade Térmica do Material

s Superfície

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Contexto	14
1.2	Problema	15
1.2.1	Objetivos de Pesquisa	15
1.2.2	Delimitação	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Norma de Desempenho – NBR 15.575	17
2.1.1	Definição	17
2.1.2	Criação e importância de sua permanência	18
2.1.3	Objetivos	19
2.1.4	Estrutura	20
2.1.5	Incumbência dos agentes	22
2.2	Conforto térmico	22
2.2.1	Definição	22
2.2.2	Trocas térmicas	23
2.2.3	Elementos que interferem no conforto térmico de uma edificação	24
2.3	Orçamento e orçamentação	24
2.3.1	Métodos de orçamentação	25
2.3.2	Elaboração do orçamento	29
2.4	Zoneamento Bioclimático Brasileiro	30
2.5	Características do Clima no Município de Ijuí	32
3	MÉTODO DE PESQUISA	33
3.1	Classificação da pesquisa	33

3.2	Planejamento da pesquisa	33
3.3	Estudo de caso	34
4	RESULTADOS	35
4.1	Sistema construtivo I: Alvenaria de vedação-Bloco Cerâmico 6 furos	35
4.2	Sistema construtivo II: Alvenaria de vedação-Tijolo Maciço Cerâmico	4 0
4.3	Sistema construtivo III: Alvenaria estrutural-Bloco Cerâmico	56
4.4	Sistema construtivo IV: Alvenaria estrutural-Bloco de Concreto	63
5	CONCLUSÃO	80
REFE	ERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

O tema proposto "custos na construção civil" está inserido em um dos mais importantes assuntos da construção civil, o controle de custos e sua variação, para adequação às normas. Nos últimos anos, o Brasil sofreu um aumento considerável no déficit habitacional, principalmente para as classes média e baixa, conforme informa a Cartilha de Demanda Habitacional no Brasil da Caixa Econômica Federal (2012).

Tendo como objetivo facilitar a aquisição da casa própria para muitas famílias brasileiras, foram implantados diversos programas habitacionais, onde pode-se destacar, dentre eles, o programa Minha Casa Minha Vida, do governo federal. Não obstante, a maioria dessas habitações vem sendo executadas pelos construtores com o mínimo de gastos, em detrimento das preocupações com a qualidade e o desempenho de edificações.

Destarte, foi idealizada a NBR 15575 Edifícios Habitacionais- Desempenho a partir de uma solicitação da Caixa Econômica Federal, sendo sua concepção inicial para edifícios residenciais de até cinco pavimentos, a fim de servir como guia de uma análise qualitativa das construções, sendo a primeira norma a definir parâmetros de projetos e especificações, estabelecendo a responsabilidade dos agentes envolvidos na construção civil: projetistas, construtores, fornecedores e usuários. Ela estabelece regras para a avaliação do desempenho dos imóveis habitacionais com o objetivo de alavancar tecnicamente a qualidade desses imóveis, de modo que, os projetos passem a priorizar questões relativas ao conforto, à segurança, à acessibilidade e à sustentabilidade.

Sociedades modernas passam atualmente por intensas transformações que abrangem a organização social, os modelos econômicos, o desenvolvimento tecnológico, o aproveitamento racional de recursos e o respeito à natureza. Coloca também que nesse quadro de mudanças, que influenciarão todo o futuro do planeta e dos nossos semelhantes, é que foram desenvolvidos, na década passada, os textos da normalização brasileira de desempenho de habitações, (CBIC,2013).

A principal motivação dos agentes para a elaboração da Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios é a criação de um ambiente técnico mais claro para o setor da construção, tornando a concorrência mais saudável, e proteger os usuários das habitações populares (BORGES, 2006).

Santos (2009) diz que melhores condições de conforto térmico nos ambientes contribuem para aumentar a satisfação das pessoas, evitar doenças, reduzir gastos de energia, aumentar a produtividade, evitar desconforto que cause acidentes, reduzir adicionais de insalubridade e periculosidade em empresas, assim, é muito importante levar em consideração o desempenho térmico na hora de adquirir um imóvel, observando alguns quesitos que influenciam diretamente sobre ele, como a orientação solar, o método construtivo, os revestimentos utilizados, a cor da pintura, entre outros.

1.1 Contexto

A análise da variação de custos relacionada ao desempenho térmico de diferentes alvenarias em face da Norma Brasileira 15.575 foi o assunto escolhido para este trabalho pelo fato da análise térmica ser um assunto muito importante, entre outros tantos, e que exerce vasta influência no conforto de uma edificação, despertando a curiosidade de qual seria a variação no orçamento, caso fosse necessário mudanças em um projeto de uma obra para adequação a referida norma e dentre tantas obras que então sendo executadas no município de Ijuí-RS, quais sistemas construtivos apresentam melhor desempenho.

Nos países desenvolvidos, desde a década de 60, o desempenho de edificações está associado ao seu comportamento quando em utilização. O edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso, (BORGES, 2008).

Segundo Kappaun (2012), o desempenho de um edifício está diretamente relacionado com as características dos elementos que o constituem e o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e fechamentos, permitindo estabelecer estratégias para que o edifício possa responder de maneira eficiente às variações do clima e saber escolher os materiais construtivos mais adequados tem papel fundamental para a promoção de um desempenho térmico satisfatório, oferecendo conforto aos usuários dessa edificação.

1.2 Problema

Quais alternativas podem ser utilizadas quando os diferentes tipos de paredes não atendem os requisitos da norma em relação ao desempenho térmico?

Qual a variação de custos que poderá ocorrer para a adequação à referida norma?

1.2.1 Objetivos de Pesquisa

O objetivo geral desde trabalho é verificar os sistemas construtivos mais utilizados atualmente para edificações no município de Ijuí, realizar um estudo comparativo entre o orçamento inicial da obra e o orçamento final, caso seja necessário algum tipo de interferência construtiva para adequar-se à norma de desempenho térmico nessas edificações utilizando planilhas orçamentárias desenvolvidas em software SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil).

Partindo da verificação, através de cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas de edificações, em diferentes tipos de alvenarias, no município de Ijuí-RS pertencente a zona bioclimática 2, pretende-se focar os seguintes objetivos específicos:

- Verificar, a partir do resultado dos cálculos, se os tipos de parede atendem aos critérios simplificados de transmitância de capacidade térmica, aceitando ou rejeitando um sistema construtivo;
- Identificar os sistemas construtivos rejeitados, obter alternativas para adequá-los à norma;
- Através das mudanças para adequação da norma, obter a variação de custos ocorridos em função desta adequação através dos custos unitários de serviços de construção civil apresentados pelo SINAPI.

1.2.2 Delimitação

A presente pesquisa limita-se ao estudo de alternativas e a variação de custos direto para atingir o desempenho térmico em diferentes alvenarias em face da NBR 15.575, utilizando apenas o procedimento simplificado (normativo), o qual presta-se a verificar o atendimento aos requisitos

e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica (U) e capacidade
térmica (CT) das paredes de fachada, no município de Ijuí-RS, pertencente a zona bioclimática 2.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo estão apresentados referenciais teóricos baseados em artigos publicados, normas técnicas, revistas técnicas e consultas a sites especializados sobre: a Norma Brasileira de Desempenho e seu impacto em todos os campos do setor da construção civil; o conforto térmico e suas particularidades; as definições de engenharia de custos, orçamentos e as principais características de um orçamento, os métodos de orçamentação e demais conceitos relacionados ao tema.

2.1 Norma de Desempenho – NBR 15.575

Este ítem trata sobre a norma brasileira de desempenho – NBR 15.575 nos seguintes aspectos: sua definição, sua criação, objetivo, estrutura da norma, razões para tornar a norma vigente, a incumbência dos agentes e os critérios para o cumprimento da norma.

2.1.1 Definição

No guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013, define a norma de desempenho como conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em requisitos do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes, (CBIC, 2013).

A referida norma estabelece parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos. Dessa forma, buscam-se o disciplinamento das relações entre os elos da cadeia econômica como rastreabilidade, a diminuição das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentação do Código de Defesa do Consumidor, o estímulo à redução da concorrência predatória e um instrumento de diferenciação das empresas. Publicada em 2008, e discutida à vários anos, a Norma Brasileira de Desempenho de Edificações – NBR 15.575 foi elaborada para estabelecer parâmetros para se alcançar determinados níveis de desempenho garantindo que a edificação apresente o mínimo de conforto estabelecido, após sua conclusão, (CBIC, 2013).

Sua elaboração tem sido discutida por diversos agentes entre construtoras, projetistas (arquitetos e engenheiros), incorporadores, entidades representantes de fabricantes de materiais, empresas do ramo, peritos, pessoas físicas, institutos de pesquisa, etc (BORGES, 2006).

Segundo Borges (2009), um aspecto importante da norma é que ela não define de que forma os resultados serão obtidos, mas sim os resultados que se deseja atingir. O foco desta Norma está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento (ABNT, 2013).

A interrelação entre Normas de desempenho e Normas prescritivas deve possibilitar o atendimento às exigências do usuário, com soluções tecnicamente adequadas, assim esta Norma de desempenho e as Normas precritivas são simultaneamente utilizadas (ABNT, 2013).

Todas as disposições contidas nesta Norma, são aplicáveis aos sistemas que compõem edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, projetados, construídos, operados e submetidos a intervenções de manutenção que atendam às instruções específicas do respectivo manual de operação, uso e manutenção mas pode ser aplicada para edifícios maiores de cinco pavimentos, para itens que não dependem da altura (ABNT, 2013).

2.1.2 Criação e importância de sua permanência

Segundo CBIC (2013), em face da evolução tecnológica e a busca incessante por redução de custos, todos os setores industriais brasileiros tiveram que se adequar a essa realidade, e na construção civil não foi diferente e que para tanto, o desafio é promover condições de viabilidade para investimentos em máquinas, processos produtivos e qualificação de mão de obra tendo em vista à sustentabilidade da indústria da construção civil. A norma de desempenho NBR 15575 estabelece parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos, buscando o disciplinamento das relações entre os elos da cadeia econômica (rastreabilidade), a diminuição das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentação do Código de Defesa do Consumidor, o estímulo à redução da concorrência predatória e um instrumento de diferenciação

das empresas. Avaliar o desempenho dos sistemas construtivos é um avanço para o setor e constitui o caminho para a evolução de todos que compõem a cadeia da construção civil.

A proposta de criação de uma norma que oferecesse uma metodologia para avaliar os sistemas construtivos inovadores, foi inicialmente financiada pelo Banco Nacional da Habitação (BNH – e que depois passou a ser nomeada Caixa Econômica Federal), com recursos do FINEP. Em 2002, o Sinduscon SP iniciou sua participação na elaboração da Norma Brasileira de Desempenho. Participou desde o início também o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o IBAPE (SHEBALJ, 2012).

Segundo Borges (2009), a Caixa Econômica Federal possui importante papel no comprimento da Norma, incentivando os construtores a oferecerem empreendimentos de acordo com o normativo, oferecendo a eles taxas de juros menores, ranking de empresas com bom desempenho, auditoria em projeto e ensaios laboratoriais.

A vigência da norma fomenta o desenvolvimento tecnológico no país, uma vez que poderão ser utilizados diversos métodos construtivos, para que ocorra o atendimento dos níveis mínimos de desempenho nas construções (LINS, 2012).

Ainda expõe Lins (2012), que outro aspecto importante da vigência da norma é o fato que ela funciona como um poderoso instrumento de marketing para as construtoras, incorporadoras e escritórios de arquitetura, onde será importante para as empresas que atenderem à ABNT NBR 15.575, divulgar em seus sites, estandes, propagandas, folhetos e memoriais descritivos de venda, que atendem aos requisitos, sendo que seus produtos, projetos ou o próprio empreendimento construído, poderão ser lançados e anunciados no mercado de acordo com o nível de desempenho que apresentar: mínimo (M), intermediário (I) ou superior (S).

2.1.3 Objetivos

A Norma de Desempenho surgiu para estabelecer requisitos, critérios e métodos de avaliação para que as edificações atendam com mais qualidade as necessidades dos usuários, em certas condições de exposição, contexto do ambiente regulatório social e econômico brasileiro e ao longo de determinada vida útil de projeto. São elaborados na norma, critérios mínimos de desempenho,

20

interpretando as necessidades dos usuários, para que tenham uma habitação digna. As Normas,

assim elaboradas, visam de um lado incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico e, de outro,

orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas, (BORGES,

2008).

A abordagem desta Norma explora conceitos que muitas vezes não são considerados em

Normas prescritivas específicas como, por exemplo, a durabilidade dos sistemas, a

manutenabilidade da edificação, o conforto tátil e antropodinâmico dos usuários (ABNT,2013).

Segundo Silva (2012), a norma também define vida útil e durabilidade, questões nunca

antes apresentadas em outras normas brasileiras.

A norma de desempenho é resultado de um compilado de 157 normas que já estavam em

vigor, adaptados a um novo foco. Devido a essas normas não serem de fato aplicadas, surge a

norma de desempenho (ALVES, 2011).

2.1.4 Estrutura

Segundo CBIC (2013), a norma NBR 15575 foi redigida segundo modelos internacionais de

normalização de desempenho. Ou seja, para cada necessidade do usuário e condição de exposição,

aparece a sequência de Requisitos de Desempenho, Critérios de Desempenho e respectivos

Métodos de Avaliação. O conjunto normativo compreende seis partes:

• Parte 1: Requisitos gerais;

• Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

• Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos;

• Parte 4: Sistemas de vedação verticais externas e internas;

• Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

Fonte: CBIC (2013)

A Tabela1: mostra a estrutura da Norma e a Figura 1, as suas partes.

Tabela 1: Estrutura da Norma Brasileira de Desempenho

SISTEMA	REQUISITO	CRITÉRIO	MÉTODO DE
			AVALIAÇÃO
Estrutura	Estabilidade e	Estado limite último	Atendimento às
	resistência estrutural		Normas NBR 6.118,
			NBR 6.122, NBR
			7.190, NBR 8.800 e
			outras
Segurança no uso e	Segurança das	Segurança na	Análise de projeto ou
operação (todos os	instalações	utilização dos	inspeção em protótipo
sistemas)		sistemas, que não	
		devem apresentar	
		rupturas, partes	
		expostas, cortantes ou	
		perfurantes,	
		deformações ou	
		defeitos, etc	
Desempenho	Isolação acústica	Isolação ao som aéreo	Ensaio especificado
Acústico	entre ambientes	entre paredes internas	na NBR 10.152
		e externas	

Fonte: BORGES (2009)

NECESSIDADES DOS USUÁRIOS

EDIFÍCIO E SUAS PARTES

EXPOSIÇÃO

REQUISITOS

CRITÉRIOS

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Figura 1: Norma Brasileira de Desempenho e suas partes

Fonte: BORGES (2009)

Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental), e cada uma classificada como: sistemas, requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos) e métodos de avaliação (ABNT,2013).

2.1.5 Incumbência dos agentes

Em CBIC (2013), para que se atinja e se mantenha o desempenho pretendido durante o prazo de vida útil de projeto, a norma estabelece incumbências para incorporadores, construtores, projetistas, usuários e outros. Suprime algumas indefinições que existiam, como por exemplo a responsabilidade sobre os levantamentos necessários em terrenos com passivo ambiental.

De acordo com a referida norma, o processo das habitações, nas suas diferentes fases, requer ações concretas dos diferentes intervenientes visando a atingir e manter os níveis de desempenho pretendidos visando as incumbências de incorporadores, projetistas, usuários e outros, a fim de manter a vida útil, a qual deve ser considerada desde a etapa de elaboração e especificações de projeto, definida como período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos nesta Norma, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção (ABNT, 2013).

2.2 Conforto térmico

Nesse item tratar-se-á, de forma prática, a definição de conforto térmico e o que é necessário para uma edificação fornecer conforto térmico.

2.2.1 Definição

Santos (2014) apresenta a definição de conforto térmico como a sensação de bem estar que depende das seguintes variáveis, como temperatura, umidade relativa, temperatura radiante,

velocidade do vento, atividade física, vestimenta, e ainda coloca que quanto menor o trabalho do sistema termorregulador, maior a sensação de conforto térmico.

Lamberts (2008) explica que os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico, está baseada principalmente em 3 fatores: a satisfação do homem ou seu bem estar em se sentir termicamente confortável; a performance humana e a conservação de energia.

Ainda Lamberts (2008), ressalta que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, e assim busca-se criar condições de conforto para o grupo, ou seja condições nas quais a maior percentagem do grupo esteja em conforto térmico.

A definição de conforto térmico é muito subjetiva, pois depende de fatores pessoais e ambientais. Do ponto de vista pessoal, o conforto térmico é uma "condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico". Do ponto de vista ambiental, o conforto térmico se dá quando as condições "permitem a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem adicionados mecanismos termo reguladores" (ISO 7730/94).

2.2.2 Trocas térmicas

Em Frota e Schiffer (1999), as trocas térmicas entre os corpos advém de condições básicas, sendo estas: existência de corpos que estejam em temperaturas diferentes ou mudança de estado de agregação, os quais envolvem variação de temperatura (trocas secas), que podem ocorrer de três formas: por condução, por convecção, por radiação conforme definição abaixo:

- Radiação: É a troca de calor entre corpos que se encontram a uma certa distância um do outro.
- Condução: É a troca de calor entre corpos de temperaturas diferentes que se encostam.
- Convecção: É a troca de calor entre um corpo sólido e outro fluído (líquido ou gás).

2.2.3 Elementos que interferem no conforto térmico de uma edificação

Lamberts (2008) sustenta que existem inúmeros fatores que interferem no conforto térmico, como temperatura do ar, temperatura radiante media, umidade, umidade relativa do ar, velocidade do ar, calor radiante, a presença de vegetação e de outras edificações no entorno, etc.

2.3 Orçamento e orçamentação

"Na visão tradicional, um orçamento é uma previsão (ou estimativa) do custo ou do preço de uma obra. O custo total da obra é o valor correspondente à soma de todos os gastos necessários para sua execução" (GONZÁLEZ, 2008).

Limmer (1997) define orçamento como sendo a determinação dos gastos necessários para a realização de um projeto, de acordo com um plano de execução previamente estabelecido, gastos esses traduzidos em termos quantitativos.

Ainda em Limmer (1997) o orçamento é parte integrante de um projeto, e sempre precede sua construção. Ele é composto por uma previsão dos custos de cada uma das atividades ou serviços que compõem o projeto, através da identificação e quantificação de cada um desses serviços, da definição do que será consumido e dos custos dos materiais utilizados, chegando assim a um preço unitário para cada unidade de serviço, e assim sendo, ao custo total para a execução do projeto.

Mattos (2006) descreve que orçar não é um mero exercício de futurologia ou jogo de adivinhação. Um trabalho bem executado, com critérios técnicos bem estabelecidos, utilização de informações confiáveis e bom julgamento do orçamentista, pode gerar orçamentos precisos, embora não exatos, porque o verdadeiro custo de um empreendimento é virtualmente impossível de se fixar de antemão. O que o orçamento realmente envolve é uma estimativa de custos em função da qual o construtor irá atribuir seu preço de venda, este sim, bem estabelecido.

Ainda Mattos (2006) cita os principais atributos de um orçamento:

- Aproximação: todo orçamento é aproximado, por basear-se em previsões. O orçamento não necessita ser exato, porém preciso;
- Especificidade: não se pode falar em orçamento geral ou padronizado. Todo orçamento está ligado à empresa e às condições locais;

• Temporalidade: um orçamento realizado tempos atrás já não é válido hoje.

2.3.1 Métodos de orçamentação

"Os orçamentos podem variar em função da sua pretensa finalidade e do nível de evolução ou detalhamento disponível dos projetos, que servem de subsídio técnico à sua elaboração". (CARDOSO, 2009, p. 198).

"Existem vários tipos de orçamento, e o padrão escolhido depende da finalidade da estimativa e da disponibilidade de dados. Se há interesse em obter uma estimativa rápida ou baseada apenas na concepção inicial da obra ou em um anteprojeto, o tipo mais indicado é o paramétrico" (GONZÁLEZ, 2008).

> Paramétrico:

"É um orçamento aproximado, adequado às verificações iniciais, como estudos de viabilidade ou consultas rápidas de clientes. Se os projetos não estão disponíveis, o custo da obra pode ser determinado por área ou volume construído" (GONZÁLEZ, 2008).

Segundo Cardoso (2009), no método de estimativa paramétrica encontra-se grande utilidade porque consiste em cálculos de um ou mais algoritmos matemáticos que relacionam dados técnicos, e parâmetros de obra e depende muito da experiência profissional, pois muitas suposições são estabelecidas na sua formulação.

> Analítico:

Para Mattos (2006), o orçamento analítico é o mais detalhado e precisa prever o custo da obra, é composto de custo direto através de composições unitárias para cada serviço que será efetuado na obra, levando em consideração as quantidades de mão de obra, material e equipamento gastos, além de custos indiretos, como, gastos com equipe técnica, administrativa, taxas emolumentos, etc.

É um orçamento mais aproximado e detalhado, procura-se chegar a um valor bem próximo ao custo "real" do empreendimento, é relacionado os serviços à serem executados com seus índices de consumo unitário (MATTOS,2006).

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é um orçamento analítico, foi criado em 1969, com o objetivo de produzir informações sobre custos e índices de forma sistematizada e com abrangência nacional, visando à elaboração e avaliação de orçamentos, como também acompanhamento de custos, (IBGE, 2015).

O SINAPI é um sistema de periodicidade mensal que informa os custos e índices da construção civil, onde o IBGE realiza pesquisas mensais de preços de equipamentos, materiais de construção e salários das categorias profissionais, junto, respectivamente, a estabelecimentos comerciais, industriais e sindicatos da construção civil, em todos os estados do país. De acordo com a Caixa, as pesquisas são realizadas nas 26 capitais brasileiras e no Distrito federal, de forma abrangente e descentralizada, com a obtenção dos preços médios dos materiais. O SINAPI constitui ferramenta útil para elaboração e análise de orçamentos, estimativas de custos, reajustamentos de contratos e planejamentos de investimentos. Efetua a produção de custos e índices da construção civil, a partir do levantamento de preços de materiais e salários pagos na construção civil, para o setor habitação. A partir de 1997 ocorreu a ampliação do Sistema, que passou a abranger o setor de saneamento e infra-estrutura. Tem como unidade de coleta os fornecedores de materiais de construção e empresas construtoras do setor. O Sistema é produzido em convênio com a Caixa Econômica Federal - CAIXA. Para os dados sobre saneamento e infra-estrutura estão disponíveis somente os relativos a preços. A pesquisa foi iniciada em 1969 para o setor de habitação e em 1997, para o de saneamento e infra-estrutura, (IBGE, 2015).

De acordo com o site do IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de Índices de Preços, Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, o SINAPI teve inicio em 1982, com a divulgação de indicadores sobre trabalho e rendimento, indústria e preços, o periódico Indicadores IBGE passou incorporar no decorrer da década seguintes, informações sobre agropecuária, contas nacionais trimestrais e serviços, visando contemplar as variadas demandas por estatísticas conjunturais para o País. Outros temas poderão ser abarcados futuramente, de acordo com as necessidades de informação identificadas. O periódico é subdividido em fascículos por temas específicos, que incluem tabelas de resultados, comentários e notas metodológicas. As informações apresentadas estão disponíveis em diferentes níveis geográficos: nacional, regional e metropolitano, variando por fascículo, (IBGE, 2015).

O SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, foi implantado em 1969 pelo BNH - Banco Nacional da Habitação. Para o BNH, enquanto órgão governamental responsável pelos programas habitacionais, era necessário dispor de informações detalhadas de custos e índices da construção. As informações de custos são fundamentais para análise e avaliação de orçamentos, permitindo a programação de investimentos. As informações de índices permitem o reajustamento e atualização de orçamentos. O SINAPI visou o preenchimento de lacunas relativas à disponibilidade de custos e índices de custos até então existentes. A Lei de Incorporações determinava que os Sindicatos da Indústria da Construção Civil deveriam calcular mensalmente os custos de construção de projetos padronizados de 1, 4, 8 e 12 pavimentos, com apartamentos de 2 e 3 quartos, nos padrões alto, normal e baixo. Como base de cálculo, usariam "cestas de insumos" estudadas pela ABNT, constantes do Projeto de Norma Brasileira (PNB - 140). Com relação a "índices de custos da construção", na época, somente a Fundação Getúlio Vargas (FGV) acompanhava o preço de uma cesta de insumos para o Rio de Janeiro, representativa de um prédio de três andares. Decidida a implantação do SINAPI, delegou-se ao IBGE a tarefa de produzir as séries mensais de preços dos materiais de construção e salários da mão-de-obra empregada na construção civil, (IBGE, 2015).

Com relação às séries de custos e índices, foram produzidas inicialmente pelo CENPHA - Centro Nacional de Pesquisas Habitacionais, passando em 1975 esta atribuição ao IDEG - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Gerencial e, em seguida, 1981, ao próprio BNH. A partir de agosto de 1982, ampliou-se a participação do IBGE, cabendo-lhe também a tarefa de produzir as séries mensais de custos e índices, ainda que seu processamento computacional continuasse a ser realizado no BNH. Em janeiro de 1985, a produção integral do SINAPI, ou seja, a coleta e o processamento, passou a ser responsabilidade do IBGE, permanecendo com o BNH a manutenção do Sistema quanto aos aspectos técnicos de engenharia. Após a extinção do BNH, aquelas que eram suas atribuições foram assumidas pela CAIXA - Caixa Econômica Federal. Em 1994, resolução do Conselho Curador do FGTS determinou que a CAIXA uniformizasse os procedimentos de sua área de engenharia em nível nacional e implantasse um Sistema de acompanhamento de custos e adequação de materiais, tanto para empreendimentos no setor habitacional quanto para saneamento e infra-estrutura urbana. Atendendo esta resolução, a CAIXA ampliou os objetivos do SINAPI e,

além do convênio para a produção das estatísticas para a área de edificações, assinou outro convênio com o IBGE para a implantação e realização da coleta mensal de preços e salários dos novos setores, cujo início se deu em julho de 1997. Os principais resultados do SINAPI são disponibilizados mensalmente via web pelo IBGE e CEF para as 27 Unidades da Federação. (IBGE, 2015).

Segungo o IBGE (2015), nesses resultados constam os preços de materiais de construção, salários das principais categorias de profissionais que atuam no ramo e custos de projetos residenciais ou comerciais com tipologias arquitetônicas diferentes sob vários aspectos (número de cômodos, de pavimentos e tipo de acabamento). Os resultados do SINAPI servem de base para órgãos públicos como, por exemplo, a própria CEF bem como a FUNASA - Fundação Nacional da Saúde, o IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico, o INCRA - Instituto de Colonização e Reforma Agrária e Ministério da Defesa e o TCU - Tribunal de Contas da União. No setor privado é bastante utilizado por profissionais e empresas que atuam no ramo da construção civil. Construção Civil).

Consoante a Vivian (2012), os resultados do SINAPI (preços de materiais, salários, custos de projetos, custos médios, índices) são divulgados periodicamente e podem ser acessados através dos sites do IBGE ou da CEF. Existe a possibilidade de efetuar o download de toda a tabela que encontra-se disponibilizada no site da CEF (http://www.caixa.gov.br/). Na página inicial do site da CEF basta clicar no ícone do menu superior Downloads mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Página Inicial da CEF

Fonte: CEF (2015)

A Figura 3 apresenta uma página do tabela do relatório de insumos referente ao mês de Agosto de 2015, no Rio Grande do Sul.

Figura 3 - Tabela do Relatório de Insumos Referente ao Mês de Agosto de 2015



PREÇOS DE INSUMOS

Página: 23 / 132

Indicação da origem do preço:

- · C para preço coletado pelo IBGE
- CR para preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (ver Manual de Metodologia e Conceitos);
- · AS para preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo.

Mês de Coleta: 08/2015 Pesquisa: IBGE

Localida	de: PORTO ALEGRE Encargos Sociais Desonerados(%) Horista:	86,22	Mensalist	a: ^{48,69}
Código	Descrição do Insumo	Unid	Origem de Preço	Preço Mediano (R\$)
00000644	BETONEIRA 580 L, DIESEL, POTENCIA DE 7,5 HP, COM CARREGADOR MECANICO (LOCACAO)	н	CR	5,40
00036396	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 310L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR	UN	CR	3.666,25
00036397	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 360L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380V, POTENCIA 4CV, EXCLUSO CARREGADOR	UN	CR	13.035,57
00036398	BETONEIRA, CAPACIDADE NOMINAL 600 L, CAPACIDADE DE MISTURA 440 L, MOTOR A DIESEL POTENCIA 10HP, COM CARREGADOR	UN	CR	15.843,66
00011797	BIDE LOUCA BRANCA COM 3 FUROS	UN	CR	180,80
00000647	BLASTER, DINAMITADOR OU CABO DE FOGO	н	CR	13,35
00007266	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), DE 9 X 19 X 19 CM	MIL	С	492,50
00007270	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), 4 FUROS, DE 9 X 9 X 19 CM	UN	CR	0,47
00007269	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), 6 FUROS, DE 9 X 9 X 19 CM	UN	CR	0,33
00007271	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), 8 FUROS, DE 9 X 19 X 19 CM	UN	CR	0,49
00007268	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), 8 FUROS, DE 9 X 19 X 29 CM	UN	CR	0,69
00007267	BLOCO CERAMICO (ALVENARIA VEDACAO), 6 FUROS, DE 9 X 14 X 19 CM	UN	CR	0,34
00038783	BLOCO CERAMICO DE VEDAÇÃO COM FUROS NA HORIZONTAL, 11,5 X 19 X 19 CM - 4,5 MPA (NBR 15270)	UN	CR	0,61
00037593	BLOCO CERAMICO DE VEDACAO COM FUROS NA VERTICAL, 14 X 19 X 39 CM - 4,5 MPA (NBR 15270)	UN	CR	1,61
00037594	BLOCO CERAMICO DE VEDACAO COM FUROS NA VERTICAL, 19 X 19 X 39 CM - 4,5 MPA (NBR	UN	CR	1,97

Fonte: CEF (2015)

2.3.2 Elaboração do orçamento

Um orçamento pode ser expresso em diferentes unidades referenciais, sendo a de maior utilização a unidade monetária. Nada, porém impede que se expresse um orçamento em unidades não monetárias a serem gastas na materialização do empreendimento, como por exemplo, homenshoras reais de trabalho (LIMMER, 1997).

O orçamento de um projeto baseia-se na previsão de ocorrência de atividades futuras logicamente encadeadas e que consomem recursos, ou seja, acarretam custos que são, geralmente expressos em termos de unidades monetária padrão sendo, pois basicamente uma previsão de ocorrências monetárias ao longo do prazo de execução do projeto (LIMMER, 1997).

2.4 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Pelo fato do Brasil possuir um vasto território nacional, ele apresenta vários climas diferentes, assim a Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 15220-3, divide o país num Zoneamento Bioclimático Brasileiro, com o título "Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social". Neste zoneamento da ABNT, o território brasileiro é dividido em 8 zonas bioclimáticas considerando o clima de cada local, atribuindo o mesmo zoneamento para regiões com características semelhantes de temperaturas mensais médias máximas e mínimas e as médias mensais da umidade relativa do ar. A classificação bioclimática fornece recomendações construtivas para um melhor desempenho térmico das edificações, adequando estratégias de projeto para o clima local, de forma a proporcionar melhor conforto térmico e melhoria da eficiência energética (ABNT, 2005).

O Rio Grande do Sul possui 3 zonas bioclimáticas diferentes em sua extenção territorial. Para cada Zona Bioclimática existem recomendações de qual sistema construtivo é mais adequado, como aberturas, vedações externa, tipo de cobertura, etc, (ABNT, 2005).

A Tabela 2 mostra aberturas para ventilação e sombreamento para a Zona Bioclimática 2, a Tabela 3 apresenta os tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2, a Figura 4 mostra o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, a e a Tabela 4, o condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2.

Tabela 2 – Aberturas para Ventilação e Sombreamento para a Zona Bioclimática 2

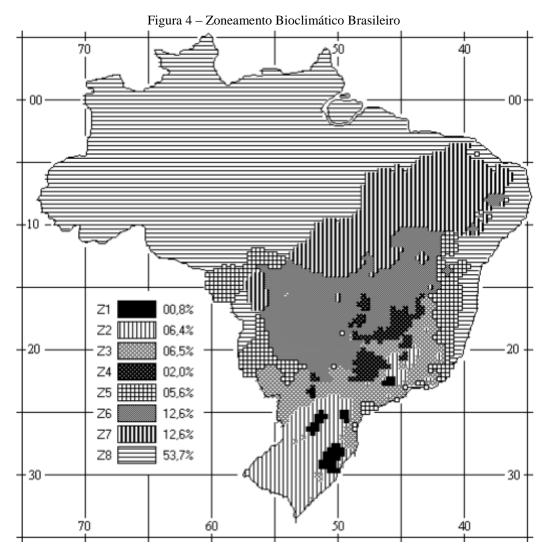
Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Fonte: ABNT (2005)

Tabela 3 – Tipos de Vedações Externas para a Zona Bioclimática 2

Vedações externas
Parede: leve
Cobertura: leve isolada

Fonte: ABNT (2005)



Fonte: ABNT (2005)

Tabela 4 – Condicionamento Térmico Passivo para a Zona Bioclimática 2

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação
	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
	Nota:
	O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.
	Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Fonte: ABNT (2005)

Persebe-se que grande parte do território gaúcho encontra-se na mesma zona, classificada como zona bioclimática 2, a qual pertence Ijuí, o município foco deste estudo.

2.5 Características do Clima no Município de Ijuí

Segundo IBGE (2015), o clima do município de Ijuí é subtropical (ou temperado) úmido, com quatro estações distintas, temperaturas altas no verão e invernos frescos ou moderadamente frios. A temperatura média anual está em torno dos 20°C e as chuvas se distribuem regularmente durante o ano. No verão, predominam as chuvas convencionais e no inverno as chuvas frontais, com bastante uniformidade.

A Figura 5 apresenta localização do município de Ijuí no Rio Grande do Sul.

Figura 5 – Localização do Município de Ijuí no Rio Grande do Sul

Fonte: wikipedia (2015)

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste item serão abordados a metodologia de pesquisa utilizada e as estratégias para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, considerando os objetivos, sendo uma pesquisa aplicada, utilizando-se de um estudo de diferentes tipos de alvenarias mais utilizadas atualmente na execução de paredes atualmente, em Ijuí, que permite amplo e detalhado conhecimento, envolvendo verdades e interesses locais.

Quanto aos procedimentos é uma pesquisa documental e bibliográfica, pois se utiliza de materiais já publicados como artigos, livros entre outros.

Pode também ser classificada como quantitativa e descritiva, considerando a pesquisa no ponto de vista da forma de abordagem, pois ocorre o levantamento de dados com cálculos e comparações.

3.2 Planejamento da pesquisa

A presente pesquisa visou comparar custos, e para isso, empregou-se a metodologia orçamentária analítica.

A comparação entre o custo inicial e o custo final, quando ocorreu alguma interferência construtiva para adequação à NBR 15.575, se deu inicialmente com uma ampla pesquisa exploratória da revisão bibliográfica, onde permitiu-se adquirir familiaridade com o assunto através de livros, artigos técnicos e normas e em seguida realizou-se uma pesquisa aplicada na forma de um estudo quantitativo para verificar as alterações, utilizando a planilha orçamentária.

Foi realizada a comparação orçada pela Tabela do SINAPI, pelo valor encontrado na tabela de relatório de insumos, com desoneração, do mês de Agosto de 2015, referente ao estado do Rio Grande do Sul.

3.3 Estudo de caso

A pesquisa foi desenvolvida em torno dos resultados dos cálculos da transmitância térmica, e da capacidade térmica de vários tipos de paredes externas de edificações, entre as mais usadas atualmente em Ijuí, pertencente a zona bioclimática 2, onde foi realizado um estudo comparativo entre o orçamento inicial e o orçamento final, por metro quadrado de alvenaria, quando foi necessário algum tipo de interferência construtiva para adequar-se à norma de desempenho térmico em edificações utilizando planilhas orçamentárias desenvolvidas em software (SINAPI).

4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho, sendo inicialmente apresentados os tipos de sistemas construtivos mais utilizados atualmente em edificações em Ijuí, obtidos através de visitas às obras que estão sendo executadas.

Para cada sistema construtivo são mostrados os resultados obtidos nos cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, e é verificado se os tipos de parede atendem aos critérios simplificados, aceitando ou rejeitando o sistema construtivo. Nos sistemas rejeitados, são apresentadas alternativas para adequá-los à norma, orçando-se a variação de custos ocorrida através dos custos unitários de serviços de construção civil apresentados pelo SINAPI.

Apresentam-se a seguir os quatro sistemas construtivos e seus respectivos resultados:

4.1 Sistema construtivo I: Alvenaria de vedação-Bloco Cerâmico 6 furos

A Figura 6 apresenta o tipo de bloco utilizado no sistema construtivo I.



Figura 6 – Bloco Cerâmico 6 furos

Fonte: Autoria própria (2014)

Esse tipo de bloco cerâmico nas dimensões de 14x19x29 (largura x altura x comprimento), assentados na direção de 14 cm, foi observado em várias edificações que estão sendo executadas no município.

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas apresentase a seguir:

a) Características das paredes externas:

Blocos 6 furos quadrados rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 14cm

Dimensões do bloco: 14x19x29cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2cm

A Figura 7 apresenta as seções em que foi dividida a parede para a realização dos cálculos do sistema construtivo I.

In the state of th

Figura 7 – Seções para Cálculo do Bloco Cerâmico 6 furos

Fonte: ABNT (2005)

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{cerâmica}$ (Densidade da massa aparente da cerâmica) = 1600 kg/m³ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\lambda_{cer\hat{a}mica} \ (Condutividade \ t\acute{e}rmica \ da \ cer\hat{a}mica) = 0,90 \ W/(m.K) \ ((Tabela \ B.3 \ pg \ 13, \ ABNT \ NBR \ 15220-2:2005)$

c_{cerâmica} (Calor específico da cerâmica) = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa}$ (Densidade da massa aparente da argamassa) = 2000 kg/m³ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\lambda_{argamassa}$ (Condutividade térmica da argamassa) = 1,15 W/(m.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{argamassa}$ (Calor específico da argamassa) = 1,00 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Rar (Resistência térmica do ar) =0,16(m².K)/W (Tabela B.1 superfície de alta emissividade, espessura da câmera de ar=5cm, fluxo horizontal, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica do bloco:

Seção 1 (tijolo)

 A_1 (Área da seção 1)= 0,01x0,29 = 0,0029m²

$$R_{t1}$$
 (Resistência térmica da seção 1)= $\frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} = \frac{0.14}{0.90} = 0.155$ (m².K)/W

Seção 2 (bloco + câmera de ar + bloco + câmera de ar + bloco)

 A_2 (Área da seção 2)= $0.05 \times 0.29 = 0.0145 \text{m}^2$

$$R_{12} \text{ (Resistência térmica da seção 2)} = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + Rar + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + Rar + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} = \frac{0.015}{0.90} + 0.16 + \frac{0.01}{0.90} + 0.16 + \frac{0.015}{0.90} = 0.3644 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Portanto a RT (resistência térmica) do bloco será:

$$Rt = \frac{\frac{4xA_1 + 3xA_2}{4xA_1}}{\frac{4xA_1}{R_1} + \frac{3xA_1}{R_2}} = \frac{\frac{4x0,0029 + 3x0,0145}{4x0,0029}}{\frac{4x0,0029}{0,155} + \frac{3x0,0145}{0,3644}} = 0,2837 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

d) Resistência térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

 A_A (Área da seção A)= $0.01x0.29 + 0.01x0.2 = 0.0049m^2$

$$R_{tA}$$
 (Resistência térmica da seção A)= $\frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{assentamento}}{\lambda_{assentamento}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0.02}{1.15} + \frac{0.02}{1.15}$

$$\frac{0.14}{1.15} + \frac{0.02}{1.15} = 0.1565 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da parede seção A (superfície a superfície) = 0,1565 (m².K)/W

Seção B (revestimento + bloco + revestimento)

 A_B (Área da seção B)= 0,19x0,29 = 0,0551m²

$$R_{tB} \quad (Resistência \quad térmica \quad da \quad seção \quad B) = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{bloco}}{\lambda_{bloco}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,02}{1,15} + 0,2837 + \frac{0,02}{1.15} = 0,3184 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da parede seção B (superfície a superfície) = 0,3184 (m².K)/W

Portanto a Rt (resistência térmica) da parede será:

$$Rt = \frac{\frac{A_A + A_B}{A_A + \frac{A_B}{R_B}}}{\frac{A_A + \frac{A_B}{R_B}}{R_A}} = \frac{\frac{0,0049 + 0,0551}{0,0049 + 0,0551}}{\frac{0,0049 + 0,0551}{0,1565 + 0,3184}} = 0,2936 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.2936 + 0.13 = 0.464 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

RT (Resistência total da parede (ambiente à ambiente)) = 0,464 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

R_{se} (Resistência superficial externa) e R_{si} (Resistência superficial interna)

 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2$.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2$.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

e) U (Transmitância térmica da parede):

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.464m^2 \cdot K \cdot /W} = 2,155W / (m^2 \cdot K)$$

f) CT (Capacidade térmica da parede):

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01x0.29 + 0.01x0.2 = 0.0049m^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{assentamento} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TA} = 0.18x2000x1,00 = 360 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Seção 1 (revestimento + bloco + revestimento)

$$A_B = 0.01 \times 0.29 = 0.0029 \text{m}^2$$

 $C_{T1} = \sum e$ (espessura).c (calor específico do material). ρ (densidade da massa aparente do material) = $(e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{revestimento}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

c_{cerâmica} = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{T1} = 0.02 \times 2000 \times 1.00 + 0.14 \times 0.92 \times 1600 + 0.02 \times 2000 \times 1.00 = 286.08 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Seção 2 (revestimento + bloco + câmera de ar + bloco + câmera de ar + bloco + revestimento)

$$A_2 = 0.05 \times 0.29 = 0.0145 \text{m}^2$$

 $C_{T2} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

c_{cerâmica} = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{T2} = 0.05 \times 2000 \times 1.00 + 0.05 \times 0.92 \times 1600 = 173.6 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{\frac{A_a + 4xA_1 + 3xA_2}{A_a}}{\frac{A_a}{CT_a} + \frac{4xA_1}{CT_1} + \frac{3xA_2}{CT_2}} = \frac{\frac{0,0049 + 4x0,0029 + 3x0,0145}{\frac{0,0049}{360} + \frac{4x0,0029}{286,08} + \frac{3x0,0145}{173,6}}}{\frac{0,0049 + 4x0,0029 + 3x0,0145}{173,6}} = 196,89 \text{ kJ/(m².K)}$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e $2 U \le 2.5 \text{W/m}^2$.K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 5 apresenta os resultados dos cálculos do Sistema construtivo I.

Tabela 5 – Resultado Sistema Construtivo I

PAREDES EXTERNAS					
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR	
	térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013	
	W/(m².K)	$kJ/(m^2.K)$			
SIST. CONST. I	2,155 ≤ 2,5	$196,89 \ge 130$	Atende os critér	ios da norma.	

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 2,155 W/(m².K), o qual é $\leq 2,5$ W/(m².K) especificado em norma. O mesmo verifica-se na capacidade térmica, onde o valor encontrado no resultado foi de 196,89 kJ/(m².K), o qual é ≥ 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma . Neste caso, não é necessária nenhuma interferência construtiva, pois este sistema já atende aos critérios simplificados da norma.

4.2 Sistema construtivo II: Alvenaria de vedação-Tijolo Maciço cerâmico

A Figura 8 apresenta o tipo de tijolo utilizado no sistema construtivo II.

Figura 8 – Tijolo Maciço Cerâmico



Fonte: http://equipedeobra.pini.com.br (2015)

Esse tipo de tijolo cerâmico de vedação nas dimensões de 5x10x20 (altura x largura x comprimento), assentados na direção de 10 cm, observou-se em apenas duas edificações.

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas está apresentado a seguir:

a) Características das paredes externas:

Tijolos maciços rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 10cm

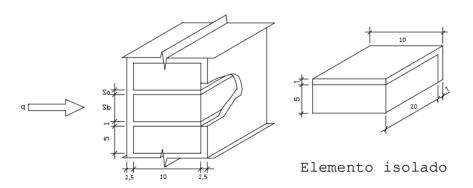
Dimensões do tijolo: 5x10x20cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,5cm

A Figura 9 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos do sistema construtivo II.

Figura 9 – Seções para Cálculo do Tijolo Cerâmico Maciço direção 10cm



Vista em perspectiva Fonte: ABNT (2005)

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{cerâmica} = 0.90 \text{ W/(m.K)}$ ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01x0.2 + 0.01x0.06 = 0.0026m^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{assentamento}}{\lambda_{assentamento}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,1}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1304$$

 $(m^2.K)/W$

Resistência térmica da parede seção A (superfície a superfície) = 0,1304 (m².K)/W

Seção B (revestimento + tijolo + revestimento)

$$A_B = 0.05 \times 0.2 = 0.01 \text{m}^2$$

$$R_{tB} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,1}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1546 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da parede seção B (superfície a superfície) = 0,1546 (m².K)/W

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Rt = \frac{A_A + A_B}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{A_B}{R_B}} = \frac{0,0026 + 0,01}{\frac{0,0026}{0,1304} + \frac{0,01}{0,1546}} = 0,1489 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.1489 + 0.13 = 0.3101 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,3189 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
 (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2$$
.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.3189 \, m^2 \cdot K \cdot /W} = 3.1358W \, / (m^2 \cdot K)$$

e) Capacidade térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01 \times 0.2 + 0.01 \times 0.06 = 0.0026 \text{m}^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{assentamento} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $C_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TA} = 0.15 \times 2000 \times 1.00 = 300 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Seção B (revestimento + tijolo + revestimento)

$$A_B = 0.05 \times 0.2 = 0.01 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{tijolo} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.025 \times 2000 \times 1.00 + 0.1 \times 0.92 \times 1600 + 0.025 \times 2000 \times 1.00 = 247.2 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_A + A_B}{\frac{A_A}{C_{TA}} + \frac{A_B}{C_{TB}}} = \frac{\frac{0.0026 + 0.01}{0.0026}}{\frac{0.0026}{300} + \frac{0.011}{247,2}} = 256,5160 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e 2 U \leq 2,5W/m².K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 C_T > 130 kJ/(m^2 .K) (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 6 apresenta os resuldados dos cálculos do Sistema construtivo II.

Tabela 6 – Resultado Sistema Construtivo II

PAREDES EXTERNAS					
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR	
	térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013	
	W/(m².K)	kJ/(m².K)			
SIST. CONST. II	3,1358 não é ≤ 2,5	256,5160 ≥ 130		os critérios da	
			norma.		

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado não atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 3,1358 W/(m².K), o qual não é ≤ 2,5 W/(m².K) como especificado em norma. Verifica-se que na capacidade térmica, o valor encontrado no resultado foi de 256,516 kJ/(m².K) é ≥ 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma, mas quando um dos dois parâmetros analisados não atende a norma, o Sistema construtivo é considerado rejeitado. Neste caso, como foi rejeitado, uma alternativa encontrada para adequá-lo à norma, foi mudar a direção de assentamento do tijolo de 10 cm para a direção de 20 cm.

Foi realizado novamente os cálculos, os quais seguem abaixo, para conferir se a alternativa era eficiente.

ALTERNATIVA I: Tijolo assentado na direção de 20cm

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas apresentase a seguir:

a) Características das paredes externas:

Tijolos maciços rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 20cm

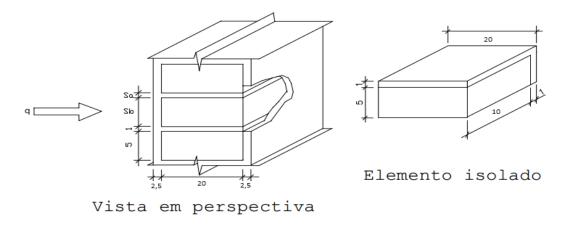
Dimensões do tijolo: 5x10x20cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,5cm

A Figura 10 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos da alternativa I para o sistema construtivo II.

Figura 10 - Seções para Cálculo do Tijolo Cerâmico Maciço direção 20cm



Fonte: ABNT (2005)

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{cerâmica} = 0.90 \text{ W/(m.K)}$ ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01 \times 0.1 + 0.01 \times 0.06 = 0.0016 \text{m}^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{assentamento}}{\lambda_{assentamento}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,2}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,2174$$

 $(m^2.K)/W$

Resistência térmica da parede seção A (superfície a superfície) = 0,2174 (m².K)/W

Seção B (revestimento + tijolo + revestimento)

$$A_B = 0.05 \times 0.1 = 0.005 \text{m}^2$$

$$R_{tB} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,2}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,2657 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da parede seção B (superfície a superfície) = 0,2657 (m².K)/W

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Rt = \frac{\frac{A_A + A_B}{A_A}}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{A_B}{R_B}} = \frac{\frac{0,0016 + 0,005}{0,0016}}{\frac{0,0016}{0,2174} + \frac{0,005}{0,2657}} = 0,2521 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.2521 + 0.13 = 0.4221 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,4221 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
 (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2$$
.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.4221m^2 \cdot K \cdot /W} = 2,3691W / (m^2 \cdot K)$$

d) Capacidade térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01x0.1 + 0.01x0.06 = 0.0016m^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{assentamento} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TA} = 0.25 \times 2000 \times 1.00 = 500 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Seção B (revestimento + tijolo + revestimento)

$$A_B = 0.05 \times 0.1 = 0.005 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{tijolo} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

c_{argamassa} = 1,00 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TB} = 0.025 \times 2000 \times 1.00 + 0.2 \times 0.92 \times 1600 + 0.025 \times 2000 \times 1.00 = 394.4 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_A + A_B}{\frac{A_A}{C_{TA}} + \frac{A_B}{C_{TB}}} = \frac{0,0016 + 0,005}{\frac{0,0016}{500} + \frac{0,005}{394,4}} = 415,6830 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e $2 U \le 2.5 \text{W/m}^2$.K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 7 apresenta os resuldados dos cálculos da alternativa I testada para o sistema construtivo II.

Tabela 7 – Resultado Alternativa I/ Sistema Construtivo II

PAREDES EXTERNAS					
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR	
	térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013	
	W/(m².K)	kJ/(m².K)			
ALTERNATIVA I	$2,3691 \le 2,5$	$415,6830 \ge 130$	Atende os critérios da norma.		

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de alternativa de parede analisado atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 2,3691 W/(m².K), o qual é $\leq 2,5$ W/(m².K) especificado em norma. O mesmo verifica-se na capacidade térmica, onde o valor encontrado no resultado foi de 415,683 kJ/(m².K), o qual é \geq 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma.

Através dessas mudanças para adequação da norma, são apresentadas a variação de custos ocorrido em função desta adequação através dos custos unitários de serviços de construção civil apresentados pelo SINAPI.

O valor relacionado a argamassa de revestimento não vai alterar, pois a área superficial continuará a mesma, assim a mão de obra para o revestimento também não vai alterar. A argamassa de assentamento utilizada será argamassa industrializada para revestimento e assentamento.

O cálculo do número de tijolos por m² e volume da argamassa de assentamento apresentase a seguir:

Parede tijolo maciço (20x10x5), 1 cm de juntas, assentado na direção de 10 cm, antes da intervenção:

Área=0,21x0,06= 0,0126 m² $1 \text{ m}^2:0,0126=79,36=\pm 80 \text{ tijolos}$ $0,20 \text{ x } 0,05=0,01 \text{ m}^2$ Área de 80 tijolos= 80x0,01=0,8 Área das juntas= $1-0,8=0,2 \text{ m}^2$ Volume por $m^2=0,2 \text{ x } 0,10=0,02 \text{ m}^3$ de argamassa de assentamento

Parede tijolo maciço (20x10x5), 1 cm de juntas, assentados na direção de 20 cm, feito a intervenção:

Área=0,11x0,06= 0,0066 m² 1 m²:0,0066=151,51= \pm 152 tijolos 0,10 x 0,05= 0,005 m² Área de 152 tijolos= 152x0,05= 0,76 Área das juntas= 1 – 0,76= 0,24 m² Volume por m²= 0,24 x 0,20= 0,048 m³ de argamassa de assentamento

A Tabela 8 apresenta os resuldados dos cálculos comparativos entre o orçamento inicial e o orçamento final após utilização da alternativa I para adequação a Norma de Desempenho Térmico/m² testada para o sistema construtivo II.

Tabela 8 – Orçamento Comparativo por m²

Tipo de parede	Unidade/valor	Consumo/ (m²)	Total
Tijolo 5x10x20	Peça/R\$0,31	80	R\$24,80
direção 10 cm	Kg argamassa/R\$0,43	0,02	R\$0,0086
	Hs pedreiro/ R\$11,92	0,90	R\$10,728
	Hs servente/ R\$8,84	0,90	R\$9,956
			Total: R\$ 45,49
Tijolo 5x10x20	Peça/R\$0,31	152	R\$49,60
direção 20 cm	Kg argamassa/R\$0,43	0,048	R\$0,02064
	Hs pedreiro/ R\$11,92	1,8	R\$21,456
	Hs servente/ R\$8,84	1,8	R\$15,912
			Total: R\$ 86,99

Fonte: Autoria própria (2015)

Como o consumo de argamassa de revestimento e a produtividade para este serviço foi considerado o mesmo, a comparação em relação a tabela SINAPI mostra um aumento considerável para atingir a norma de desempenho térmico, pois obteve-se um aumento de 91% aproximadamente no custo final do m² de alvenaria.

Neste caso, o custo ficou muito alterado, elevando muito o valor final da obra, assim foi conveniente refazer os cálculos utilizando outro tipo de tijolo ou bloco. Foi testado os cálculos com o bloco cerâmico de vedação 6 furos, nas dimensões de 14x9x19cm, por ser o que mais se aproximou das dimensões do tijolo cerâmico maciço da obra analisada.

ALTERNATIVA II: Substituição do Tijolo Cerâmico Maciço de Vedação (05x10x20) pelo Bloco Cerâmico de Vedação 6 furos (14x9x19)

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas apresentase a seguir:

a) Características das paredes externas:

Bloco 6 furos quadrados rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 9cm

Dimensões do bloco: 9x14x19cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,5cm

A Figura 11 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos da alternativa II para o sistema construtivo II.

The state of the s

Figura 11 – Seções para Cálculo do Bloco Cerâmico 6 furos 9x14x19cm

Vista em perspectiva

Fonte: ABNT (2005)

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{cer\hat{a}mica} = 0.90$ W/(m.K) ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Rar =0,16(m².K) W(Tabela B.1 superfície de alta emissividade, espessura da câmera de ar=3 cm, fluxo horizontal, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01x0.19 + 0.01x0.15 = 0.0034m^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{assentamento}}{\lambda_{assentamento}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da parede seção A (superfície a superfície) = 0,1217 (m².K)/W

Seção B (revestimento + bloco + revestimento)

$$A_B = 0.015 \times 0.19 = 0.00285 \text{m}^2$$

$$R_{tB} = \frac{\textit{e}_{\textit{revestimento}}}{\textit{\lambda}_{\textit{revestimento}}} + \frac{\textit{e}_{\textit{bloco}}}{\textit{\lambda}_{\textit{bloco}}} + \frac{\textit{e}_{\textit{revestimento}}}{\textit{\lambda}_{\textit{revestimento}}} = \frac{\textit{0,025}}{\textit{1,15}} + \frac{\textit{0,09}}{\textit{0,90}} + \frac{\textit{0,025}}{\textit{1,15}} = \textit{0,1435} \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da parede seção B (superfície a superfície) = 0,1435 (m².K)/W

Seção C (revestimento + bloco + ar + bloco + ar + bloco + revestimento)

$$A_C = 0.03 \times 0.19 = 0.0057 \text{m}^2$$

$$R_{tC} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} + \frac{0,025}{1,15} = 0,4079 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da parede seção C (superfície a superfície) = 0,4079 (m².K)/W

Secão D (revestimento + bloco + revestimento)

$$A_D = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tD} = \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{bloco}}{\lambda_{bloco}} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} = \frac{0.025}{1.15} + \frac{0.09}{0.90} + \frac{0.025}{1.15} = 0.1435 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da parede seção D (superfície a superfície) = 0,1435 (m².K)/W

Portanto a resistência térmica do bloco será:

$$Rt = \frac{\frac{A_A + 2.A_B + 3.A_C + 2.A_D}{R_A}}{\frac{A_A + 2.A_B}{R_B} + \frac{3.A_C}{R_C} + \frac{2.A_D}{R_D}} = \frac{\frac{0,0034 + 0,0057 + 0,0171 + 0,0038}{0,0034}}{\frac{0,0034}{0,1217} + \frac{0,0057}{0,1435} + \frac{0,0171}{0,4079} + \frac{0,0038}{0,1435}} = 0,231 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.231 + 0.13 = 0.401 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,401 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2$.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.401 m^2 K/W} = 2,4937W/(m^2.K)$$

e) Capacidade térmica da parede:

Seção A (revestimento + assentamento + revestimento)

$$A_A = 0.01x0.19 + 0.01x0.15 = 0.0034m^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{assentamento} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TA} = 0.14 \times 2000 \times 1.00 = 280 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Seção B (revestimento + bloco + revestimento)

$$A_B = 0.015 \times 0.19 = 0.00285 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.025 \times 2000 \times 1.00 + 0.14 \times 0.92 \times 1600 + 0.025 \times 2000 \times 1.00 = 306.08 \text{ kJ/(m}^2.K)$

Seção C (revestimento + bloco + ar + bloco + ar + bloco + revestimento)

$$A_C = 0.03 \times 0.19 = 0.0057 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_$$

 $(e.c.\rho)_{revestimento}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

C_{cerâmica} = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $C_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.03x2000x1.00 + 0.03x0.92x1600 = 104.16 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção D (revestimento + bloco + revestimento)

$$A_D = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$C_{TD} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{revestimento} + (e.c.\rho)_{bloco} + (e.c.\rho)_{revestimento}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

C_{cerâmica} = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $C_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TD} = 0.025 \times 2000 \times 1.00 + 0.14 \times 0.92 \times 1600 + 0.025 \times 2000 \times 1.00 = 306.08 \text{ kJ/(m}^2.K)$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{\frac{A_A + 2.A_B + 3.A_C + 2.A_D}{\frac{A_A}{R_A} + \frac{2.A_B}{R_B} + \frac{3.A_C}{R_C} + \frac{2.A_D}{R_D}} = \frac{\frac{0,0034 + 0,0057 + 0,0171 + 0,0038}{\frac{0,0034}{280} + \frac{0,0057}{306,08} + \frac{0,0171}{104,16} + \frac{0,0038}{306,08}} = 144,68 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, RS: Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e $2 U \le 2.5 \text{W/m}^2$.K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 9 apresenta os resuldados dos cálculos da alternativa II testada para o sistema construtivo II.

Tabela 9 – Resultado Alternativa II/ Sistema Construtivo II

Tubela / Tebulado Filerman (a 11) Sistema Constitui (o 11					
PAREDES EXTERNAS					
		Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR
		térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013
		W/(m ² .K)	kJ/(m².K)		
ALTERNA	ATIVA II	I $2,4937 \le 2,5$ $144,68 \ge 130$ Atende aos critérios da norma.			rios da norma.

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 2,4937 W/(m².K), o qual é $\leq 2,5$ W/(m².K) especificado em norma. O mesmo verifica-se na capacidade térmica, onde o valor encontrado no resultado foi de 144,68 kJ/(m².K), o qual é ≥ 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma .

Através dessas mudanças para adequação da norma, são apresentadas a variação de custos ocorrido em função desta adequação através dos custos unitários de serviços de construção civil apresentados pelo SINAPI.

O valor relacionado a argamassa de revestimento não vai alterar, pois a área superficial continuará a mesma, assim a mão de obra para o revestimento também não vai alterar. A argamassa de assentamento utilizada será argamassa industrializada para revestimento e assentamento.

O cálculo do número de tijolos por m² e volume da argamassa de assentamento está relatado a seguir, para a parede tijolo maciço (20x10x5), 1 cm de juntas, assentado na direção de 10 cm, antes da intervenção:

Årea=0,21x0,06= 0,0126 m²

 $1 \text{ m}^2:0,0126=79,36=\pm80 \text{ tijolos}$

 $0.20 \times 0.05 = 0.01 \text{ m}^2$

Área de 80 tijolos= 80x0,01=0,8

Área das juntas= $1 - 0.8 = 0.2 \text{ m}^2$

Volume por $m^2 = 0.2 \times 0.10 = 0.02 \text{ m}^3$ de argamassa de assentamento

Para a parede de bloco 6 furos (19x9x14), 1 cm de juntas, assentados na direção de 9 cm, feito a intervenção:

 $\text{Área}=0,10\times0,15=0,015 \text{ m}^2$

 $1 \text{ m}^2:0,015=66,67=\pm67 \text{ tijolos}$

 $0.09 \times 0.14 = 0.0126 \text{ m}^2$

Área de 67 blocos= 67x0,0126= 0,8442

Área das juntas= $1 - 0.8442 = 0.16 \text{ m}^2$

Volume por m²= 0,16 x 0,14= 0,0224 m³ de argamassa de assentamento

Como a altura do bloco 6 furos é 2,8x maior do que a altura do tijolo maciço, o consumo por m² de pedreiro e servente foi dividido por 2,8.

A Tabela 10 apresenta os resuldados dos cálculos comparativos entre o orçamento inicial e o orçamento final após utilização da alternativa II para adequação a Norma de Desempenho Térmico/m² testada para o sistema construtivo II.

Tabela 10 – Orçamento Comparativo por m²

Tipo de parede	Unidade/valor	Consumo/ (m²)	Total
Tijolo 5x10x20	Peça/R\$0,31	80	R\$24,80
direção 10 cm	Kg argamassa/R\$0,43	0,02	R\$0,0086
	Hs pedreiro/ R\$11,92	0,90	R\$10,728
	Hs servente/ R\$8,84	0,90	R\$9,956
			Total: R\$ 45,49
Bloco 9x14x19	Peça/R\$0,34	67	R\$22,78
direção 9 cm	Kg argamassa/R\$0,43	0,0224	R\$0,0096
	Hs pedreiro/R\$11,92	0,33	R\$3,94
	Hs servente/ R\$8,84	0,33	R\$2,92
			Total: R\$ 29,65

Fonte: Autoria própria (2015)

Como o consumo de argamassa de revestimento e a produtividade para este serviço foi considerado o mesmo, a comparação em relação a tabela SINAPI mostra uma redução considerável

nos custos para atingir a norma de desempenho térmico, pois obteve-se uma redução de 35% aproximadamente no custo final do m² de alvenaria.

Considerando Souza (1998), a variação do custo da etapa alvenaria em relação ao total da obra fica entre 4% e 8%, assim, neste caso considerando 6% do total da obra, por ser alvenaria de vedação, tería-se uma redução de aproximadamente 2,09% no custo total da obra.

Para exemplificar, uma obra orçada em R\$1.000.000,00, R\$60.000,00 seria o custo da alvenaria de vedação com tijolo assentado na direção de 10 cm, a qual teria uma redução de R\$20.892,00 se executada com bloco 6 furos assentado na direção de 9 cm, totalizando um custo de R\$39.108,00 com alvenaria, considerando valores obtidos na tabela SINAPI. Por isso a opção é classificada como viável.

4.3 Sistema construtivo III: Alvenaria estrutural-Bloco Cerâmico

A Figura 12 apresenta o tipo de bloco utilizado no sistema construtivo III.



Figura 12 – Bloco Cerâmico 14x19x29cm

Fonte: http://equipedeobra.pini.com.br (2015)

A alvenaria estrutural com blocos cerâmicos é um sistema construtivo em alvenaria autoportante, ou seja, vigas e pilares são elementos desnecessários, pois as cargas são distribuídas de maneira uniforme ao longo de toda a estrutura, até a fundação.

Esse sistema está presente nos canteiros de obra de diversos países, por se tratar de um método construtivo versátil, racionalizado, econômico, com reduzida mão-de-obra e tempo de execução.

Algumas obras estão sendo executadas em Ijuí, utilizado-se blocos cerâmicos com resistência 4,5 Mpa, nas dimensões de 14x19x29 (largura x altura x comprimento), assentados na direção de 14 cm.

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas está apresentado a seguir:

a) Características das paredes externas:

Bloco estrutural cerâmico rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 14cm

Dimensões do bloco: 14x19x29cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,0cm

A Figura 13 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos do sistema construtivo III.

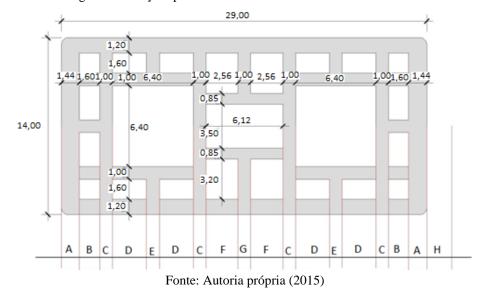


Figura 13 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural Cerâmico 14x19x29cm

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{\text{cerâmica}} = 0.90 \text{ W/(m.K)}$ ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Rar =0,14, 0,16 e 0,17(m².K) W(Tabela B.1 superfície de alta emissividade, confome espessura da câmera de ar, fluxo horizontal, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica de cada seção:

Seção A (argamassa + cerâmica)

$$A_A = 0.0144x0.19 = 0.002736m^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.14}{0.90} = 0.1903 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção A = 0,1903 (m².K)/W

Seção B (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_B = 0.016x0, 19 = 0.00304m^2$$

$$R_{tB} = \frac{\textit{e}_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{\textit{e}_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + 2. Rar1 + 2. Rar2 = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,054}{0,90} + 2.0,14 + 2.0,16 = 0,6948$$

 $(m^2.K)/W$

Resistência térmica da seção B = 0,6948 (m².K)/W

Seção C (argamassa + cerâmica)

$$A_C = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tC} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.14}{0.90} = 0.1903 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção C = 0, 1903 (m^2 .K)/W

Seção D (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_D = 0.027 \times 0.19 = 0.00513 \text{m}^2$$

$$R_{tD=} \qquad \qquad \frac{\textit{e}_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{\textit{e}_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + 2. \, Rar1 + \, Rar3 = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.44}{0.90} + \, 2.0,14 + 0.17 = 0.9737$$

 $(m^2.K)/W$

Resistência térmica da seção $D = 0.9737 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção E (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_E = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tE=\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar3 = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,076}{0,90} + 0,17 = 0,2892 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção E = 0,2892(m².K)/W

Seção F (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_F = 0.0256 \times 0.19 = 0.004864 \text{m}^2$$

$$R_{tF=\frac{\textit{e}_{\textit{argamassa}}}{\lambda_{\textit{argamassa}}} + \frac{\textit{e}_{\textit{cerâmica}}}{\lambda_{\textit{cerâmica}}} + 3. \textit{Rar2} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.040}{0.90} + 3.0, 16 = 0.5592 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção $F = 0.5592 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção G (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_G = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tG=}\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar2 = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,105}{0,90} + 0,16 = 0,3114 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção $G = 0.3114 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção H (argamassa)

$$A_{\rm H} = 0.01 \times 0.3 + 0.01 \times 0.19 = 0.0049 \,\mathrm{m}^2$$

$$R_{tH=\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} = \frac{0.18}{1.15} = 0.1565 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção H = 0,1565 (m².K)/W

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Rt = \frac{(2.A_A) + (2.A_B) + (4.A_C) + (4.A_D) + (2.A_E) + (2.A_F) + (A_G) + (A_H)}{\frac{(2.A_A)}{R_A} + \frac{(2.A_B)}{R_B} + \frac{(4.A_C)}{R_C} + \frac{(4.A_D)}{R_D} + \frac{(2.A_E)}{R_E} + \frac{(2.A_F)}{R_F} + \frac{(A_G)}{R_G} + \frac{(A_H)}{R_H}} =$$

$$\frac{\frac{0,0054+0,0060+0,0076+0,0205+0,0038+0,0097+0,0019+0,0049}{\frac{0,0054}{0,1903}+\frac{0,0060}{0,6948}+\frac{0,0076}{0,1903}+\frac{0,0205}{0,9737}+\frac{0,0038}{0,2892}+\frac{0,0097}{0,5592}+\frac{0,0019}{0,3114}+\frac{0,0049}{0,1565}}{=0,3604 \text{ (m}^2.\text{K)/W}}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.3604 + 0.13 = 0.5304 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,5304 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
 (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
 (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.5304 \, m^2 \cdot K \cdot /W} = 1,88W / (m^2 \cdot K)$$

e) Capacidade térmica de cada seção:

Seção A (argamassa + cerâmica)

$$A_A = 0.0144 \times 0.19 = 0.002736 \text{m}^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TA} = 0.04x1,00x2000+0.14x0,92x1600 = 286,08 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$

Seção B (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_B = 0.016 \times 0.19 = 0.00304 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.054 \times 0.92 \times 1600 = 159.49 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção C (argamassa + cerâmica)

$$A_C = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TC} = 0.04x2000x1.00 + 0.14x1600x0.92 = 286.08 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Seção D (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_D = 0.027 \times 0.19 = 0.00513 \text{m}^2$

 $C_{TD} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

c_{cerâmica} = 0,92 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TD} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.044 \times 1600 \times 0.92 = 144,77 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção E (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_E = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$

 $C_{TE} = \sum_{e.c.\rho} e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TE} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.076 \times 1600 \times 0.92 = 191.87 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção F (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_F = 0.0256 \times 0.19 = 0.004864 \text{m}^2$

 $C_{TF} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TF} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.041 \times 1600 \times 0.92 = 140.35 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Seção G (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_G = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$C_{TG} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TG} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.105 \times 1600 \times 0.92 = 234.56 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção H (argamassa)

$$A_{\rm H} = 0.01 \times 0.3 + 0.01 \times 0.19 = 0.0049 \,\mathrm{m}^2$$

$$C_{TH} = \sum_{e.c.\rho} e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TH} = 0.18 \times 2000 \times 1.00 = 360 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Ct = \frac{(2.A_A) + (2.A_B) + (4.A_C) + (4.A_D) + (2.A_E) + (2.A_F) + (A_G) + (A_H)}{\frac{(2.A_A)}{Ct_A} + \frac{(2.A_B)}{Ct_B} + \frac{(4.A_C)}{Ct_C} + \frac{(2.A_D)}{Ct_D} + \frac{(2.A_E)}{Ct_E} + \frac{(2.A_F)}{Ct_F} + \frac{(A_G)}{Ct_G} + \frac{(A_H)}{Ct_H}} =$$

$$\frac{0,0054+0,0060+0,0076+0,0205+0,0038+0,0097+0,0019+0,0049}{\frac{0,0054}{286,08}+\frac{0,0060}{159,49}+\frac{0,0076}{286,08}+\frac{0,0076}{144,77}+\frac{0,0038}{191,87}+\frac{0,0097}{140,35}+\frac{0,0019}{234,56}+\frac{0,0049}{360}}=178,35 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, RS: Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e 2 U \leq 2,5W/m².K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 11 apresenta os resuldados dos cálculos do Sistema construtivo III.

Tabela 11 – Resultado Sistema Construtivo III

PAREDES EXTERNAS					
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR	
	térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013	
	$W/(m^2.K)$	kJ/(m².K)			
SIST. CONST. III	$1,88 \le 2,5$	$178,35 \ge 130$	Atende aos critérios da norma.		

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 1,88 W/(m².K), o qual é $\leq 2,5$ W/(m².K) especificado em norma. O mesmo verifica-se na capacidade térmica, onde o valor encontrado no resultado foi de 178,35 kJ/(m².K), o qual é ≥ 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma . Neste caso, não é necessária nenhuma interferência construtiva, pois este sistema já atende aos critérios simplificados da norma.

4.4 Sistema construtivo IV: Alvenaria estrutural-Bloco de Concreto

A Figura 14 apresenta o tipo de bloco utilizado no sistema construtivo IV.

Figura 14 – Bloco de Concreto

Fonte: http://equipedeobra.pini.com.br (2015)

A alvenaria estrutural em blocos de concreto é um sistema construtivo em alvenaria autoportante, ou seja, vigas e pilares são elementos desnecessários, pois as cargas são distribuídas de maneira uniforme ao longo de toda a estrutura, até a fundação.

Esse sistema está presente nos canteiros de obra de diversos países, por se tratar de um método construtivo versátil, racionalizado, econômico, com reduzida mão-de-obra e tempo de execução.

Na maioria das obras sendo executadas no município de Ijuí-RS está sendo utilizado blocos de concreto com resistência 6 Mpa, nas dimensões de 14x19x39 (largura x altura x comprimento), assentados na direção de 14 cm.

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas apresentase a seguir:

a) Características das paredes externas:

Bloco de concreto rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 14cm

Dimensões do bloco: 14x19x39cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,0cm

A Figura 15 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos do sistema construtivo III.

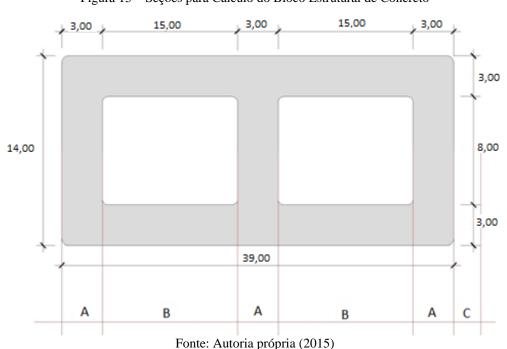


Figura 15 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural de Concreto

Cristiane Sonego Rolim (crisonego@hotmail.com). Trabalho de Conclusão de Curso. Ijuí: DCEEng/Unijuí, 2015

b) Características dos materiais:

Concreto:

 $\rho_{concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{concreto} = 1,75 \text{ W/(m.K)}$ ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{concreto} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Rar =0,17(m².K) W(Tabela B.1 superfície de alta emissividade, espessura da câmera de ar=8cm, fluxo horizontal, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica de cada seção:

Seção A (argamassa + concreto)

$$A_A = 0.03 \times 0.19 = 0.0057 \text{m}^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.14}{1.75} = 0.1148 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção A = 0,1148 (m².K)/W

Seção B (argamassa + Ar +concreto)

$$A_B = 0.15 \times 0.19 = 0.0285 \text{m}^2$$

$$R_{tB} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + Rar3 = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.06}{1.75} + 0.17 = 0.2391 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção $B = 0,2391 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção C (argamassa)

$$A_C = 0.01 \times 0.4 + 0.01 \times 0.19 = 0.0059 \text{m}^2$$

$$R_{tC} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} = \frac{0.18}{1.15} = 0.1565 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Portanto a resistência térmica do tijolo será:

$$Rt = \frac{\frac{3.A_A + 2.A_B + A_C}{\frac{3.A_A}{R_A} + \frac{2.A_B}{R_B} + \frac{A_C}{R_C}}{\frac{0.0171}{0.1148} + \frac{0.057}{0.2391} + \frac{0.0059}{0.1565}} = 0,1882 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.1882 + 0.13 = 0.358 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,358 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

 $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2$.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.358m^2 \cdot K \cdot /W} = 2.79W / (m^2 \cdot K)$$

e) Capacidade térmica da parede:

Seção A (argamassa + concreto)

$$A_A = 0.03 \times 0.19 = 0.0057 \text{m}^2$$

$$C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{concreto}$$

Como:

 $\rho_{concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{concreto} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TA} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.14 \times 1 \times 2400 = 416 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção B (argamassa + Ar +concreto)

$$A_B = 0.15 \times 0.19 = 0.0285 \text{m}^2$$

$$C_{TB} = \sum_{e.c.\rho} e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{concreto}$$

Como:

 $\rho_{concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{concreto} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.06 \times 1 \times 2400 = 224 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção C (argamassa)

$$A_C = 0.01 \times 0.4 + 0.01 \times 0.19 = 0.0059 \text{m}^2$$

$$C_{TC} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{concreto}$$

Como:

 $\rho_{concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{concreto} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TC} = 0.18x2000x1,00 = 360 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{\frac{3.A_A + 2.A_B + A_C}{\frac{3.A_A}{CT_A} + \frac{2.A_B}{CT_C}}{\frac{3.A_A}{CT_B} + \frac{A_C}{CT_C}} = \frac{\frac{0.0171 + 0.057 + 0.0059}{\frac{0.0171}{416} + \frac{0.057}{224} + \frac{0.0059}{360}}{\frac{3.60}{360}} = 256,44 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, RS: Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e 2 U \leq 2,5W/m².K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 12 apresenta os resuldados dos cálculos do Sistema construtivo III.

Tabela 12 – Resultado Sistema Construtivo IV

PAREDES EXTERNAS					
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR	
	térmica (U)	térmica (C)	15220-	15575-	
	W/(m².K)	$kJ/(m^2.K)$	3:2005	4:2013	
SIST. CONST. IV	2,79 não é ≤ 2,5	256,44 > 130	Não atende ao	s critérios da	
	2,19 Hau e \(\sigma\)	230, 44 <u>2</u> 130	norma.		

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado não atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 2,79

 $W/(m^2.K)$, o qual não é $\leq 2,5$ $W/(m^2.K)$ como especificado em norma. Verifica-se que na capacidade térmica, o valor encontrado no resultado foi de 256,44 kJ/($m^2.K$) é ≥ 130 kJ/($m^2.K$) conforme é especificado em norma, mas quando um dos dois parâmetros analisados não atende a norma, o sistema construtivo é considerado rejeitado. Foram testados os blocos de concreto em todos as dimensões disponíveis no mercado, e como resultado final das avaliações, constatou-se que a alvenaria em bloco de concreto não apresentou desempenho térmico mínimo.

Neste caso, como foi rejeitado, a alternativa encontrada para adequá-lo à norma, foi substituir o bloco de concreto pelo bloco estrutural cerâmico de mesma dimensão.

A seguir, apresenta-se a análise da opção sugerida para melhorar o desempenho térmico de uma edificação concebida em bloco de concreto, realizando-se novamente os cálculos, para conferir se a alternativa era eficiente. A figura 16 caracteriza o bloco cerâmico utilizado como alternativa.

ALTERNATIVA I: Bloco estrutural cerâmico

Figura 16 – Bloco Cerâmico 14x19x39cm

Fonte: http://equipedeobra.pini.com.br (2015)

O cálculo da transmitância térmica e da capacidade térmica das paredes externas apresentase a seguir:

a) Características das paredes externas:

Bloco cerâmico rebocados em ambas as faces, assentados na direção de 14cm

Dimensões do bloco: 14x19x39cm

Espessura da argamassa de assentamento: 1cm

Espessura da argamassa de revestimento: 2,0cm

A Figura 17 apresenta as seções que foi dividida a parede para realização dos cálculos da alternativa I para o sistema construtivo IV.

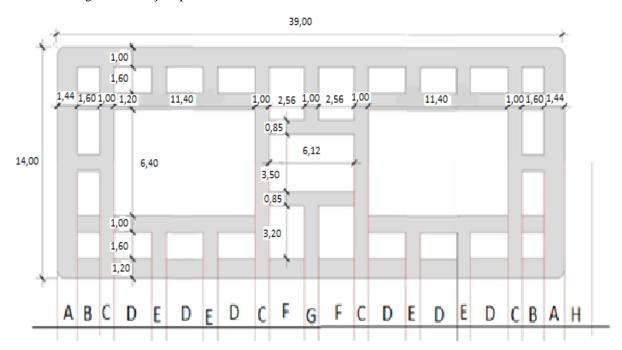


Figura 17 – Seções para Cálculo do Bloco Estrutural Cerâmico 14x19x39cm

Fonte: Autoria própria (2015)

b) Características dos materiais:

Cerâmica:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{cerâmica} = 0.90 \text{ W/(m.K)}$ ((Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Argamassa comum:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $\lambda_{argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

c_{argamassa} = 1,00 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

Rar =0,14, 0,16 e 0,17(m².K) W(Tabela B.1 superfície de alta emissividade, confome espessura da câmera de ar, fluxo horizontal, ABNT NBR 15220-2:2005)

c) Resistência térmica de cada seção:

Seção A (argamassa + cerâmica)

$$A_A = 0.0144 \times 0.19 = 0.002736 \text{m}^2$$

$$R_{tA} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.14}{0.90} = 0.1903 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção A = 0,1903 (m².K)/W

Seção B (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_B = 0.016x0.19 = 0.00304m^2$$

$$R_{tB} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + 2.Rar1 + 2.Rar2 = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.054}{0.90} + 2.0,14 + 2.0,16 = 0,6948$$

 $(m^2.K)/W$

Resistência térmica da seção B = $0,6948 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção C (argamassa + cerâmica)

$$A_C = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tC} = \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.14}{0.90} = 0.1903 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção C = 0, 1903 (m².K)/W

Seção D (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_D = 0.031 \times 0.19 = 0.00589 \text{m}^2$$

$$R_{t=\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + 2.\,Rar1 + Rar3 = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.44}{0.90} + 2.0,14 + 0.17 = 0.9737 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção $D = 0.9737 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção E (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_E = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tE=\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar3 = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,076}{0,90} + 0,17 = 0,2892 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção $E = 0,2892(m^2.K)/W$

Seção F (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_F = 0.0256 \times 0.19 = 0.004864 \text{m}^2$$

$$R_{tF=\frac{\textit{e}_{\textit{argamassa}}}{\lambda_{\textit{argamassa}}} + \frac{\textit{e}_{\textit{cerâmica}}}{\lambda_{\textit{cerâmica}}} + 3. \textit{Rar2} = \frac{0.04}{1.15} + \frac{0.040}{0.90} + 3.0, 16 = 0.5592 \; (m^2.K)/W$$

Resistência térmica da seção $F = 0.5592 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$

Seção G (argamassa + Ar + cerâmica)

$$A_G = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$$

$$R_{tG=}\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{cer\hat{a}mica}}{\lambda_{cer\hat{a}mica}} + Rar2 = \frac{0,04}{1,15} + \frac{0,105}{0,90} + 0,16 = 0,3114 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção G = 0,3114 (m².K)/W

Seção H (argamassa)

$$A_H = 0.01 \times 0.4 + 0.01 \times 0.19 = 0.0059 \text{m}^2$$

$$R_{tH=}\frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} = \frac{0,18}{1,15} = 0,1565 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

Resistência térmica da seção H = 0,1565 (m².K)/W

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Rt = \frac{(2.A_A) + (2.A_B) + (4.A_C) + (6.A_D) + (4.A_E) + (2.A_F) + (A_G) + (A_H)}{\frac{(2.A_A)}{R_A} + \frac{(2.A_B)}{R_B} + \frac{(4.A_C)}{R_C} + \frac{(6.A_D)}{R_D} + \frac{(4.A_E)}{R_E} + \frac{(2.A_F)}{R_F} + \frac{(A_G)}{R_G} + \frac{(A_H)}{R_H}} =$$

$$\frac{\frac{0,0054+0,0060+0,0076+0,03534+0,0076+0,0097+0,0019+0,0059}{\frac{0,0054}{0,1903}+\frac{0,0076}{0,1903}+\frac{0,0076}{0,1903}+\frac{0,0076}{0,9737}+\frac{0,0076}{0,2892}+\frac{0,0097}{0,5592}+\frac{0,0019}{0,3114}+\frac{0,0059}{0,1565}}{=0,3958 \text{ (m}^2.\text{K)/W}}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.04 + 0.3958 + 0.13 = 0.5658 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

Resistência total da parede (ambiente à ambiente) = 0,5658 m².K/W

Considerando o fluxo de calor na direção horizontal:

$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2.\text{K/W}$$
 (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2$$
.K/W (Tabela A.1 pg 10, ABNT NBR 15220-2:2005)

d) Transmitância térmica da parede:

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0.5658 m^2 K/W} = 1,76W/(m^2.K)$$

e) Capacidade térmica de cada seção:

Seção A (argamassa + cerâmica)

 $A_A = 0.0144 \times 0.19 = 0.002736 \text{m}^2$

 $C_{TA} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TA} = 0.04x1,00x2000+0.14x0,92x1600 = 286,08 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Seção B (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_B = 0.016x0.19 = 0.00304m^2$

 $C_{TB} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TB} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.054 \times 0.92 \times 1600 = 159.49 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção C (argamassa + cerâmica)

 $A_C = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$

 $C_{Tc} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TC} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.14 \times 1600 \times 0.92 = 286.08 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$

Seção D (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_D = 0.031 \times 0.19 = 0.00589 \text{m}^2$

$$C_{TD} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cer\hat{a}mica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TD} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.044 \times 1600 \times 0.92 = 144,77 \text{ kJ/(m}^2.\text{K})$

Seção E (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_E = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$

 $C_{TE} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TE} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.076 \times 1600 \times 0.92 = 191.87 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção F (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_F = 0.0256 \times 0.19 = 0.004864 \text{m}^2$

 $C_{TF} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TF} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.041 \times 1600 \times 0.92 = 140.35 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção G (argamassa + Ar + cerâmica)

 $A_G = 0.01 \times 0.19 = 0.0019 \text{m}^2$

 $C_{TG} = \sum e.c.\rho = (e.c.\rho)_{argamassa} + (e.c.\rho)_{cerâmica}$

Como:

 $\rho_{cerâmica} = 1600 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{cerâmica} = 0.92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

c_{argamassa} = 1,00 kJ/(kg.K) (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

 $C_{TG} = 0.04 \times 2000 \times 1.00 + 0.105 \times 1600 \times 0.92 = 234,56 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$

Seção H (argamassa)

$$A_{\rm H} = 0.01 \times 0.4 + 0.01 \times 0.19 = 0.0059 \text{m}^2$$

$$C_{TH} = \sum_{e.c.\rho} = (e.c.\rho)_{argamassa}$$

Como:

 $\rho_{argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)}$

 $c_{argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (Tabela B.3 pg 13, ABNT NBR 15220-2:2005)

$$C_{TH} = 0.18 \times 2000 \times 1.00 = 360 \text{ kJ/(m}^2.\text{K)}$$

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$Ct = \frac{(2.A_A) + (2.A_B) + (4.A_C) + (6.A_D) + (4.A_E) + (2.A_F) + (A_G) + (A_H)}{\frac{(2.A_A)}{Ct_A} + \frac{(2.A_B)}{Ct_B} + \frac{(4.A_C)}{Ct_C} + \frac{(6.A_D)}{Ct_D} + \frac{(4.A_E)}{Ct_E} + \frac{(2.A_F)}{Ct_F} + \frac{(A_G)}{Ct_G} + \frac{(A_H)}{Ct_H}} =$$

$$\frac{\frac{0,0054+0,0060+0,0076+0,03534+0,0076+0,0097+0,0019+0,0059}{\frac{0,0054}{286,08}+\frac{0,0076}{286,08}+\frac{0,0076}{286,08}+\frac{0,0076}{194,77}+\frac{0,0076}{191,87}+\frac{0,0097}{140,35}+\frac{0,0019}{234,56}+\frac{0,0059}{360}}{}=172,55~(m^2.K)/W$$

Análise da edificação:

Localização: Ijuí, RS: Zona Bioclimática 2 (Figura 1 pg 2 ABNT NBR 15220-3:2005)

Paredes externas:

- Zonas 1 e 2 U \leq 2,5W/m².K (Tabela 11 pg 28, ABNT NBR 15575-4:2013)
- Zonas 1 a 7 $C_T \ge 130 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}$ (Tabela 12 pg 29, ABNT NBR 15575-4:2013)

A Tabela 13 apresenta os resuldados dos cálculos da alternativa I testada para o sistema construtivo IV.

Tabela 13 – Resultado Solução Sistema Construtivo IV

PAREDES EXTERNAS						
	Transmitância	Capacidade	ABNT NBR	ABNT NBR		
	térmica (U)	térmica (C)	15220-3:2005	15575-4:2013		
	W/(m².K)	kJ/(m².K)				
SOLUÇÃO	1,76 ≤ 2,5	$172,55 \ge 130$	Atende aos critérios da norma			

Fonte: Autoria própria (2015)

Ficou verificado, a partir do resultado dos cálculos, que esse tipo de parede analisado atende aos critérios simplificados de transmitância térmica, pois o valor encontrado foi 1,76 W/(m².K), o qual é $\leq 2,5$ W/(m².K) especificado em norma. O mesmo verifica-se na capacidade térmica, onde o valor encontrado no resultado foi de 172,55 kJ/(m².K), o qual é ≥ 130 kJ/(m².K) conforme é especificado em norma .

Através dessas mudanças para adequação da norma, são apresentadas a variação de custos ocorrido em função desta adequação através dos custos unitários de serviços de construção civil apresentados pelo SINAPI.

As industrias de blocos de concreto relatam como vantagem em relação aos blocos cerâmicos que a massa fina pode ser aplicada diretamente nos blocos, por já ser um material de concreto, evitando assim os chapiscos e os rebocos tão utilizados nas obras, gerando ainda mais economia e qualidade na construção. Mas conforme PINI (2013), indica o chapisco, emboço e reboco como revestimento argamassado em blocos de concreto. Cita que o chapisco tem como função regularizar e proteger as paredes, além de servir de base para outros revestimentos. Explica que o primeiro passo é limpar bem a base e aplicar o chapisco em toda área, de forma a garantir a aderência do emboço.

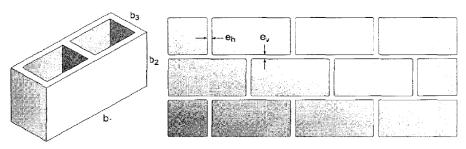
Assim, nesta análise comparativa entre os dois blocos, pelo fato da substituição ser de um bloco estrutural de concreto por um bloco estrutural cerâmico de mesma dimensão, com a mesma resistência, foi considerado o mesmo sistema construtivo, com o mesmo consumo de argamassa de assentamento e os mesmos revestimentos argamassados, com mesmo consumo.

A diferença encontrada entre os blocos é a perda, que decorre do transporte, anuseio, arremates e cortes, sendo que do bloco de concreto é 4% e do bloco cerâmico é 8% (MATTOS,2006).

Segundo Mattos (2006), o cálculo da quantidade de bloco por m², com dados conforme seções mostradas na Figura 18, é dado pela equação (1):

$$n = \frac{1}{(b1 + eh)x(b2 + ev)} = \tag{1}$$

Figura 18 – Quantidade de Bloco e Argamassa por m²



Fonte: Mattos (2006)

Bloco estrutural de concreto/cerâmico 14x19x39 direção 14 cm:

$$n = \frac{1}{(0,39+0,01)x(0,19+0,01)} = 12,5$$
 blocos/m² sem perdas

Com os valores retirados da tabela SINAPI de blocos com resistência de 6 MPA, temos os resultados por m² na Tabela 15, que segue abaixo.

A Tabela 14 apresenta o rendimento/m² dos dois tipos de blocos, considerando as perdas.

Tipo de blocoRendimento/m² sem perdas% PerdasPeças/m² com perdasBloco concreto12,54%13Bloco cerâmico12,58%13,5 = 14

Tabela 14 – Quantidade de Blocos por m² Considerando as Perdas

Fonte: Autoria própria (2015)

Com os valores retirados da tabela SINAPI de blocos com resistência de 6 MPA, temos os resultados por m² na Tabela 15, que segue abaixo.

Tabela 15– Valor por m² de Bloco de Concreto X Bloco Cerâmico

Tipo de parede	Unidade/valor	Rendimento (m²)	Total
Bloco estrutural de concreto	Peça/R\$2,68	13	R\$34,84
14x19x39 direção 14 cm 6 MPa			
Bloco estrutural cerâmico	Peça/R\$1,76	14	R\$24,64
14x19x39 direção 14 cm 6 MPa			

Fonte: Autoria própria (2015)

Como o consumo de argamassa de assentamento, e de revestimento foi considerado o mesmo, e a diferença de produtividade, entre um bloco e outro, desconsiderada, a solução é viável comparado o custo do bloco de concreto com o bloco cerâmico em relação a tabela SINAPI, pois além de se obter uma redução nos índices de transmitância térmica considerável, obtem-se uma redução de aproximadamente 30% do custo final do m² de alvenaria. Por isso a opção é classificada como viável.

Destacando que o preço unitário obtido é pela tabela SINAPI, ou seja, sem levar em conta o valor dos blocos com preço de mercado em Ijuí, lembrando que o frete não está incluso nesses valores, portanto a relação de economia pode mudar, dependendo da distância entre o local da obra e a localização da fábrica.

Ramos, (2002) nos diz que no caso da falta de projetos no momento do orçamento ou para permitir a comparação de alternativas, pode-se considerar estas medidas como estimativas, indicando este fato explicitamente no orçamento.

Ainda coloca, que outra forma de auxílio para um orçamento aproximado consiste na consideração da participação percentual média dos grandes itens no custo total, preferencialmente obtidos em obras similares anteriores. Os percentuais "normais" podem servir para estimar custos para etapas de projeto ainda não desenvolvidas ou para verificar outras etapas, identificando erros ou inconsistências destes projetos. Uma distribuição razoável é a apresentada na Tabela 16, adequada para prédios de apartamentos residenciais de padrão normal, com 8 a 12 pavimentos (RAMOS, 2002).

Tabela 16 – Participação Percentual Média dos Serviços em um Orçamento- Edificações de Padrão Normal, 8 a 12 pavimentos

	o a 12 pavimentos		
#	Item	%	
	Custos diretos		
1	Serviços preliminares		
2	Movimento de solo e fundações	3,50	
3	Estrutura	20,00	
4	Alvenaria	8,00	
5	Impermeabilizações	1,40	
6	5 Instalações elétricas e telefônicas		
7	7 Instalações hidráulicas, sanitárias, pluviais, de incêndio e de gás		
8	Aparelhos sanitários, louças, metais e acessórios	1,80	
9	Pisos e rodapés	6,00	
10	Esquadrias, vidros e ferragens	7,00	
11	Revestimentos de fachada	4,80	
12	Revestimentos internos, inclusive forros	3,30	
13	Pintura interna	2,00	
14	Pintura externa	1,50	
15	Elevador	1,80	
16	Cobertura	0,50	
17	Serviços complementares	2,00	
18	Paisagismo	0,40	
	Subtotal		80,00
	Custos de administração e indiretos		
1	Taxas e impostos	1,00	
2	Equipamentos	1,50	
3	Despesas indiretas	4,00	
4	Gerenciamento	5,50	
5	Lucro construção	7,00	
6	IR sobre lucro construção	1,00	
	Subtotal		20,00
	Total		100,00

Fonte: Ramos (2002)

Segundo a tabela, Ramos, (2002) considera o custo da alvenaria em 8% em relação ao total da obra, em edificações de padrão normal, de 8 a 12 pavimentos.

Considerando Souza (1998), a variação do custo da etapa alvenaria em relação ao total da obra fica entre 4% e 8%.

Analisando esses autores, foi considerado nessa dissertação, o gasto com alvenaria como sendo 8% do total da obra, por ser alvenaria estrutural. Assim, analisando a mudança de Sistema construtivo, tería-se uma redução de aproximadamente 3,2% no custo direto total da obra.

Para exemplificar, uma obra orçada em R\$1.000.000,00, o valor de R\$80.000,00 seria o custo da alvenaria estrutural com bloco de concreto, a qual teria uma redução de R\$32.000,00 se

executada com o bloco cerâmico de mesma dimensão, considerando valores obtidos na tabela SINAPI.

A grande questão que ronda a vigência da norma é com relação ao custo das edificações, se aumentará o valor da elaboração dos projetos, de execução e de venda. Importante analisar o ponto de vista do cliente, o quanto ele estará disposto a pagar para ter uma edificação com alto nível de desempenho. No entanto, é obrigação dos construtores oferecerem aos seus clientes, empreendimentos com um nível mínimo de desempenho, sem que o consumidor tenha que pagar mais por isso.

As construções que estamos acostumados a ver e nosso país não atingem nem o mínimo aceitável nos padrões internacionais. Para que haja essa adequação no patamar de qualidade é aceitável que o custo se eleve. No caso de empresas que já estão acostumadas a atender níveis mínimos de qualidade e desempenho em outros sistemas e componentes das suas edificações, o aumento no custo dos empreendimentos não será tão impactante.

O custo das edificações com alto nível de desempenho deve ser cuidadosamente analisado. Deve-se levar em conta que o custo total do imóvel é composto pelo custo da aquisição mais o custo de operação e manutenção. Nesse aspecto, o consumidor que optar por adquirir um empreendimento inicialmente mais caro e de alto nível de desempenho, poderá estar fazendo um investimento em longo prazo e de menor custo global, ou seja, estará adquirindo um imóvel com baixo custo de manutenção e longa vida útil.

Mas como verificou-se neste trabalho com os exemplo de cálculo apresentados, nem sempre o custo da edificação se eleva para adaptar-se às normas. Muitas vezes são simples questões de conhecimento sobre o assunto e estudo de um melhor sistema construtivo pra atender as exigências, sem elevar os custos.

Essa redução de custos pode ser ainda mais significativa, dependendo da porcentagem que a alvenaria representa no total de cada obra. Mascaró (1980) considera que na construção de conjuntos habitacionais de baixo custo, em edifícios de três ou quatro pavimentos, sem elevador, os acabamentos verticais e alvenaria chegam a custar em media, 24,20% do custo total do edifício.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou e comparou o desempenho térmico de diferentes alvenarias mais utilizadas em edificações em Ijuí. Atualmente, várias obras estão sendo executadas, algumas com alvenaria de vedação, sendo utilizados tijolos cerâmicos maciços e tijolos cerâmicos 6 furos, e outras com alvenaria estrutural executadas com dois tipos de blocos, o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico.

A metodologia utilizada com os cálculos mostrou resultados satisfatórios. Ao final das análises, percebe-se que os tijolos ou blocos confeccionados com material cerâmico apresentam melhor desempenho térmico em edificações em comparação com os de blocos de concreto e que dentre os cerâmicos, o tijolo furado apresenta resultados mais adequados do que o tijolo maciço, comparando com os valores citados na NBR 15575, para a zona bioclimática 2.

Verificadas as melhores alternativas para atender o desempenho térmico de edificações habitacionais, substituindo o tijolo maciço pelo furado, e o bloco de concreto pelo bloco cerâmico, foi evidenciado uma redução significativa no custo final da obra, considerando apenas a alvenaria, ficando em torno de 2% e 3%, como mostra os cálculos analisados no trabalho.

Conclui-se que para a adequação à norma de desempenho térmico em paredes de fachadas, os construtores podem ter vantagens em relação ao custo, bastando um projeto bem estruturado com conhecimento sobre as melhores alternativas de sistemas construtivos para se adequarem as normas. Deste modo, é necessária uma atenção especial à alvenaria estrutural com bloco de concreto, método construtivo tão utilizado, principalmente para as habitações de interesse social e programas habitacionais como o Minha Casa Minha Vida. A construção de edificações com esse método em tão grande escala preocupa, por sabermos por intermédio de análises específicas com relação ao seu desempenho térmico, que os níveis mínimos não são atendidos.

Espera-se com este trabalho, contribuir para uma melhoria do desempenho térmico de edificações realizadas, através da aplicação de materiais sugeridos, sendo estas soluções simples e que o mercado está habituado a utilizar.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar, juntamente com os sistemas construtivos, o desempenho térmico das coberturas das edificações.

Avaliar o desempenho térmico de outros sistemas construtivos.

Avaliar a variação do custo direto relacionada a diferentes alvenarias em face a norma brasileira 15.575, considerando o valor do comércio local dos insumos utilizados para essa adequação.

Avaliar a variação de custos direto e indireto, relacionada a diferentes alvenarias e tipos de cobertura em face a norma brasileira 15.575.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maria Henriqueta. 2011. Visão Setorial e Institucional da NBR 15.575 – Norma de Desempenho. 1° Fórum Mineiro de Discussão da Norma de Desempenho. Disponível em:<www.piniweb.com.br>. Acesso em 03 abril 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220** – **Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro, 2005. 66 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** — **Desempenho de Edificações Habitacionais.** Rio de Janeiro, 2013. 283 p.

AVILA, Antonio Victorino; LIBRELOTTO, Liziane Ilha; LOPES, Oscar Ciro. **Orçamento de Obras:** Construção civil. 1° Edição. Florianópolis, 2003. Disponível em: http://pet.ecv.ufsc.br/site/downloads/apoio_did%E1tico/ECV5307-%20Or%E7amento.pdf>. Acesso em: 10 abril 2015.

BLANCO, Mirian. **Porque atender à Norma de Desempenho.** 12 maio 2010. Construção / Gestão / Por que atender a norma de desempenho. Disponível em:<www.piniweb.com.br>. Acesso em 03 abril 2015.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **Projeto Norma de Desempenho.** São Paulo, EPUSP, 2006. 19 p.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes; SABBATINI, Fernando Henrique. – **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009. 21 p.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008.17 p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI** (**Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**). Disponível em: http://www.caixa.gov.br/ Acesso em: 02 maio 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Cartilha de Demanda Habitacional no Brasil. Caixa Econômica Federal, Brasília, 2012. 69 p.

CARDOSO, Roberto Sales. **Orçamento de obras em foco** – Um novo olhar sobre a engenharia de custos. São Paulo: Pini, 2009.520 p.

CBIC. Desempenho de Edificações habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.311 p.

COMO Construir na prática- Equipe de obra. Disponível em:http://equipedeobra.pini.com.br/equipe/assuntos/alvenaria>Acesso em: 05 out 2015.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo:. Studio Nobel, 1999. 242p.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras. São Leopoldo** – **RS.** 2008. 47f. Disponível em: http://www.engenhariaconcursos.com.br/arquivos/Planejamento/Nocoesdeorcamentoeplanejamento deobras.pdf>. Acesso em: 10 mai 2015.

ISO 7730/1994 – **Conforto Térmico**. Disponível em: http://www.abntnet.com.br/consultanacional>. Acesso em: 14 março 2015.

KAPPAUN, Kamila. **Avaliação do Desempenho Térmico em Edificações de Blocos Estruturais Cerâmicos e de Blocos Estruturais de Concreto para a Zona Bioclimática 2 Brasileira.** 2012. 125 f. Dissertação de Mestrado, Centro de Técnologia (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental -PPGEC), UFSM, Santa Maria, 2012.

LAMBERTS, Roberto. Conforto e Stress Térmico. Florianópolis: ufsc, 2008. 108 p.

LIMMER, Carl Vicente. **Planejamento, Orcamentação e Controle de Projetos e Obras**. 1º ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A, 1997. 228 p.

LINS, Fernanda Urban. **Análise de Alternativas para a Melhoria do Desempenho Térmico de Edifícios em Alvenaria Estrutural em Face a Norma Brasileira 15575.** 2012. 63 f. Monografia de Especialização, Departamento Acadêmico de Contrução Civil (Especialização em Gerenciamento de Obras), UTFPR, Curitiba, 2012.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras:** dicas para orçamentistas, estudo de caso, exemplos. São Paulo: Editora Pini, 2006.281 p.

MASCARÓ, Lucía R de; MASCARÓ, Juan Luis. – **A construção na Economia Nacional.** São Paulo: Editora Pini, 1980.112 p.

PINI. Construção Passo a Passo. São Paulo: Editora Pini, 2013. 260 p.

RAMOS, Ageu. **Incorporação Imobiliária - Roteiro para Avaliação de Projetos.** São Paulo: Editora Lettera, 2002. 242 p.

SANTOS, Joaquim Cesar Pizzutti dos. **Térmica Aplicada as Construções.** Santa Maria: UFSM, 2014. 40 p.

SHEBALJ, Vera Lúcia de Campos Corrêa. Nova Norma Técnica de Desempenho de Edificações entrará em vigor. Disponível em: http://www.itambeempresarial.com.br>. Acesso em: 23 abril 2015.

SILVA, Maria Angélica Covelo. Engenheria Civil, diretora da NGI Consultoria e Desenvolvimento, em São Paulo. NBR 15.575 impõe novos desafios para a construção civil. 23 março 2010. Disponível em:http://www.ngiconsultoria.com.br>. Acesso em: 05 maio 2015.

SOUZA, U. E. L. Produtividade e Custos dos Sistemas de Vedação Vertical. São Paulo, EPUSP-PCC, 1998.237 p.

VIVIAN, Dinara Cristina. Estudo Comparativo para Orçamentação de uma Residência Unifamiliar de Padrão Baixo. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, 2014.