

UNIVERSIDADE TIRADENTES
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

LUAN FONTES NASCIMENTO
RAYSA GUADALUPE MACIEL GERMANO

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO
SOB A ÓTICA DA NBR 15575/2013: UM ESTUDO DE
CASO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

ARACAJU

2018

LUAN FONTES NASCIMENTO
RAYSA GUADALUPE MACIEL GERMANO

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO
SOB A ÓTICA DA NBR 15575/2013: UM ESTUDO DE
CASO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**

Monografia apresentada à Universidade Tiradentes como um dos pré-requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº Esp. Igor Faro Dantas de Sant'Anna

ARACAJU

2018

LUAN FONTES NASCIMENTO
RAYSA GUADALUPE MACIEL GERMANO

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO SOB A ÓTICA
DA NBR 15575/2013: UM ESTUDO DE CASO EM HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL**

Monografia apresentada à
Universidade Tiradentes como um
dos pré-requisitos para a obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em 06/12/2018

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a): Prof.º Esp. Igor Faro Dantas de Sant'Anna
UNIT (UNIVERSIDADE TIRADENTES)

1º Examinador (a): Prof.ª Msc. Raquel Alves Cabral Silva
UNIT (UNIVERSIDADE TIRADENTES)

2º Examinador (a): Prof.ª Dr.ª Débora de Gois Santos
UFS (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE)

RESUMO

A NBR 15575 (ABNT, 2013) retrata o conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações, sendo que deve atender e cumprir as exigências dos usuários ao decorrer dos anos. Devido à evolução dos processos construtivos, houve a necessidade das construtoras se adaptarem às exigências relacionadas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Essa pesquisa teve como objetivo analisar requisitos de desempenho utilizados em unidades habitacionais de interesse social, comparando custos e a necessidade de alterações em documentos da qualidade. A metodologia fez um estudo de caso em duas obras, ambas da mesma empresa construtora, localizadas na região metropolitana de Aracaju, através de ensaio realizados em campo. Foram analisados os requisitos de segurança estrutural, desempenho térmico, desempenho acústico e conforto tátil e antropodinâmico no método construtivo parede de concreto moldado *in loco*; houve a análise de procedimentos de execução de serviço e ficha de verificação de serviços e dos custos diretos das obras. Os resultados mostraram que a construtora passa por processo de adaptação para se adequar à norma de desempenho. Foi possível verificar a mudança em procedimentos de execução e também nas fichas de verificação de serviços, e foi necessário sugerir mudanças no uso de materiais para atender a requisitos da norma de desempenho. Os custos da alteração desses materiais tornaram essas mudanças viáveis para a construtora.

Palavras-Chaves: Norma de desempenho; Desempenho Térmico; Desempenho Acústico; Segurança Estrutural.

ABSTRACT

The NBR 15575 (ABNT, 2013) portrays the concept of behavior in use of the components and systems of the buildings, and must meet and fulfill the requirements of users over the years. Due to the evolution of the construction processes, it was necessary for the builders to adapt to the requirements related to safety, habitability and sustainability. This research had as objective to analyze performance requirements used in housing units of social interest comparing costs and the need for changes in quality documents. The methodology made a case study in two construction in the metropolitan region of Aracaju, through field trials. The requirements of structural safety, thermal performance, acoustic performance and tactile and anthropodynamic comfort were analyzed; there was the analysis of service execution procedures and verification check of services and the direct costs of the construction. The results showed that the construction company undergoes an adaptation process to fit the performance standard. It was possible to verify the change in execution procedures and also in the service check sheets, and it was necessary to suggest changes in the use of materials to meet the requirements of the performance standard. The costs of altering these materials made these changes viable for the construction company.

Keywords: Performance standard; Thermal Performance; Acoustic Performance; Structural Safety.

LISTA DE SIGLAS

BDI (Benefício de despesas indiretas)
CIB (Conselho Internacional da Construção)
CTE (Código Técnico de Edificações)
Estado-limite de serviço (ELS)
Estado-limite último (ELU)
FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos)
IPT (Instituto de Pesquisas tecnológicas)
ORSE (Sistemas de orçamentos de obras de Sergipe)
PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e da Produtividade no Habitat)
Rede Temática PeBBu (*Performance Based Buildin, Construção Baseada no Desempenho*)
SFH (Sistema Financeiro da habitação)
SiAC (Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil)
SVVIE (Sistemas de vedação vertical interno e externo)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	29
Figura 2 – Estratégia para ventilação zona bioclimática 8.....	29
Figura 3 - Planta baixa do apartamento Obra A e Obra B.....	35
Figura 4 - Disposição dos apartamentos Obra A e Obra B.....	35
Figura 5 - Aplicação de esforços em protótipos.....	36
Figura 6 - Posicionamento dos pontos de aplicação das cargas e dos medidores de deslocamento.....	38
Figura 7 - Execução do ensaio de fora para dentro.....	38
Figura 8 - Aplicação da pré-carga.....	39
Figura 9 - Aplicação da carga de uso.....	39
Figura 10 - Aplicação da carga de segurança e posicionamento dos medidores de deslocamento.....	40
Figura 11 - Posicionamento das cargas e do dispositivo de medição.....	40
Figura 12 - Esquema de aplicação do ensaio.....	43
Figura 13 - Disposição dos apartamentos para o ensaio.....	44
Figura 14 - Planta esquemática do apartamento e indicação das orientações adotadas nas simulações para verão e inverno.....	53
Figura 15 - Esquadria antes do ensaio.....	54
Figura 16 - Esquadria após o ensaio.....	58
Figura 17 - Resultados da simulação computacional para o padrão da edificação.....	58
Figura 18 - Resultados da simulação para a ventilação.....	58
Figura 19 - Resultados da simulação para o Sombreado.....	59
Figura 20 - Resultados da simulação computacional para o sombreado + ventilação.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Disposição das esquadrias Obra B.....	44
Tabela 02 - Composição I de materiais, com suas características térmicas.....	60
Tabela 03 - Transmitância térmica para composição.....	60
Tabela 04 - Composição II de materiais e características térmicas.....	61
Tabela 05 - Transmitância térmica para a composição II.....	61
Tabela 06 - Custo por apartamento das Obras A e B.....	64
Tabela 07 - Custos atualizados dos apartamentos das Obra A e B.....	64
Tabela 08 - Levantamento de custos para a mudança de procedimento.....	65
Tabela 09 - Incidência da mudança de procedimento sobre o custo direto.....	65
Tabela 10 - Composição I de custos.....	66
Tabela 11 - Custo total da serviços da Composição I.....	66
Tabela 12 -Incidência da Composição I sobre o custo direto.....	67
Tabela 13 - Composição II de custos.....	67
Tabela 14 - Custo total da serviços da Composição II.....	67
Tabela 15 - Incidência dos custos sobre a composição II.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Critérios de desempenho.....	17
Quadro 02 - Elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público	21
Quadro 03 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e na fachada.....	22
Quadro 04 – Critérios e níveis de desempenho para impacto de copo mole em pisos.....	22
Quadro 05 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada.....	23
Quadro 06 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e da fachada.....	24
Quadro 07 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro em pisos.....	24
Quadro 08 Parâmetros para verificação de desempenho acústico.....	26
Quadro 09 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório.....	26
Quadro 10 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes.....	27
Quadro 11 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes.....	28
Quadro 12 – Absortância para radiação solar de algumas superfícies.....	32
Quadro 13 - Capacidade térmica de paredes externas.....	33
Quadro 14 - Disposição das esquadrias Obra B.....	33
Quadro 15 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	45
Quadro 16 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	46
Quadro 17 -Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para parede de concreto.....	47
Quadro 18 - Propriedade térmica dos materiais.....	47
Quadro 19 - Classificação das cidades de Sergipe quanto a Zona Bioclimática..	47
Quadro 20 - Valores para R_{si} e R_{se}	48
Quadro 21 – Leituras de deslocamento de fora para dentro.....	51
Quadro 22 – Resultado ensaio de fora para dentro.....	52
Quadro 23 – Leituras dos ensaios de dentro para fora.....	52
Quadro 24 – Resultados ensaio de dentro para fora.....	52
Quadro 25 – Resultados da deformação da carga de segurança.....	52
Quadro 26 – Resultados de esforço estático horizontal vertical.....	53
Quadro 27 – Resultados da diferença de nível padronizada de nível Ponderada a 2 metros da Fachada.....	53
Quadro 28 – Resultados da diferença padronizada de nível ponderada.....	55
Quadro 29 – Resultado para diferença de nível ponderada – Ruído aéreo de vedação horizontal.....	56
Quadro 30 – Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ($L'_{nT,w}$).....	57

Quadro 31 – Custo direto da Obra A.....	63
Quadro 32 – Custo Direto da Obra B.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Conceito de Desempenho	13
3.2 Histórico da Norma de Desempenho	13
3.3 A Norma de Desempenho no Brasil	14
3.4 Sistema de Vedações Verticais	18
3.5 Desempenho Estrutural	19
3.5.1 Impactos de corpo mole	20
3.5.2 Impactos de corpo duro.....	23
3.5.3 Ações atuantes em parapeitos e guarda-corpos.....	25
3.6 Desempenho Acústico	25
3.6.1 Níveis de ruído admitidos na habitação.....	26
3.7 Sistema de Pisos	27
3.8 Desempenho Térmico	28
3.8.1 Dados climáticos brasileiros	28
3.8.2 Transmitância térmica das paredes externas	32
3.8.3 Capacidade térmica das paredes externas	33
3.9 Conforto Tátil, Visual e Antropodinâmico	33
4 METODOLOGIA	34
4.1 Descrição do Objeto de Pesquisa	34
4.2 Procedimentos Metodológicos	36
4.2.1 Segurança estrutural	37
4.2.1.1 Esforço estático horizontal	37
4.2.1.2 Esforço estático vertical	40
4.2.1.3 Resistência a impactos	41
4.2.2 Ensaio acústico	41
4.2.3 Ensaio térmico	43

4.2.4 Conforto tátil, visual e Antropodinâmico.....	49
4.2.5 Análise de custos	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 Segurança Estrutural	51
5.1.1 Esforço estático horizontal	51
5.1.2 Esforço estático vertical	53
5.1.3 Resistência a impactos	53
5.2 Desempenho Acústico	54
5.3 Desempenho Térmico	57
5.4 Conforto Tátil, Visual e Antropodinâmico	62
5.5 Análise de Custos	62
5.5.1 Ensaio acústico	64
5.5.2 Ensaio térmico	65
6 CONCLUSÃO	69
7 REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE A – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS QUE PASSARAM POR REVISÃO PARA ATENDER A NORMA DE DESEMPENHO	73

1 INTRODUÇÃO

A Câmara Brasileira de Indústria e Comércio (2013) menciona que a ABNT NBR 15575 descreve o comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações, sendo que a edificação deve atender e cumprir as exigências dos usuários ao decorrer dos anos. O debate sobre o tema qualidade e desempenho acontece há mais de uma década, mas somente agora encontra ambiente adequado para o seu encaminhamento, com o crescimento do mercado da construção civil.

Em vigência desde 19 de julho de 2013, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece as exigências dos usuários como, por exemplo, segurança estrutural, desempenho térmico, desempenho acústico e utiliza-as como referência para o estabelecimento de requisitos e critérios. Dessa forma, as empresas construtoras precisam adaptar os seus procedimentos de forma que os empreendimentos executados atendam pelo menos aos critérios mínimos de desempenho estabelecidos. (SOUZA, 2017)

A NBR 15575 (ABNT, 2013) iniciou um processo de transformação não só das edificações, mas também na maneira de concebê-las e produzi-las, envolvendo toda a cadeia produtiva – empreendedores, construtores, projetistas, fabricantes, empreiteiras e usuários –, modificando seus respectivos processos e o processo de projeto como um todo. (OKAMOTO,2015)

Dessa forma, é preciso que sejam respondidos alguns questionamentos, tais como, qual o desempenho mínimo das construções e quais os padrões mínimos técnicos pelo tipo de empreendimento, que obrigatoriamente, precisam ser atendidos pelas construtoras. Além disso a análise de valor do custo do desempenho desejado e o quanto ele pode ser flexibilizado ou não, para as habitações populares, também é um assunto que precisa ser respondido. (BORGES, 2008)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar requisitos de desempenho utilizados em unidades habitacionais de interesse social comparando custos e a necessidade de alterações em documentos da qualidade, de acordo com a NBR 15575/2013.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar ensaios de desempenho realizados nas habitações e propor mudanças no método de execução ou no uso de materiais que atendam as solicitações NBR 15575/2013, quando necessário.
- Levantar custos dos ajustamentos nos procedimentos de execução de serviço (PES).
- Verificar alterações em Fichas de Verificação de Serviço (FVS) e procedimentos de execução de serviço (PES) para avaliação de atendimento a NBR 15575/2013.
- Verificar o impacto das mudanças solicitadas pela norma de desempenho no custo final do empreendimento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceito de Desempenho

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) define desempenho como “o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas”. Segundo o CBIC (2013a), “o desempenho da mesma edificação poderá variar de um local para o outro e de um ocupante para o outro (cuidados diferentes no uso e na manutenção, por exemplo). Ou seja, variará em função das condições de exposição.”

Desempenho pode ser compreendido como a edificação se comporta em um determinado período de tempo dentro de suas condições básicas de habitabilidade, a exemplo de segurança e higiene. Depende tanto dos cuidados com a utilização quanto das imposições dos usuários, com isso pode variar de indivíduo para indivíduo. Além disso, depende das condições a qual será construída, como temperatura, ações externas decorrentes da ocupação, entre outras. (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

De acordo com Blachere (1974) apud Borges e Sabbatini (2008), o conceito de desempenho pode ser compreendido como “comportamento em uso das construções ao longo da vida útil”.

3.2 Histórico da Norma de Desempenho

Para Borges (2008), em 1925 os Estados Unidos publicou um relatório denominado *Recommended Practices in the Preparation of Work Codes* (Práticas Recomendadas na Preparação de Códigos de Obras), anteriormente do tema desempenho ser estudado conceitualmente e de maneira elaborada. Já na década de 1970 o *United States Department of Housing and Urban Development* (Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos), ligado ao *National Institute of Standards* (NIST, Instituto Nacional de Padrões), apoiou o programa “*Operation Breakthrough*” (Operação Avanço), que tinha como principal

objetivo desenvolver critérios para projetos e para avaliação de sistemas inovadores voltados à construção de edificações. Devido a esse estudo, em 1977 foi publicado um documento com a definição de critérios de desempenho.

Na Europa, a preocupação com desempenho começou após a Segunda Guerra Mundial, onde a recuperação e reconstrução das cidades, devastadas pelo conflito, precisariam ser rápidas, de maneira que não reduzissem seu desempenho ao mesmo tempo em que técnicas antigas fossem aperfeiçoadas. Dessa forma, devido a inquietação na busca pela qualidade nas construções foi criado, o “*Conseil International du Bâtiment*” [sic] (CIB, Conselho Internacional da Construção) tendo como objetivo o intercâmbio de informações entre países, propagando suas pesquisas e sistemas inovadores (CORDOVIL, 2013).

No ano de 2000, a rede temática PeBBu (*Performance Based Building, Construção Baseada no Desempenho*) foi o maior e mais estruturado projeto com relação ao desempenho de edificações. Assim, a Comunidade Europeia, responsável pelo projeto de pesquisa, define temas e ações para aplicação de recursos, com o objetivo de promover o crescimento e o desenvolvimento tecnológico de empresas locais. O CIB comanda a rede temática PeBBu, com o objetivo de incentivar e simplificar a propagação e execução de construções com base no desempenho (BORGES, 2008).

3.3 A Norma de Desempenho no Brasil

De acordo com Azevedo e Andrade (1982) com a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH), que tinha como objetivo o direcionamento e comando do Sistema Financeiro da Habitação (SFH), houve um desenvolvimento na construção e compra de casas próprias, principalmente para famílias de baixa renda.

Ainda na década de 1980, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) realizou pesquisas para o BNH e para a Caixa Econômica Federal, que após a extinção do BNH foi a responsável pelo financiamento do projeto de avaliação de sistemas construtivos com base no conceito de desempenho (BORGES; SABBATINI, 2008)

A ISO *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização), através da ISO 6240:1984 [sic] "*Performance standards in building*" (Padrões de Desempenho na Construção) e da ISO 6241:1984 determinou requisitos de desempenho a serem seguidos nas edificações. Essas normas foram usadas como referência para elaboração da Norma Brasileira de Desempenho. (BORGES; SABBATINI, 2008)

Em 1987, houve a publicação da ISO 9001 "*Quality systems - Model for quality assurance in design / development, production, installation and servicing*" (Sistemas de Qualidade – Modelo para garantia de qualidade em projeto / desenvolvimento, produção, instalação e manutenção), que no contexto internacional possui grande contribuição devido às certificações de sistemas da qualidade e a busca de melhoria contínua, por meio de indicadores da qualidade. (CORDOVIL, 2013).

Ainda, de acordo com Cordovil (2013), no Brasil a velocidade de debate sobre a qualidade, não avançou na mesma forma que nos países desenvolvidos. Como parte do Programa Brasileiro da Qualidade e da Produtividade no Habitat (PBQP-H) foi criado, em 2000, pelo Governo Federal, o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil (SiAC). Houve uma sensível mobilização no segmento em 2005, onde instituições financeiras públicas e privadas que liberam recursos para construções filiou-se ao SiAC, que exigiu a implementação de sistemas de qualidade, de acordo com as suas normas.

No ano de 2000, a Caixa Econômica Federal juntamente com a financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), elaborou o projeto de pesquisa "Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações", projeto esse que possuía objetivo de desenvolver um conjunto de normas técnicas – normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (BORGES, 2008)

A primeira edição da NBR 15575 (ABNT,2013) foi disponibilizada em 2007 para consulta pública, tendo em vista que seria publicada em 2008. No entanto, devido a correções e aprimoramentos, sua publicação foi prorrogada. A Norma de Desempenho apresentou publicações reconhecidas internacionalmente como princípio para alguns de seus temas que ajudam a definir critérios para a produção da construção civil (AsBEA, 2013).

A norma de desempenho estabeleceu parâmetros técnicos de avaliação de desempenho mínimo das edificações e a definir uma vida útil mínima obrigatória para alguns itens da construção. Intitulada Desempenho de Edificações Habitacionais até

Cinco Pavimentos, possui o objetivo de criar um procedimento para a avaliação de sistemas construtores inovadores. (SANTOS, 2015)

A primeira versão da norma surpreendeu às empresas, pois estabeleceu dificuldades aos construtores, projetistas e à indústria de materiais para se adequarem aos requisitos, apresentados no documento, alguns inéditos. As principais entidades conseguiram estender o prazo de exigibilidade da NBR 15575, período em que os comitês técnicos reavaliaram as lacunas e atualizaram os métodos de avaliação de desempenho, e os fabricantes se mobilizaram para adequar seus produtos e processos de fabricação às novas exigências da nova norma. (Desempenho Revisado, 2012)

Com relação ao Manual de Uso, operação e manutenção das edificações (CBIC, 2013b), ressalta que devem ser elaborados manuais do proprietário e da área comum, tendo como base as normas ABNT NBR 5674 (Manutenção de edificações – Procedimento) e ABNT NBR 14037 (Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação), tais normas apresentam orientações dos manuais e gestão de manutenção da edificação juntamente com a ABNT NBR 15575 que estabelece os níveis de desempenho, sugestão de prazos e salienta o correto uso e manutenção do imóvel.

Conforme o CBIC (2013b), o uso de Termos de Garantias desde o lançamento do empreendimento, oferece uma segurança na relação cliente, incorporadores e construtores, deixando explícito desde a venda do imóvel os direitos e obrigações de todos. É sugerido que sejam realizadas minutas do Manual do proprietário, das áreas comuns e do modelo do programa de manutenção preventiva desde a concepção do empreendimento.

Ainda segundo o CBIC (2013b), as orientações para o correto uso e manutenção da edificação, o Termo de Garantia pode ser registrado em cartórios juntamente com Manual de Incorporação. Documentos esses, citados no contrato de compra e venda que devem ser entregues ao cliente em sua assinatura.

Almeida (2015) relata que o Registro do Memorial de Incorporação no cartório de Registro de Imóveis é o primeiro passo a ser tomado pela incorporadora para iniciar a venda de imóveis na planta. Após o registro, fica autorizada a venda das unidades, devendo conter no anúncios e contratos atentando o número de registro do imóvel.

O registro de incorporação define características da futura edificação, garante ao consumidor que o projeto está aprovado, o terreno no qual

será construído não apresenta impedimentos e preenche requisitos legais para tal, assegurando direitos tanto do incorporador, quanto do adquirente. Enfim assegura a regularidade jurídica do empreendimento (ALMEIDA, 2015, p.2).

Em 19 de fevereiro de 2013, a ABNT publicou a NBR 15575 – “Edificações habitacionais- Desempenho” com o objetivo de promover a garantia do atendimento às exigências dos usuários de edificações habitacionais independente de seus portes e características (CORDOVIL, 2013).

O conceito de norma de desempenho pode ser entendido 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, 2013a, p.30).

A NBR 15575 (ABNT, 2013a, p.6) define que critérios de desempenho são “especificações quantitativas dos requisitos de desempenhos, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados”. Os requisitos de desempenho são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos dos usuários”.

De acordo com Possan e Demoliner (2013), a NBR 15575-1 estabelece 12 critérios de desempenho (Quadro 1) que são baseados na ISO 6241:1984 “*Performance standards in building*” (Padrões de Desempenho na Construção) aplicado a edifícios habitacionais e adaptados para a realidade brasileira.

Itens	ISO 6241 (1984)	NBR 15575 (2013a)
1	Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas	Desempenho estrutural
2	Resistência ao fogo	Segurança contra incêndio
3	Resistência à utilização	Segurança no uso e na operação
4	Estanqueidade	Estanqueidade
5	Conforto higrotérmico	Desempenho Térmico
6	Conforto Acústico	Desempenho Acústico
7	Conforto Visual	Desempenho Lumínico
8	Durabilidade	Durabilidade e manutenibilidade
9	Higiene e qualidade do ar	Saúde, Higiene e qualidade do ar Adequação Ambiental

11	Conforto tátil e Conforto antropométrico	Funcionalidade e acessibilidade Conforto tátil e Antropodinâmico
12	Custos	

Quadro 1 - Critérios de desempenho

Fonte: Adaptado de Possan e Demoliner, 2013.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) foi redigida segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Portanto, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, aparece a sequência de Requisitos de Desempenho e respectivos métodos de avaliação (CBIC, 2013a).

A NBR 15575 (ABNT, 2013), 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 antropodinâmico) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental), divididos em seis partes, a saber (CBIC, 2013a):

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

3.4 Sistema de Vedações Verticais

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013d), as vedações verticais exercem funções como estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de fixação de peças suspensa e de suporte a esforços de uso, além da compartimentação em casos

de incêndio, entre outras. É capaz também de se relacionar com demais componentes, elementos e sistemas da edificação, no caso de caixilhos, esquadrias, estruturas, coberturas, pisos e instalações.

Conforme NBR 15575 (ABNT, 2013d) quando sem função estrutural, elas ainda podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas ou até sofrer ações resultantes das alterações das estruturas, solicitando com isso uma análise conjunta do desempenho dos elementos que interagem.

As vedações podem apresentar função estrutural, devendo atender a parte 2 da norma de desempenho.

3.5 Desempenho Estrutural

Para Mitidiere Filho e Souza (1994), a avaliação de desempenho estrutural deve prever o comportamento do edifício, componentes e instalação, quando submetidas a condições normais de exposição e avaliar se tal comportamento atende as exigências do usuário.

A NBR 15575 (ABNT, 2013b, p. 4) define estado-limite último (ELU) como o “estado crítico em que os Sistemas de vedação vertical interno e externo (SVVIE) não mais atende aos critérios de desempenho relativos à segurança”, é o momento em que acontece uma queda nos níveis de segurança, com risco de colapso ou ruína.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b), o estado-limite de serviço (ELS) é “o estado de solicitação do SVVIE a partir da qual começam a ser prejudicada a funcionalidade, a utilização e/ou durabilidade do sistema” quando ocorre deslocamentos além dos limites preestabelecidos, ocasionando aparecimentos de fissuras ou outras falhas.

O CBIC (2013a), diz que conforme as diversas condições de exposição (peso próprio, sobrecargas de utilização, ação do vento e outras) a estrutura deve atender, durante a vida útil de projeto aos seguintes requisitos:

- Não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;

- Prover segurança aos usuários sob ação de impactos, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- Não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal requisito atendido caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos na Norma;
- Não repercutir em estados inaceitáveis de fissuras de vedações e acabamentos;
- Não prejudicar a manobra normal de partes móveis, tais como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento anormal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;
- Atender às disposições das normas NBR 5629 (Execução de tirantes ancorados no terreno) e NBR 6122 (Projeto e execução de fundações).

A norma de desempenho define ensaios para a garantia do atendimento das exigências gerais da segurança e utilização.

3.5.1 Impactos de corpo mole

A NBR 15575 (ABNT, 2013b) define impactos de corpo mole como aqueles que reproduzem choques acidentais gerados pela utilização da edificação, atos de vandalismo, tentativas de intrusão. As maiores energias são atribuídas ao estado-limite último (impactos de segurança), sendo expressas em Joules ($1J = N.m$ ou $1J = kgj \times dm$).

Para a NBR 15575 (ABNT, 2013b), os componentes da estrutura sob a ação de impactos de corpo mole não podem:

- Sofrer ruptura ou instabilidade sob as energias de impacto, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, escamações, de laminações e outros danos em impactos de segurança, respeitados os limites para deformações instantâneas e residuais dos componentes;

- Causar danos a outros componentes acoplados aos componentes sob ensaio.

De acordo com os critérios incluídos na NBR 15575, foi estabelecido um patamar mínimo (M) de desempenho, que deve ser obrigatoriamente atingidos pelos diferentes elementos e sistemas de construção. Para alguns critérios são indicados outros dois níveis de desempenho, Intermediário (I) e superior (I), sem caráter obrigatório (CBIC, 2013a). Os quadros 2, 3 e 4 amostam os critérios de desempenho.

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	Nível de desempenho		
		M	I	S
960	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)		✓	✓
720	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas			✓
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓	✓	
480	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas		✓	✓
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓		
360	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamento vertical $d_v \leq L/300$; $d_{vr} \leq L/900$		✓	✓
360	Não ocorrência de falhas	✓		
240	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamento vertical $d_v \leq L/300$; $d_{vr} \leq L/900$	✓	✓	✓
120	Não ocorrência de falhas	✓	✓	✓

Quadro 02 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público – Impacto de corpo mole na face externa (de fora para dentro)

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	Nível de desempenho		
		M	I	S
480	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)			✓
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)		✓	
360	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)			✓
360	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓	✓	
240	Não ocorrência de falhas Limitação do deslocamento horizontal: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 000$ para pilares, sendo h a altura do pilar $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga		✓	✓
240	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓		
180	Não ocorrência de falhas	✓	✓	✓
120	Não ocorrência de falhas Limitação do deslocamento horizontal: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 250$ para pilares, sendo h a altura do pilar $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga	✓	✓	✓

Quadro 03 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e na fachada – Impacto de Corpo mole na face interna (dentro para fora).

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b)

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	Nível de desempenho		
		M	I	S
960	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)		✓	✓
720	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas			✓
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓	✓	
480	Não ocorrência de ruína Não ocorrência de falhas		✓	✓
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)	✓		
360	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamento vertical $d_v \leq L/300$; $d_{vr} \leq L/900$		✓	✓
360	Não ocorrência de falhas	✓		
240	Não ocorrência de falhas Limitação de deslocamento vertical $d_v \leq L/300$; $d_{vr} \leq L/900$	✓	✓	✓
120	Não ocorrência de falhas	✓	✓	✓

Quadro 04 – Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo mole em pisos.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b)

Assim como, a necessidade da execução do ensaio de corpo mole, é também definido em norma a verificação para impactos de corpo duro.

3.5.2 Impactos de corpo duro

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b) os impactos de corpo duro são classificados como choques acidentais gerados pela própria utilização da edificação, atos de vandalismos e outros. Para impactos de utilização são usadas esferas de aço com diâmetro 5cm/ massa de 5N, e para impactos de segurança esferas com diâmetro 6,25cm/ massa de 10 N (CBIC, 2013a).

A NBR 15575 (ABNT, 2013b), ressalta que sob a ação de impactos de corpo duros os componentes estruturais não podem:

- Sofrer ruptura ou traspassamento sob qualquer energia de impacto, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança.

Os quadros 05, 06 e 07 apresentam os critérios de desempenho.

Energia de impacto ^{a)} de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
3,75	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade	M
20	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da moosa: $p \leq 5$ mm	I
20	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da moosa: $p \leq 2$ mm	S
20	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	

^{a)} Sentido do impacto de fora para dentro.

Quadro 05 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada da edificação e nas faces externas acessíveis ao público.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b)

Energia de impacto ^{a)} de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
2,5	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade	M
10	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moossa: $p \leq 5$ mm	I
10	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moossa: $p \leq 2$ mm	S
10	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	

^{a)} Sentido do impacto de dentro para fora, aplicado na face interna.

Quadro 06 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e da fachada.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b)

Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
5	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade	M
30	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moossa: $p \leq 5$ mm	I
30	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	
5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moossa: $p \leq 2$ mm	S
30	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações	

Quadro 07 - Critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro em pisos.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013b)

Definido os ensaios gerados pela própria utilização da edificação, a norma de desempenho 15575-4 (ABNT,2013), no requisito 7.7, aborda as cargas de ocupação incidentes em guarda-corpo e parapeitos de janelas.

3.5.3 Ações atuantes em parapeitos e guarda-corpos

Para o CBIC (2013a), parapeitos e janelas devem atender as solicitações mecânicas para paredes que não possuem aberturas de portas ou janelas, incluindo impactos de corpo mole e duro. Já os parapeitos e guarda-corpos situados em terraços, varandas, escadas, coberturas acessíveis, devem atender a NBR 14718 com relação à altura, distanciamento máximo entre montantes e todas as demais posições previstas. A seguir seguem solicitações mecânicas:

- Esforço estático horizontal;
- Esforço estático vertical;
- Impacto de corpo mole

Além dos requisitos citados acima, observa-se também os critérios em relação às paredes que sofrem a ação de cargas devido às peças suspensas.

3.6 Desempenho Acústico

De acordo com NBR 15575 (ABNT, 2013d) verifica-se entre unidades autônomas e dependências de uma unidade e áreas comuns, os requisitos e critérios para o isolamento acústico entre o meio externo e o interno. Os métodos existentes para a verificação são o método de precisão (realizado em laboratório), método de engenharia (realizado em campo) e o método simplificado de campo.

O método de precisão estabelece a isolação sonora de componentes e elementos construtivos, tais como porta, janela, parede, dentre outros. Já o método de engenharia divide-se em sistema de vedação vertical externa (fachadas) e sistema de vedação vertical interna (paredes internas) NBR 15575 (ABNT, 2013d).

Por fim, o método simplificado, é usado onde se permite alcançar uma estimativa do isolamento sonoro global em ocasiões que não se dispõe de instrumentação indispensável para medir o tempo de reverberação ou quando as

condições de ruído de fundo não possibilitam obter este parâmetro. NBR 15575 (ABNT, 2013d)

No quadro 08 observa-se os parâmetros acústicos de verificação para isolamento sonora definidos na NBR 15575 (ABNT, 2013d).

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados

Quadro 08 - Parâmetros para verificação de desempenho acústico.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013d)

3.6.1 Níveis de ruído admitidos na habitação

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013d), para vedações externas, a diferença padronizada de nível ponderada, realizada em ensaio de campo prevê valores mínimos que são indicados no quadro 09.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30
<p>Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.</p> <p>Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos</p>		

Quadro 09 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013d)

Já para vedações internas, a diferença padronizada de nível ponderada, realizada em ensaio de campo, prevê valores de desempenho mínimo que são indicados no quadro 10.

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Quadro 10 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013d).

3.7 Sistema de Pisos

Para coberturas acessíveis posicionadas sobre unidades autônomas e entre pisos que separam unidades autônomas, deve ser verificado além da isolação ao som aéreo, o isolamento de ruídos de impactos. O método de avaliação é descrito na norma ISO 140-7 (CBIC, 2013a).

A NBR 15575 (ABNT, 2013c) define os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas. São considerados o isolamento do ruído de impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros).

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	≤80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤55

Quadro 11 - Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013c)

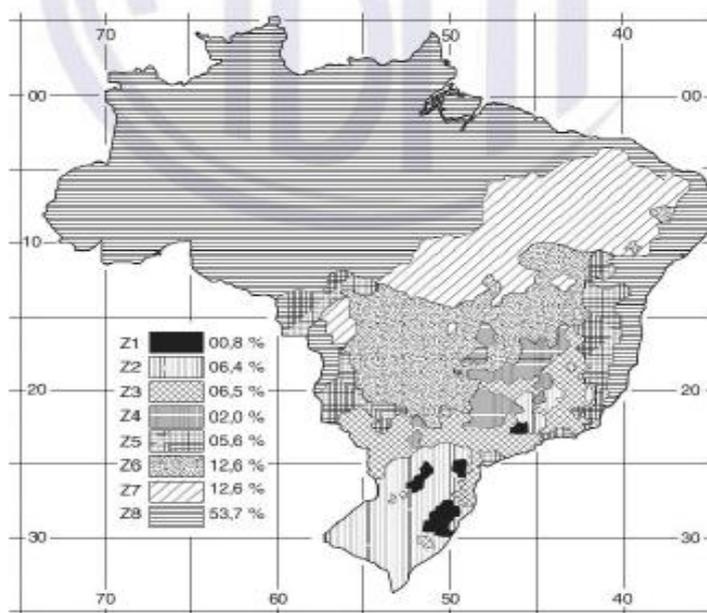
3.8 Desempenho Térmico

A NBR 15575 (ABNT, 2013d) apresenta requisitos e critérios de avaliação para verificação de níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, de acordo com o que é definido nas partes 1 a 5 da ABNT NBR 15220

3.8.1 Dados climáticos brasileiros

A NBR 15220 (ABNT, 2005c) define os parâmetros e as condições as quais caracterizam cada zona Bioclimática Brasileira, tais como o tamanho das aberturas para ventilação, assim como a proteção da mesma e também o tipo de parede externa e de cobertura e as estratégias de condicionamento térmico passivo.

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: NBR 15575 (ABNT,2013a)

Figura 2- Estratégia para ventilação zona bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15220 (ABNT,2005c)

Para avaliação do desempenho térmico é preciso conhecer o zoneamento climático brasileiro, que é dividido em oito zonas. Na NBR 15220 (ABNT, 2005C) observa-se a classificação de 330 cidades quanto o clima.

Todos os critérios de desempenho foram estabelecidos com base em condições naturais de insolação, ventilação e outras. O desempenho térmico depende de várias características do local da obra (topografia, temperatura e umidade do ar, direção do vento, etc.) e da edificação (materiais constituintes, números de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé-direito, orientação das fachadas, etc.) (CBIC, 2013a)

Ainda conforme o CBIC (2013a), a sensação de conforto térmico depende muito das condições de ventilação dos ambientes e dimensões das aberturas de janelas.

A avaliação de desempenho térmico pode ser realizada na fase de projeto ou depois da construção. Na fase de projeto é efetuada através de simulação

computacional ou da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas. Quando feita após a construção da edificação, ela se realiza por meio de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho. NBR 15220 (ABNT, 2005c)

A NBR 15575 (ABNT, 2013) esclarece que a avaliação térmica pode ser realizada de diferentes formas:

- a) Procedimento 1 A – Simplificado (normativo): Verifica-se 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 e das coberturas.
- b) Procedimento 1 B – Simulação por Software Energy Plus – Quando os valores obtidos para a transmitância térmica e/ou capacidade térmica se mostrarem insatisfatórios frente aos critérios estabelecidos nas partes 4 e 5 na norma NBR 15575.

Para edificações em fase de projeto a NBR 15575 (ABNT, 2013a) estabelecem:

1. Nas Zonas Bioclimáticas 1 a 5, a avaliação é feita para os dias climáticos típicos de inverno e verão. Para as Zonas 6,7 e 8 é dispensada a avaliação de inverno.
2. Para conjuntos habitacionais ou edifícios multipisos, selecionar unidades habitacionais representativas conforme estabelecido:
 - a) Conjunto habitacional de edificações térreas: selecionar uma unidade habitacional com o maior número de paredes expostas;
 - b) Edifício multipiso: selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta.
3. Simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas.
4. Na entrada de dados, considerar que os recintos adjacentes, de outras unidades habitacionais, separados, portanto, por paredes de geminação ou entrepisos, apresentam a mesma condição térmica do ambiente que está sendo simulado.

5. Orientações das unidades habitacionais: a unidade habitacional escolhida para a simulação deve ser tal que haja pelo menos um dormitório ou sala com duas paredes expostas. As paredes expostas deste recinto devem ter, preferencialmente, orientação tal que:
 - a) Verão: janela do dormitório ou sala voltada para leste e outra parede exposta voltada para norte;
 - b) Inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada pra o Sul e outra parede exposta voltada para leste;
 - c) Obstrução por elementos externos: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas.
6. Adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 ren/h e considerar a janela não sombreada, exceto se a edificação apresentar dispositivo de sombreamento externo que deve ser considerado na simulação;
7. A absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, conforme orientações a seguir:
 - a) cobertura: valor especificado no projeto, correspondente, portanto, ao material declarado para o telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura;
 - b) parede: assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto.
8. O edifício que não atender aos critérios estabelecidos para o verão deve apresentar obrigatoriamente modificações no projeto para aumentar o sombreamento das janelas e/ou a taxa de ventilação dos ambientes e pode ser então avaliado considerando-se estas novas condições, limitadas a: ventilação do ambiente de, no máximo, 5 ren/h e janela sombreada com dispositivo capaz de cortar, no máximo, 50% da radiação total que entraria pela janela.

Considerando a zona climática bioclimática indicada na NBR 15220 (ABNT, 2005c), a edificação habitacional deve agregar características que obedeçam às exigências de desempenho térmico.

Quanto à simulação computacional a NBR 15575 (ABNT, 2013a) define que é preciso utilizar dados climáticos equivalentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno. Recomenda-se empregar os dados de uma cidade mais próxima na ausência de informações da cidade onde se localiza a habitação. Por fim, recomenda-se evitar esse método quando não se encontra nenhum município com características semelhantes.

3.8.2 Transmitância térmica das paredes externas

Na NBR 15575 (ABNT, 2103d), a transmitância térmica está inserida no requisito adequação de paredes externas. Os valores máximos para a transmitância térmica (U) das paredes externas são apresentados no quadro 12:

Transmitância Térmica U		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Quadro 12 - Transmitância térmica de paredes externas.

Fonte: NBR 15575 (ABNT,2013d)

A absorptância que é a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela radiação incidente sobre esta mesma superfície é definida de acordo com o tipo de pintura, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005b). O Quadro 13 define os valores para a absorptância:

Tipo de superfície		α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Calação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Quadro 13 – Absortância para radiação solar de algumas superfícies.

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b)

3.8.3 Capacidade térmica das paredes externas

Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013d) estão apresentados no Quadro 14.

Capacidade térmica (CT)	
$\text{kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Quadro 14 - Capacidade térmica de paredes externas.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013d)

3.9 Conforto tátil, visual e Antropodinâmico

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013c) o valor atribuído pelos usuários de uma habitação ao ambiente construído não se limita a uma análise puramente funcional,

ou seja, ao atendimento de requisitos funcionais. Ele também é influenciado pela percepção estética dos usuários.

Com base nos princípios de ergonomia, na estatura média das pessoas e na força física passível de ser aplicada por adultos e crianças é que devem ser desenvolvidos os componentes e equipamentos da construção. A NBR 15575 (ABNT, 2013a) estabelece critérios e de desempenho recomendado a forma e limitando a fora necessária para o acionamento de trincos, torneiras e outros dispositivos. Estabelece ainda a planicidade requerida para pisos (CBIC, 2013a).

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição do Objeto de Pesquisa

O estudo de caso foi realizado em obras da Jotanunes Construtora, empresa de grande porte que atua nos estados da Bahia, Pernambuco e Sergipe. Os empreendimentos são do tipo residencial multifamiliar. O Villa Jardins Mais Viver condomínio Clube, designado Obra A, fica situado no Conjunto Marcos Freire, na cidade de Nossa Senhora do Socorro/SE. Já o Entre Rios Mais Viver, designada Obra B, fica situada no Conjunto Fernando Collor, Também em Nossa Senhora do Socorro/SE.

A obra A consiste na produção de 18 blocos com 16 apartamentos cada, totalizando 288 unidades com 41,20 m² de área construída. O apartamento tipo é composto por: sala, hall, W.C social, 02 quartos, cozinha e área de serviço. As áreas comuns são constituídas por: guarita de segurança com W.C, casa de lixo, casa de gás, salão de festas com copa/ bar, depósito e W.C, clube composto por deck, piscina (adulto/infantil), chuveiro, passeios e ruas.

A obra B possui um terreno com uma área total de 41.739,12 m² e área total construída de 36.151,65 m². Composta por 44 blocos cada qual com 4 apartamentos por pavimento totalizando 704, onde cada apartamento possui uma área privativa de 41,20 m². As unidades habitacionais possuem 2 quartos, sala de estar/jantar,

cozinha/área de serviço e banheiro social. Os apartamentos são dispostos de maneira espelhada. O condomínio é composto por uma área de lazer ampla com academia ao ar livre, espaço *fitness*, parque infantil, piscina infantil e adulto, quadra poliesportiva, salão de festas, churrasqueira e quiosques.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram o empreendimento e o apartamento.

Figura 3 - Empreendimento B vista área



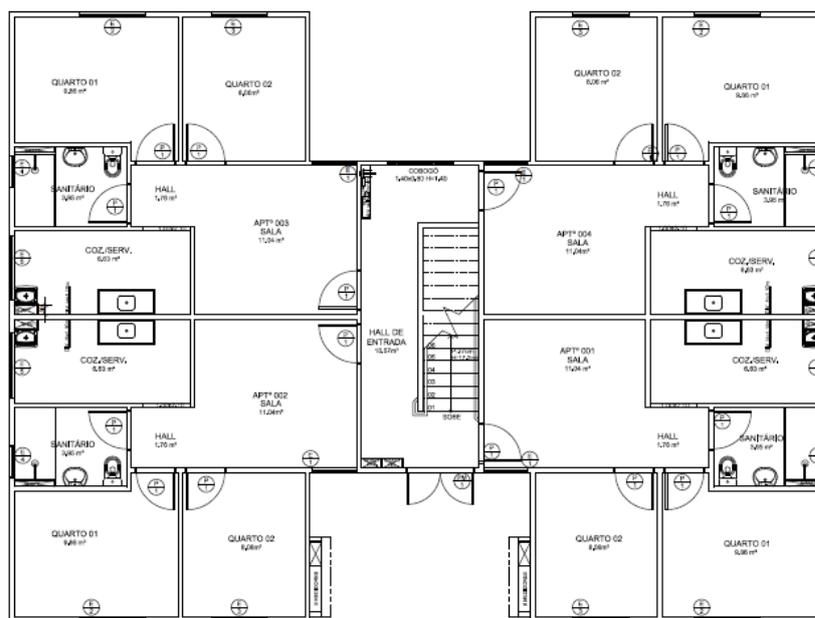
Fonte: Jotanunes, 2018.

Figura 4 - Planta baixa do apartamento Obra A e Obra B



Fonte: Jotanunes, 2018.

Figura 5 - Disposição dos apartamentos Obra A e Obra B



Fonte: Jotanunes, 2018.

O sistema construtivo dos empreendimentos foi de parede de concreto moldada *in loco*, com espessuras das paredes internas e externas de 10 cm.

4.2 Procedimentos Metodológicos

Na obra A foi realizada pela empresa construtora, uma avaliação de desempenho térmico com base na NBR 15220 (ABNT, 2005B) - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, NBR 15220 (ABNT, 2005c) - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social e ABNT (2008) NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (Partes 1 a 6).

Na obra B foram, pela empresa construtora, realizados ensaios de desempenho acústico tendo como referência NBR 15575 (ABNT, 2013c) (Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos – SVVIE) e NBR 15575 (ABNT, 2013d) (Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para

os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE). Além do desempenho acústico, foi feito o ensaio de parapeito de esquadrias com base na ABNT NBR 14718 (Guarda-corpo para edificação).

Com esses ensaios foram feitas comparações da adaptação da Obra A e da Obra B com norma de desempenho para os tópicos em análise (ABNT NBR 15575), levando em consideração os custos da obra, a necessidade de mudança de procedimentos de execução, fichas de verificação de serviços e troca de materiais que atendessem a critérios estabelecidos pelas normas.

4.2.1 Segurança estrutural

No ensaio de parapeito de esquadrias foram analisados os resultados dos ensaios de esforço estático horizontal, esforço estático vertical e resistência a impactos no protótipo segundo a sequência, conforme a NBR 14718. Todos os ensaios solicitados pela construtora.

As esquadrias avaliadas são utilizadas para fechamento de áreas privativas e compostas por estruturas de alumínio ancorados diretamente na parede de concreto através de buchas e parafusos. A janela de correr com bandeiras (superior e inferior) é composta por duas folhas de móveis, a mesma possui 0,95 m de comprimento. Foi necessário retirar as folhas da esquadria para a realização do ensaio.

4.2.1.1 Esforço estático horizontal

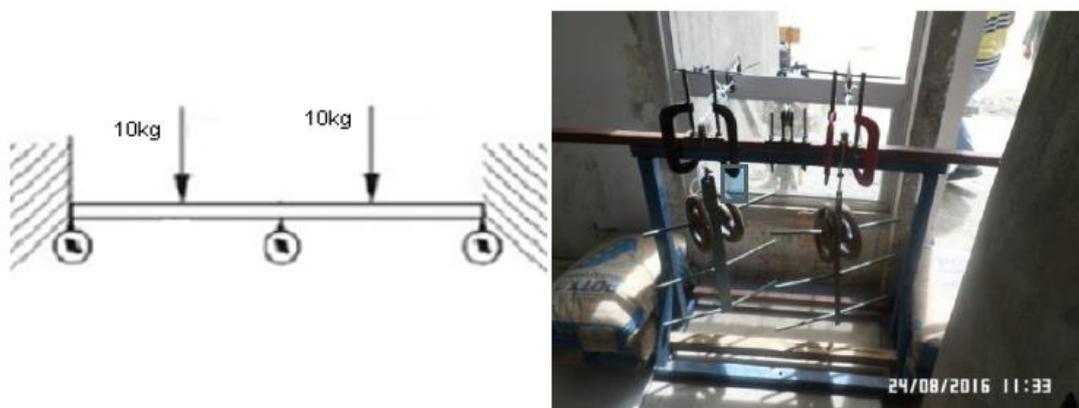
Inicialmente foram realizados esforços de fora para dentro e na sequência esforços de dentro para fora. Antes da aplicação da carga foram posicionados três medidores de deslocamento linear.

A NBR 14718 (ABNT, 2008) define que para guarda-corpos com comprimento menor que 3 metros, o ensaio deve ser realizado com protótipo em tamanho original.

A) Esforços de fora para dentro

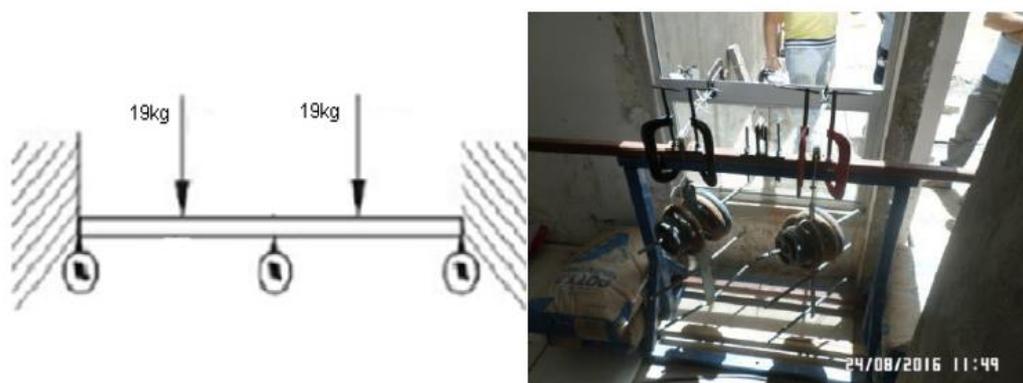
Foram aplicados esforços com uma pré-carga de 200N foi mantida por 15 minutos e posteriormente uma carga de uso de 380 N, também foi mantida por 15 minutos. Foram feitas leituras nos medidores de deslocamento antes da aplicação da pré-carga (l_0), 15 minutos após a aplicação da pré-carga (l_1), 15 minutos após a aplicação da carga de uso (l_2), e 3 minutos após a retirada da carga de uso (l_3). As Figuras 6 e 7 amostam o posicionamento dos pontos de aplicação das cargas e a execução do ensaio.

Figura 6- Posicionamento dos pontos de aplicação das cargas e dos medidores de deslocamento



Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 7- Execução do ensaio de fora para dentro.

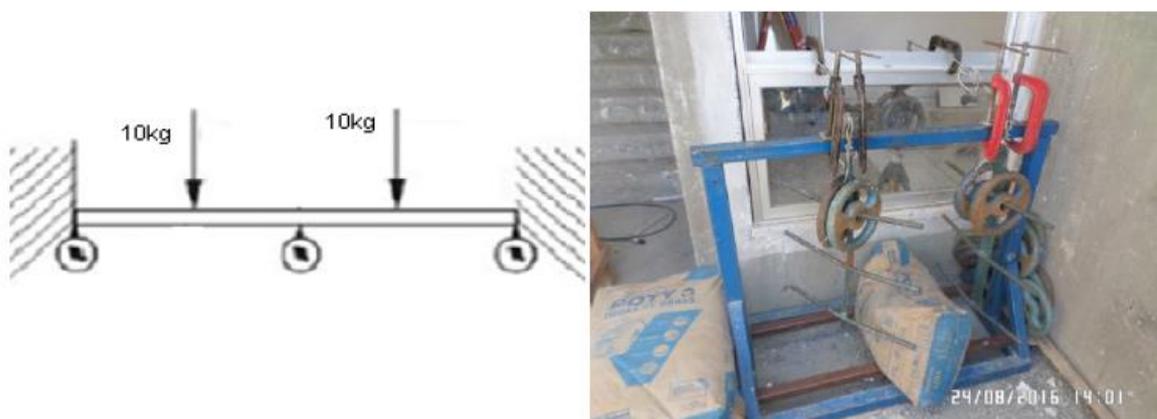


Fonte: Jotanunes, 2016.

B) Esforços de dentro para fora

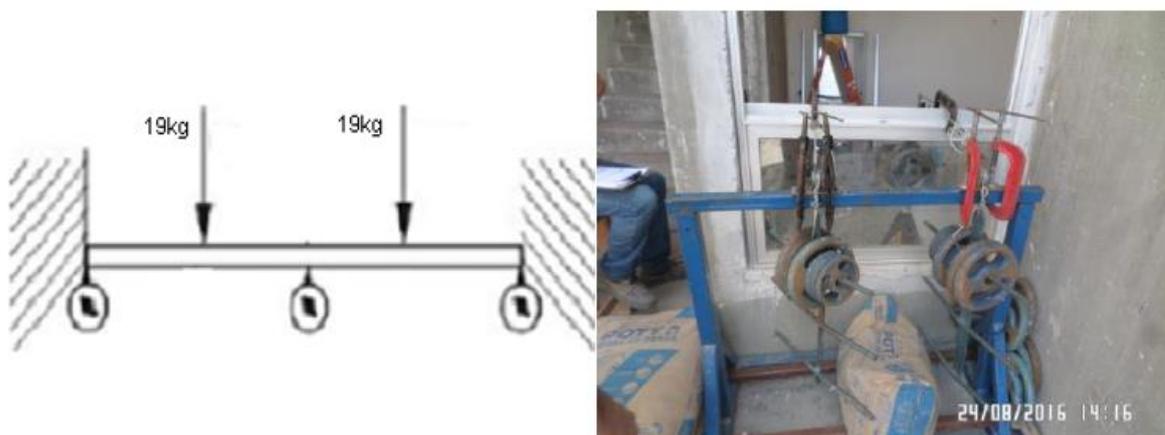
Foram aplicados esforços com uma pré-carga de 200N que foi mantida por 15 minutos e posteriormente uma carga de uso de 380 N, que também foi mantida por 15 minutos. Leituras foram feitas nos medidores de deslocamento antes da aplicação da pré-carga (l_0), 15 minutos após a aplicação da pré-carga (l_1), 15 minutos após a aplicação da carga de uso (l_2), e 3 minutos após a retirada da carga de uso (l_3), e em seguida foi utilizada uma carga de segurança equivalente a 660N sendo mantida por 15 minutos para leitura da deformação (l_4). As Figuras 8, 9 e 10 demonstram a aplicação da pré-carga, da carga de uso e da carga de segurança.

Figura 8 - Aplicação da pré-carga.



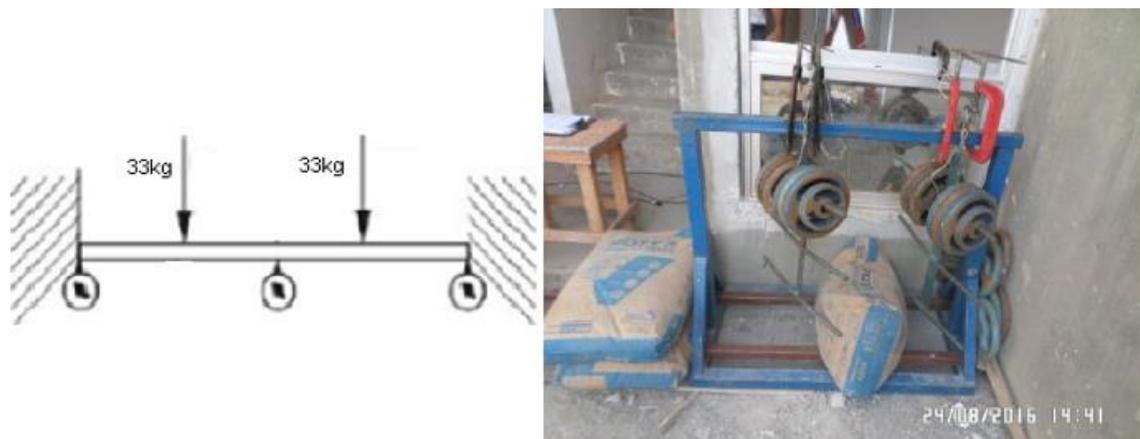
Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 9 - Aplicação da carga de uso.



Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 10 – Aplicação da carga de segurança e posicionamento dos medidores de deslocamento.

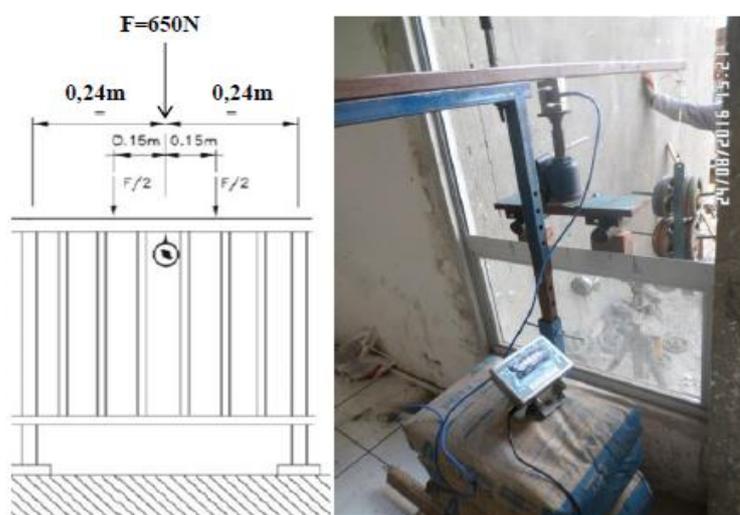


Fonte: Jotanunes 2016.

4.2.1.2 Esforço estático vertical

Foi feita a aplicação de uma carga de segurança de 650 N distribuídas em dois pontos. A carga foi aplicada por um macaco hidráulico, e a leitura da carga realizada por célula de carga. A Figura 11 demonstra o posicionamento das cargas e do dispositivo de medição.

Figura 11 - Posicionamento das cargas e do dispositivo de medição.

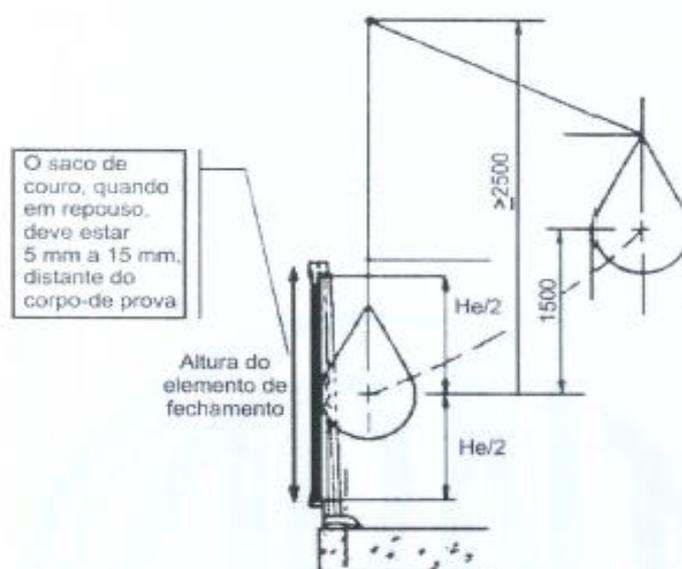


Fonte: Jotanunes, 2016.

4.2.1.3 Resistência a impactos

O ensaio realizado utilizou uma carga de 600J para determinar a resistência à impacto do guarda-corpo, aplicado no centro geométrico do fechamento que era composto por vidro. O impacto foi realizado com saco de 40 kg de esferas de vidro, liberado do repouso a uma altura de 1,50, m descrevendo um movimento pendular.

Figura 12 - Esquema de aplicação do ensaio.



Fonte: NBR 14718 (ABNT, 2008).

Devem ser anotados quaisquer deformações que ocorram no guarda-corpo e se houver ruptura do elemento de fechamento avaliar a passagem do gabarito prismático de (25 x 11 x 11) cm. (ABNT NBR 14718, 2008) .

4.2.2 Ensaio acústico

Foram analisados resultados dos ensaios de isolamento sonoro nos apartamentos do pavimento térreo e 1º andar caracterizando o desempenho das

vedações verticais externas (fachada), verticais internas (entre unidades) e dos sistemas de piso (ruído aéreo e de impacto).

➤ Vedações Verticais externas:

- Os ensaios foram realizados na fachada do quarto 01 e quarto 02 (Apto.03 – térreo) – Com esquadria e Sem Esquadria (Parede cega);
- A vedação é composta por parede de concreto, 10 cm de espessura, massa de regularização e textura acrílica, e revestimento interno com pasta de gesso e tinta PVA;
- Esquadrias do tipo correr em alumínio e vidro (3mm).

➤ Vedações Verticais Internas:

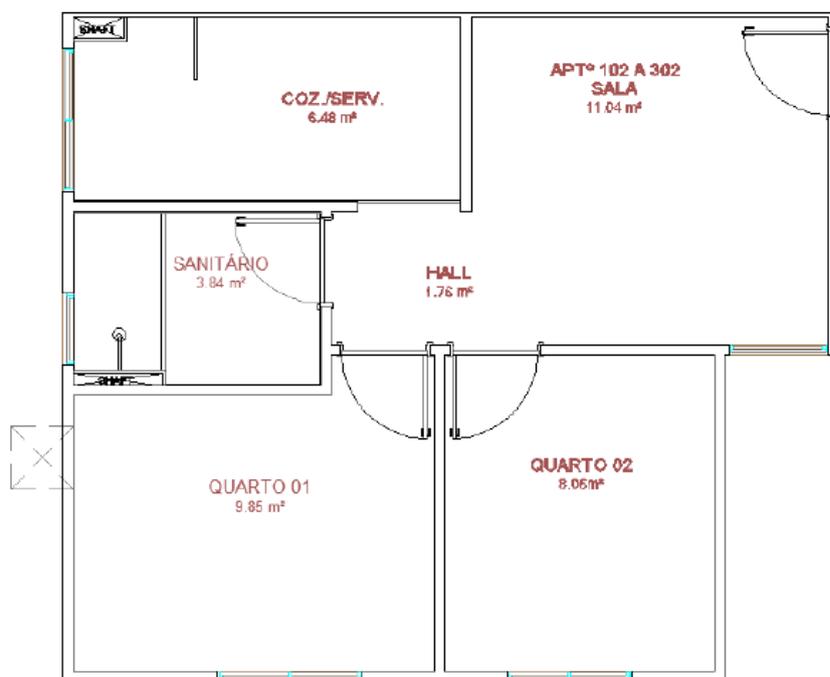
- Os ensaios foram realizados em três cômodos – entre salas (Apto. 02/03), entre cozinhas (Apto. 02/03) e entre unidades separadas pelo hall.
- A vedação é composta por parede de concreto, 10 cm de espessura, e revestimento em ambas as faces com pasta de gesso e tinta PVA.

➤ Sistema de piso:

- Os ensaios de isolamento sonoro das vedações horizontais, quanto ao ruído aéreo e ruído de impacto, foram realizados nos sistemas de piso da sala e dos dormitórios entre apartamentos do térreo e 1º andar (Apto. 03/103);
- O sistema de piso é constituído por laje maciça em concreto armado (10 cm), contrapiso (3,0 cm) e revestimento cerâmico. Sob a laje de teto é aplicado pasta de gesso.

A Figura 13 demonstra a disposição dos apartamentos para o ensaio

Figura 13 - Disposição dos apartamentos para o ensaio.



Fonte: Jotanunes, 2016.

Foram analisados ainda os documentos da qualidade, procedimento de execução de serviços (PES) e ficha de Verificação de Serviço (FVS) relacionados ao assentamento de portas para Obra B. O objetivo da análise foi o estudo do Critério 12.3.2 (Diferença padronizada de nível ponderada $D_{n,Tw}$), promovido pela verificação entre ambientes, verificada em ensaio de campo da ABNT NBR 15575-4, para adaptação da construtora em atender o nível de desempenho mínimo no elemento (Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo *hall* ($D_{n,Tw}$ obtida entre as unidades)).

4.2.3 Ensaio térmico

Para o ensaio de desempenho térmico, as vedações são parede em concreto com espessura de 10 cm, internamente revestimento em gesso ou massa corrida para regularização com 0,5 cm em áreas secas, revestimento cerâmico até altura de 1,50m em áreas molhadas e externamente utilizou-se revestimento em massa corrida de

regularização de 0,5 cm, selador acrílico e textura acrílica 0,5 cm. Pisos e lajes em concreto com espessura de 10 cm. O pé direito tem aproximadamente 2,65 m. A cobertura é composta por laje impermeabilizada revestida por camada de 2 cm de poliestireno expandido e por proteção mecânica de 3 cm de concreto. A cor da pintura da fachada é amarela.

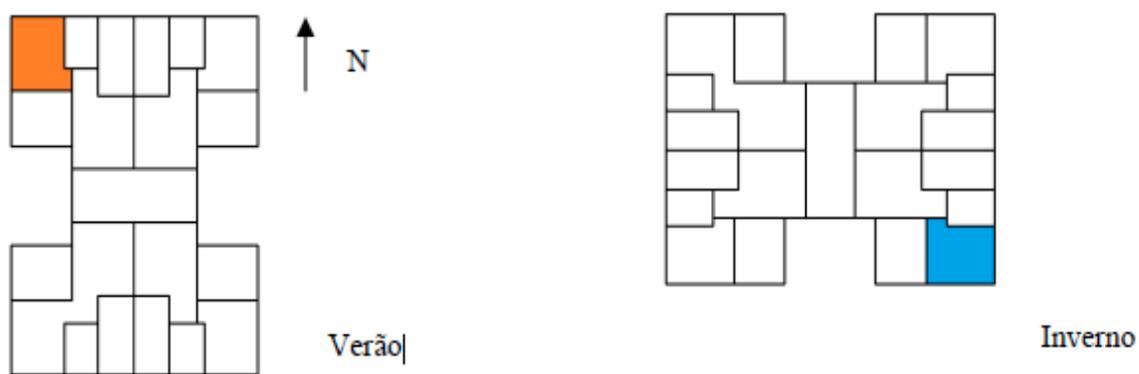
Tabela 1- Disposição das esquadrias Obra B

Tipo	Dimensões (m)	Ambiente	Tipo
E1	0.95 x 2.0 - 0.45	Sala	2 folhas de correr e 2 folhas fixas
E2	1.4 x 1.2 - 1.0	Dormitórios	2 folhas de correr
E3	1.2 x 1.2 - 1.0	Dormitórios	2 folhas de correr
E4	0.7 x 0.7 - 1.5	Banheiro	Basculante
E5	1.4 X 0.7 -1.5	Cozinha	2 folhas de correr

Fonte: Jotanunes, 2016.

Nas simulações adotou-se as orientações críticas apresentadas na Figura 14:

Figura 14 - Planta esquemática do apartamento e indicação das orientações adotadas nas simulações para verão e inverno.



Fonte: Jotanunes, 2016.

A construtora solicitou um modelo digital do edifício projetado, sendo este modelo submetido a simulações no programa EnergyPlus (DOE, 2012), desenvolvido pelo departamento de energia dos Estados Unidos como ferramenta extremamente precisa e sofisticada para simulações de desempenho térmico e da eficiência energética de edificações.

Considerou-se as seguintes variáveis no estudo:

- a) absorvância à radiação solar da superfície externa das paredes igual a $\alpha = 0,3$ para cor clara; $\alpha = 0,5$ para cor média e $\alpha = 0,7$ para cor escura;
- b) condição padrão: ambientes com ventilação somente por infiltração através de frestas em janelas e portas e uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0Ren/h) e janelas sem sombreamento;
- c) condição com ventilação: ambientes com ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0Ren/h) e janelas sem sombreamento;
- d) condição com sombreamento: proteção solar interna por meio de veneziana que impeça a entrada de radiação solar direta ou reduza em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente e ventilação somente por infiltração através de frestas em janelas e portas de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0Ren/h);
- e) condição com sombreamento e com ventilação: proteção solar interna por meio de veneziana que impeça a entrada de radiação solar direta ou reduza em 50% a incidência da radiação solar global no ambiente e ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0Ren/h).

No Quadro 15 estão estabelecidos os seguintes níveis de desempenho para o critério de avaliação de desempenho térmico para a condição de verão.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Quadro 15 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Fonte: NBR 15575 (ABNT,2013a).

Os valores de temperatura máxima no interior da edificação em recintos de permanência prolongada devem ser menores ou iguais aos valores de temperatura

máxima no exterior da edificação. Sem a presença de fontes internas de calor. O nível de atendimento é mínimo, o que atenderá ao critério 11.3.1 (Valores máximos de temperatura) da NBR 15575 (ABNT, 2013a), de acordo com o Quadro 16.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 51)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} C)$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} C)$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} C)$	
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

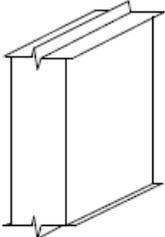
Quadro 16 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013a).

O valor de temperatura mínimo no interior da edificação em recintos de permanência prolongada deve ser sempre maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3°C. O nível de atendimento é mínimo o que atenderá ao critério 11.4.1 (Valores mínimos de temperatura) da NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Na análise da transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) foi utilizado o software *Excel*, seguindo os parâmetros da NBR 15220 (ABNT, 2005b) (Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações).

Com base na NBR 15220-2 (ABNT, 2005) a transmitância térmica e capacidade térmica do método construtivo utilizado para análise de pesquisa, devem atender aos valores de acordo com o quadro 17.

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7

Quadro 17- Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para parede de concreto.

Fonte: NBR 15220 (ABNT,2005c).

Para as propriedades térmicas dos materiais a norma informa no Anexo D da NBR 15220 (ABNT, 2005c) os valores de acordo com o quadro 18:

Material	Densidade	Condutividade	Calor específico
	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

Quadro 18- Propriedade térmica dos materiais.

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005c).

As cidades do estado de Sergipe que foram referenciadas na NBR 15220 (ABNT, 2005c), estão localizadas na Zona Bioclimática 8. O município de Nossa Senhora do Socorro está localizado na região metropolitana de Aracaju, por isso considera-se com a mesma classificação das cidades listadas no quadro 19.

UF	Cidade	Estrat.	Zona
SE	Aracajú	FIJ	8
SE	Itabaianinha	FIJ	8
SE	Propriá	FIJK	8

Quadro 19- Classificação das cidades de Sergipe quanto a Zona Bioclimática.

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005c).

De acordo com NBR 15575 (ABNT,2003d) define-se os valores de transmitância térmica e capacidade térmica com os dados da absorvância (α) a radiação solar das paredes externas e da Zona Bioclimática, como foi mostrado no

quadro 11 . Os valores de absorvência fazem referência ao tipo de superfície, e estão listadas no Anexo B da NBR 15220 (ABNT,2005b).

O tipo de superfície do método construtivo é a pintura de cor branca que apresenta o valor $\alpha = 0,20$. Na Zona Bioclimática 8 como o valor de absorvência é menor que 0,6 a NBR 15575 (ABNT, 2013d) define que $U \leq 3,7 (W/M^2 \cdot K)$. Já a capacidade térmica não apresenta exigências de valores mínimos.

Baseado na NBR 15220 (ABNT, 2005b), o valor de transmitância (U) (Equação1) é obtido através do inverso resistência térmica total (RT) (Equação 2), que é o somatório das resistências superficiais internas (R_{si}) e externas (R_{se}) e da resistência térmica (R_t) das camadas que compõem o fechamento.

$$U = \frac{1}{RT} \quad (\text{Equação 1})$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{Equação 2})$$

Como o tipo de fechamento é parede, a direção do fluxo é horizontal. A resistência térmica superficial externa, independentemente da direção do fluxo de calor, será sempre 0,04. Já a resistência térmica superficial interna da direção do fluxo de calor terá o valor de 0,13 (Quadro 20).

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Quadro 20 – Valores para R_{si} e R_{se}

Fonte: NBR 15220 (ABNT,2005b)

Com os valores da espessura (e) definidos e da condutividade térmica (λ) dos materiais constituintes do fechamento, encontra-se a resistência térmica (R) (Equação 3) de cada um deles. Os valores (λ) encontram-se no Anexo B da NBR 15220 (ABNT,2005b), na Tabela B.3.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{Equação 3})$$

Através do somatório das resistências térmicas (R) dos materiais é obtido o R_t . Substituindo esse valor na Equação 2 encontra-se a Resistência térmica.

A capacidade térmica (CT) do fechamento foi calculada obtendo-se os valores de espessura (e), do calor específico (c) e da densidade (ρ) dos materiais (Equação 4).

$$CT = e \cdot c \cdot \rho \quad (\text{Equação 4})$$

4.2.4 Conforto tátil, visual e Antropodinâmico

Foi analisado, na execução do serviço de piso cerâmico, a necessidade de atender os limites para ondulações na camada de acabamento ou superfícies regularizadas, com valores iguais ou inferiores a 3 mm com régua de 2 m em qualquer direção, para fixação de camadas de acabamento.

Para isso, com o PES e a FVS foram analisados as condições de execução do serviço e as atualizações pelo qual os documentos passaram para a questão de adaptação da construtora com a norma de desempenho, relacionado ao critério 17.2 (Homogeneidade quanto à planicidade da camada de acabamento do sistema de piso) da NBR 15575 (ABNT, 2013c).

4.2.5 Análise de custos

Foram analisados os custos diretos da obra, para verificar o quanto as mudanças propostas pelos autores e a que a construtora aplicou, impactariam no valor do empreendimento. Para isso, foram feitas composições de materiais no *software* Sistemas de orçamentos de obras de Sergipe (Orse) e atualizações de valores

orçamentários com a base de dados do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). O índice do INCC utilizado foi o de Julho/2018, portanto as composições no Orse também foram feitas com o banco de dados de Julho/2018-1.

No cálculo da transmitância térmica das paredes externas a área empregada para encontrar o custo total do serviço em um apartamento foi 38,96 m², utilizando o pé-direito de 2,65 m e o perímetro das paredes.

No ensaio de desempenho acústico, para calcular o consumo de espuma expansiva por porta foi utilizado o perímetro da porta que tem dimensões 0,80 x 2,10 m, assim como para a borracha veda-porta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Segurança Estrutural

5.1.1 Esforço estático horizontal

De acordo com a NBR 14718 (ABNT, 2008), a pré-carga e a carga de uso não podem ter rupturas em seus componentes, nem afrouxamento ou deslocamento de componentes e dos elementos de fixação. Sendo assim, a deformação horizontal, quando o guarda corpo for submetido a pré-cargas de 200 N/m não deve superar 7mm. Já a deformação horizontal sob cargas, com aplicação de cargas de uso não devem superar 20 mm. A deformação residual não poderá ser maior que 3 mm, após a retirada da carga de uso (Quadros 21 e 23).

Após a pré-carga e a carga de uso deve ser aplicada uma carga de segurança equivalente a 1,7 da carga de uso, sendo que sua deformação não deve ser maior que 150 mm. Já a deformação horizontal residual não deve ser maior que 3 mm, assegurando a função do guarda-corpo (Quadro 24).

A construtora mostrou-se interessada em atender os critérios que a NBR 14718 (ABNT, 2008) exigem com relação ao parapeito das esquadrias, os resultados analisados evidenciam o cumprimento desses critérios. Não houve necessidade de troca de fornecedor, pois as esquadrias utilizadas atendiam em todos os critérios analisados.

Os Quadros 21 e 23 demonstram as leituras de deslocamentos dos ensaios.

LEITURAS (mm)								
Relógio 1	l ₀ =	39,64	l ₁ =	39,47	l ₂ =	39,24	l ₃ =	39,60
Relógio 2	l ₀ =	46,62	l ₁ =	46,28	l ₂ =	45,99	l ₃ =	46,61
Relógio 3	l ₀ =	25,51	l ₁ =	25,50	l ₂ =	25,40	l ₃ =	25,51
<i>l₀ = leitura inicial</i> <i>l₁ = deformação instantânea da pré-carga</i> <i>l₂ = deformação instantânea da carga de uso</i> <i>l₃ = deformação residual da carga de uso</i>								

Quadro 21 – Leituras de deslocamento de fora para dentro.

Fonte: Jotanunes, 2016.

	DEFORMAÇÃO PRÉ-CARGA (I1-I0)			DEFORMAÇÃO CARGA DE USO (I2-I0)			DEFORMAÇÃO RESIDUAL (I3-I0)		
	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE
Relógio 1	0,17	7,00	ATENDE	0,40	20,00	ATENDE	0,04	3,00	ATENDE
Relógio 2	0,34	7,00	ATENDE	0,63	20,00	ATENDE	0,01	3,00	ATENDE
Relógio 3	0,01	7,00	ATENDE	0,11	20,00	ATENDE	0,00	3,00	ATENDE

Quadro 22 – Resultado ensaio de fora para dentro.

Fonte: Jotanunes, 2016.

LEITURAS (mm)										
Relógio 1	l ₀ =	11,49	l ₁ =	11,40	l ₂ =	11,23	L ₃ =	11,43	L ₄ =	10,99
Relógio 2	l ₀ =	50,18	l ₁ =	49,60	l ₂ =	48,85	L ₃ =	49,98	L ₄ =	48,03
Relógio 3	l ₀ =	15,72	l ₁ =	15,59	l ₂ =	15,34	L ₃ =	15,63	L ₄ =	15,09

l₀ = leitura inicial
l₁ = deformação instantânea da pré-carga
l₂ = deformação instantânea da carga de uso
l₃ = deformação residual da carga de uso
l₄ = deformação instantânea da carga de segurança

Quadro 23 – Leituras dos ensaios de dentro para fora.

Fonte: Jotanunes, 2016.

	DEFORMAÇÃO PRÉ-CARGA (I1-I0)			DEFORMAÇÃO CARGA DE USO (I2-I0)			DEFORMAÇÃO RESIDUAL (I3-I0)		
	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE
Relógio 1	0,09	7,00	ATENDE	0,26	20,00	ATENDE	0,06	3,00	ATENDE
Relógio 2	0,88	7,00	ATENDE	1,63	20,00	ATENDE	0,50	3,00	ATENDE
Relógio 3	0,13	7,00	ATENDE	0,38	20,00	ATENDE	0,09	3,00	ATENDE

Quadro 24 – Resultados ensaio de dentro para fora.

Fonte: Jotanunes, 2016.

	DEFORMAÇÃO CARGA DE SEGURANÇA (I4-I0)		
	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE
Relógio 1	0,50	150,00	ATENDE
Relógio 2	2,45	150,00	ATENDE
Relógio 3	0,63	150,00	ATENDE

Quadro 25 – Resultados da deformação da carga de segurança.

Fonte: Jotanunes, 2018.

5.1.2 Esforço estático vertical

A Deformação vertical sob carga com aplicação de carga de segurança não deve ultrapassar 20 mm. Já a deformação vertical residual deve ser limitada a 8 mm NBR 14718 (ABNT, 2008).

LEITURA (mm)						DEF. CARGA DE SEGURANÇA (I1-I0)			DEFORMAÇÃO RESIDUAL (I2-I0)		
						MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE	MEDIDO (mm)	LIMITE (mm)	ANÁLISE
l0=	20,96	l1=	22,91	l2=	21,53	1,95	20,00	ATENDE	0,57	8,00	ATENDE

Quadro 26 – Resultados de esforço estático horizontal vertical.

Fonte: Jotanunes, 2016

5.1.3 Resistência a impactos

Para resistência impactos no guarda-corpo, foi verificado que houve desprendimento da travessa inferior do marco com a parede de concreto, não ocorrendo queda de nenhum elemento de fechamento ou de suas partes. A ruptura do vidro não permitiu a passagem do gabarito prismático 25x11x11 cm (Figura 15).

De acordo com os resultados obtidos, o guarda-corpo atende as exigências estabelecidas pela NBR 14718 (ABNT, 2008).

Figura 15 – Esquadria antes do ensaio.



Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 16 – Esquadria após o ensaio.



Fonte: Jotanunes, 2016.

5.2 Desempenho Acústico

A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece critérios para atenuação acústica dos ruídos de impactos aplicados a lajes de piso, para isolamento ao som aéreo dos pisos e para fachadas e coberturas. Há a necessidade de isolamento acústico em paredes de germinação entre unidades autônomas e de paredes divisórias entre áreas privativas e áreas comuns nas edificações (CBIC,2013a)

A localização do empreendimento caracteriza a classe do ruído de fachada em que a edificação se enquadra. A obra B fica localizada em uma avenida com intenso tráfego de automóveis, por isso foi considerada a classe II.

O método de engenharia analisa em campo de forma rigorosa o isolamento global da vedação externa, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. Com o ensaio solicitado pela construtora foi possível analisar que o sistema atende em níveis superiores e intermediários de desempenho para paredes com esquadrias e sem esquadrias. Todos os ensaios foram realizados com portas e janelas fechadas, de acordo com as normas vigentes (Quadro 27).

Ambiente avaliado	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da Fachada ($D_{2m,nT,w}$)							
	Ponto de medição	Resultado (dB)	Resultado médio (dB)	Níveis de desempenho especificados na NBR 15575-4 (dB)	Avaliação de desempenho			
Vedação externa Quarto 1 (Parede com esquadria)	1	31	31	Mínimo: 25 a 29 Intermediário: 30 a 34 Superior: ≥ 35	Atende em nível intermediário de desempenho			
	2	31						
	3	31						
Vedação externa Quarto 1 (Parede sem esquadria)	1	44	44		Mínimo: 25 a 29 Intermediário: 30 a 34 Superior: ≥ 35	Atende em nível superior de desempenho		
	2	44						
	3	44						
Vedação externa Quarto 2 (Parede com esquadria)	1	29	30			Mínimo: 25 a 29 Intermediário: 30 a 34 Superior: ≥ 35	Atende em nível intermediário de desempenho	
	2	31						
	3	30						
Vedação externa Quarto 2 (Parede sem esquadria)	1	35	38				Mínimo: 25 a 29 Intermediário: 30 a 34 Superior: ≥ 35	Atende em nível superior de desempenho
	2	40						
	3	40						

Quadro 27 – Resultados da diferença de nível padronizada de nível Ponderada a 2 metros da Fachada.

Fonte: Jotanunes, 2016.

Para o isolamento de ruído aéreo, promovido pela vedação vertical interna as vedações verticais internas atendem em nível de desempenho mínimo, já o sistema de vedação entre unidades separadas pelo hall atende em nível intermediário de desempenho (Quadro 28).

Ambiente avaliado	Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$)						
	Ponto de medição	Resultado (dB)	Resultado médio (dB)	Nível de desempenho especificado na NBR 15575-4 (dB)	Avaliação de desempenho		
Parede de geminação entre salas (Apt. 02/03)	1	44	44	Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Atende em nível mínimo de desempenho		
	2	43					
	3	44					
Parede de geminação entre cozinhas (Apt. 02/03)	1	45	44		Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Atende em nível mínimo de desempenho	
	2	43					
	3	44					
Entre unidades separadas pelo hall (Apt. 03/04)	1	45	46			Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Atende em nível intermediário de desempenho
	2	47					
	3	46					

Quadro 28 – Resultados da diferença padronizada de nível ponderada

Fonte: Jotanunes, 2016.

Para tanto, observou-se que a obra A não atendia em nível mínimo de desempenho no elemento “Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall”, onde foi necessário a realização de alterações de procedimento de assentamento de portas para que chegasse no nível intermediário na obra B.

Segundo o PES, na execução do serviço deve-se aplicar espuma de poliuretano em três pontos entre o caixão e a parede, para a fixação da porta. A espuma que é aplicada a 10 cm das extremidades e no eixo da porta não era suficiente para garantir o atendimento em nível mínimo de desempenho acústico.

Como forma de atender à norma de desempenho, na obra B observou-se que a construtora para solucionar o problema fez uso de espuma expansiva em todo o perímetro da aduela, por fora, de forma a vedar todos os espaços existentes, auxiliando no bom desempenho acústico. Esse procedimento foi adotado somente para portas de entrada. Ainda assim, foi necessário o uso de uma borracha veda porta, que também assegurou o atendimento em nível intermediário na obra B.

Verificou-se também que a FVS não passou por revisão, continuando ainda com o antigo procedimento que não exige conferência na utilização de espuma expansiva no perímetro da aduela.

No isolamento do ruído aéreo promovido, pela vedação horizontal o sistema de piso da sala e do quarto 02 atendem em nível intermediário de desempenho. Já o sistema de piso do quarto 01 atende em nível mínimo de desempenho (Quadro 29).

Ambiente avaliado	Diferença Padronizada de Nível Ponderada ($D_{nT,w}$)				
	Ponto de medição	Resultado (dB)	Resultado médio (dB)	Nível de desempenho especificado na NBR 15575-3 (dB)	Avaliação de desempenho
Sala (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	46	47	Mínimo: 40 a 44 Intermediário: 45 a 49 Superior: ≥ 50	Atende em nível intermediário de desempenho
	2	48			
Quarto 01 (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	47	46	Mínimo: 45 a 49 Intermediário: 50 a 54 Superior: ≥ 55	Atende em nível mínimo de desempenho
	2	46			
	3	46			
Quarto 02 (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	50	50		Atende em nível intermediário de desempenho
	2	50			
	3	49			

Quadro 29 – Resultado para diferença de nível ponderada – Ruído aéreo de vedação horizontal.

Fonte: Jotanunes, 2016.

O isolamento de ruído aéreo promovido pela vedação horizontal (sistema de pisos), atende em todos os sistemas analisados em nível mínimo de desempenho quanto ao ruído de impacto (Quadro 30).

Ambiente avaliado	Nível de Pressão Sonora de Impacto-Padrão Ponderado ($L'_{nT,w}$)				Avaliação de desempenho		
	Ponto de medição	Resultado (dB)	Resultado médio (dB)	Nível de desempenho especificado na NBR 15575-3 (dB)			
Sala (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	80	80	Mínimo: 66 a 80 Intermediário: 56 a 65 Superior: ≤ 55	Atende em nível mínimo de desempenho		
	2	80					
	3	80					
	4	80					
	5	80					
Quarto 01 (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	79	79		Mínimo: 66 a 80 Intermediário: 56 a 65 Superior: ≤ 55	Atende em nível mínimo de desempenho	
	2	80					
	3	79					
	4	80					
	5	79					
Quarto 02 (Sistema de piso entre Apt. 03 e 103)	1	80	80			Mínimo: 66 a 80 Intermediário: 56 a 65 Superior: ≤ 55	Atende em nível mínimo de desempenho
	2	79					
	3	78					
	4	81					
	5	81					

Quadro 30 – Resultados do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ($L'_{nT,w}$) – Ruído de impacto de vedação horizontal (Apt. 03/103)

Fonte: Jotanunes, 2017.

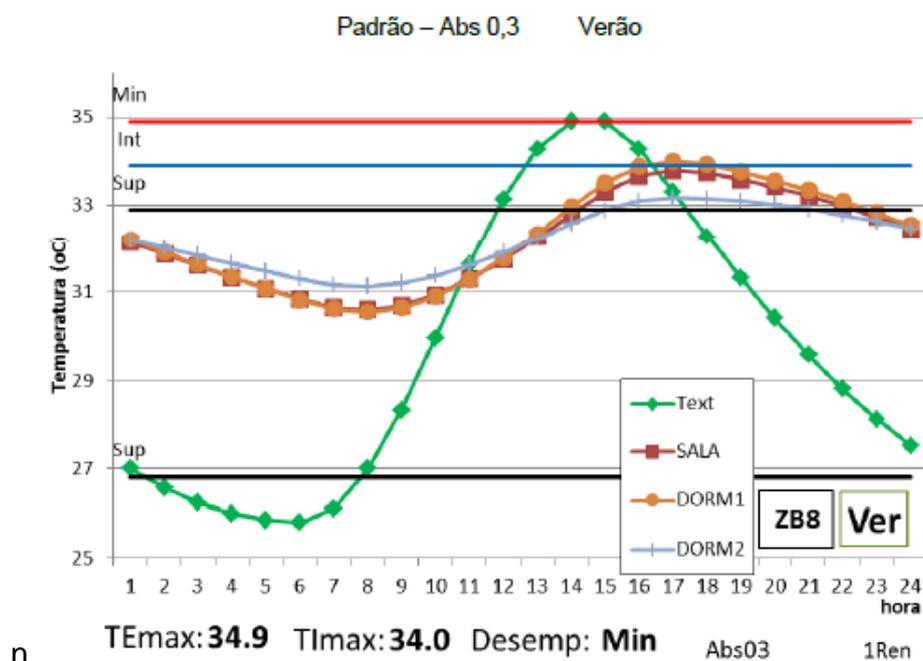
5.3 Desempenho Térmico

Para o ensaio solicitado pela construtora foi adotado o procedimento 1 B para a Obra A, as simulações evidenciaram que as temperaturas internas se apresentam muito mais estáveis que as externas. As características do sistema construtivo demonstram que paredes e lajes em concreto armazenam calor durante os períodos mais quentes do dia e somente liberam horas depois, amortecendo assim as temperaturas mais altas da tarde e as mais baixas da madrugada. Esse fator contribui para estabilizar as condições térmicas dos ambientes, colaborando para um bom desempenho térmico das edificações.

A edificação apresenta resultados satisfatórios, as simulações indicaram nível de desempenho térmico mínimo para todos os ambientes de longa permanência das

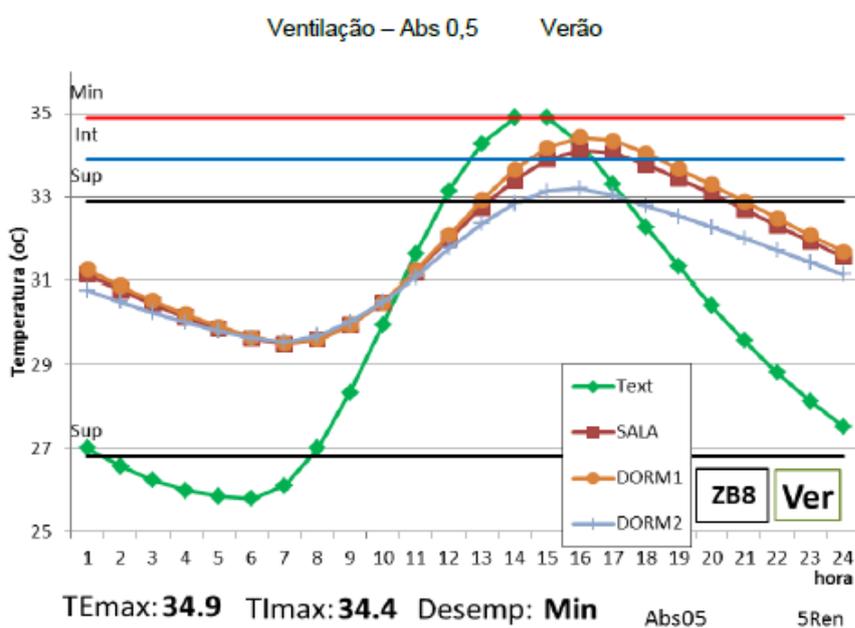
habitações, tanto para o inverno quanto para o verão do clima típico para a Zona Bioclimática 8.

Figura 17- Resultados da simulação computacional para o padrão da edificação com relação às paredes externas do apartamento.



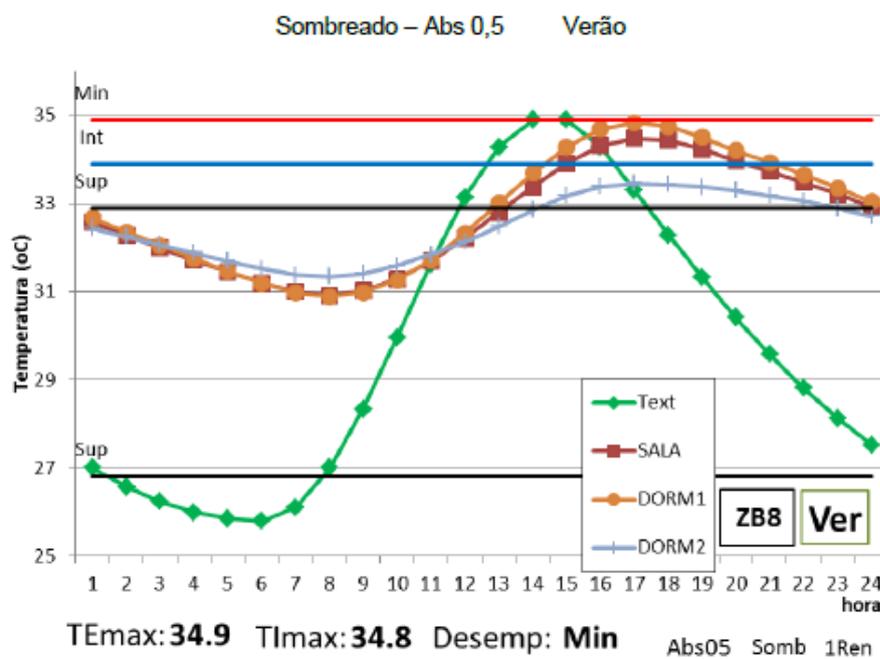
Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 18 - Resultados da simulação para a ventilação.



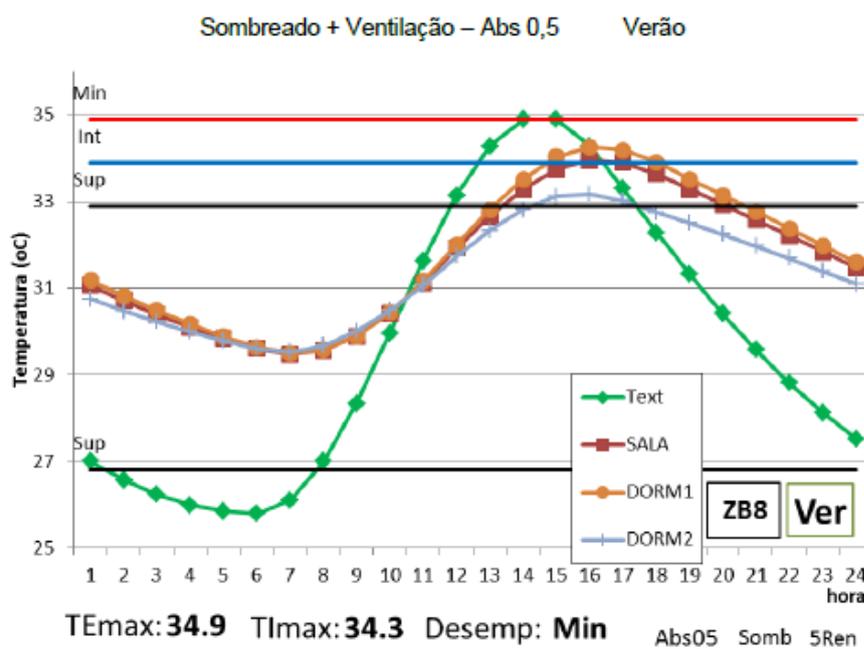
Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 19 - Resultados da simulação para o Sombreado.



Fonte: Jotanunes, 2016.

Figura 20 – Resultados da simulação computacional para o sombreado+ventilação.



Fonte: Jotanunes, 2016.

Ao analisar o atendimento das edificações quanto a transmitância térmica (U), revelou-se que o método construtivo não atende a NBR 15575 (ABNT,2013). Para isso foram propostas mudanças no método de execução do serviço e nos materiais utilizados pela construtora.

Foram feitas duas composições com materiais que ao serem verificados conseguem atender ao critério da Transmitância térmica (U), sendo uma delas com matérias de uso comum na obra e outra como uma inovação para futuras edificações.

Tabela 02 – Composição I de materiais, com suas características térmicas.

Material	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Espessura (m)
Argamassa Comum	1,15	0,03
Concreto	1,75	0,10
Gesso	0,5	0,015

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b).

Na composição I foi proposto o uso de um reboco com argamassa comum externamente de espessura 3 centímetros, e um reboco de argamassa gesso internamente com espessura 1,5 centímetros. A absorvância da parede a radiação solar da superfície da fachada é de 0,30, pois a pintura que é adotada no empreendimento é de cor amarela.

Substituindo valores da Tabela 02 nas equações 1, 2 e 3 a transmitância térmica seria satisfatória para atender à solicitação da NBR 15575 (ABNT,2013d).

Tabela 03 - Transmitância térmica para composição

Material	Resistência Térmica (m². K)/W	Resistência Térmica Total (m². K)/W	Transmitância Térmica W/(m².K)
Argamassa Comum	0,0345		
Concreto	0,175	0,387	2,58
Gesso	0,0075		

Fonte: Próprio autor, 2018.

O tipo de solução também já foi adotado por Souza (2017), relatando que:

Em relação ao método simplificado da norma de desempenho, foi feita uma sugestão de revestimento com materiais que são largamente utilizados pela própria empresa em suas obras. Para tanto, foi sugerida a utilização de um revestimento com argamassa comum, para a fachada externa, e um revestimento com argamassa de gesso para a parte interna (SOUZA, 2017, p. 75).

A construtora pode adotar o proposto pelos autores para resolver o problema da transmitância térmica, já que ao decorrer do estudo de caso não houve interesse em demonstrar o atendimento do critério exigido pela norma de desempenho.

Na composição II foi feita uma pesquisa de materiais isolantes térmicos, que podem também ser utilizados pela construtora para suas edificações e que trariam um novo conceito para tratamento térmico.

Tabela 04 – Composição II de materiais e características térmicas.

Material	Condutividade Térmica	Espessura (m)
Argamassa Comum	1,15	0,03
Concreto	1,75	0,10
Lã de Vidro	0,045	0,05
Drywall	0,35	0,0125

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b).

Utilizando o mesmo processo de substituição dos valores nas equações 1, 2 e 3, a transmitância térmica também atenderia ao solicitado pela norma de desempenho

Tabela 05 - Transmitância térmica para a composição II.

Material	Resistência Térmica (m².K)/W	Resistência Térmica Total (m².K)/W	Transmitância Térmica W/(m².K)
Argamassa Comum	0,026	1,400	0,714
Concreto	0,057		
Lã de Vidro	1,111		
Drywall	0,036		

Fonte: Próprio autor, 2018.

O critério de capacidade térmica mínimo não é exigido na Zona Bioclimática 8, e segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005c) a capacidade térmica para paredes de concreto de 10 cm é $240 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Sendo assim, os empreendimentos atendem o valor mínimo requerido pela norma de desempenho, pode-se concluir devido ao critério estabelecido para as Zonas Bioclimáticas de 1 a 7 que é $130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$.

5.4 Conforto tátil, Visual e Antropodinâmico

A NBR 15575 (ABNT, 2013c) afirma que as irregularidades não podem superar 3 mm em relação a uma régua de 2 metros de comprimento em qualquer direção. Sendo assim foi feita a alteração na ficha de verificação de serviço, para que atendesse ao requisito da norma de desempenho. O nível de aceitação é o mínimo (M), atendendo ao critério de tolerância exigido pela norma de desempenho.

A construtora avaliou a necessidade de mudança de procedimento para atender ao requisito "Homogeneidade quanto à planicidade da camada de acabamento do sistema de piso". Na primeira revisão da FVS não havia tolerância na conferência da camada de acabamento ou superfícies regularizadas para a fixação de acabamentos das áreas comuns ou privativas, já na segunda revisão a tolerância exigida para o serviço era de $\pm 3 \text{ mm}$ o que ainda não estava totalmente adequada a norma de desempenho. Na terceira revisão da FVS a tolerância era de $\pm 1 \text{ mm}$, que já deixava o procedimento dentro do limite exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

5.5 Análise de Custos

A análise de custos mostra a viabilidade da construtora em fazer as mudanças propostas pelos autores, uma vez que é necessário que os empreendimentos concebidos após 19 de julho de 2013 atendam aos requisitos da norma de desempenho. Os custos diretos estão sem a incidência do Benefício de despesas indiretas (BDI) e são valores totais dos empreendimentos (Quadros 31 e 32)

Código da Tarefa	Nome	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
001	VILA JARDINS CONDOMINIO CLUBE	1,00	13.898.830,55	13.898.830,55
001.01	SERVIÇOS PRELIMINARES		1.180.793,58	1.180.793,58
001.02	FUNDAÇÕES		1.153.300,52	1.153.300,52
001.03	ESTRUTURA		3.508.576,78	3.508.576,78
001.04	ESQUADRIAS		732.114,00	732.114,00
001.05	REVESTIMENTOS		1.339.551,05	1.339.551,05
001.06	PAVIMENTAÇÃO		804.592,41	804.592,41
001.07	PINTURA		1.079.322,69	1.079.322,69
001.08	INSTALAÇÕES		3.394.075,12	3.394.075,12
001.09	IMPERMEABILIZAÇÃO		158.829,00	158.829,00
001.10	COBERTURA		430.913,49	430.913,49
001.11	SERVIÇOS FINAIS		116.761,91	116.761,91

Quadro 31 – Custo direto da Obra A.

Fonte: Jotanunes, 2014.

Código da Tarefa	Nome	Quantidade	Custo Unitário	Valor Total
001	ENTRE RIOS MAIS VIVER	1,00	36.822.308,50	36.822.308,50
001.01	SERVIÇOS PRELIMINARES		1.912.609,92	1.912.609,92
001.02	CANTEIRO DE OBRAS		658.853,46	658.853,46
001.03	FUNDAÇÕES		5.325.849,14	5.325.849,14
001.04	ESTRUTURA		8.175.025,03	8.175.025,03
001.05	ESQUADRIAS		2.435.246,64	2.435.246,64
001.06	REVESTIMENTOS		3.801.347,46	3.801.347,46
001.07	PAVIMENTAÇÃO		1.770.893,43	1.770.893,43
001.08	PINTURA		2.971.296,00	2.971.296,00
001.09	INSTALAÇÕES		7.642.351,69	7.642.351,69
001.10	IMPERMEABILIZAÇÃO		453.459,08	453.459,08
001.11	COBERTURA		1.564.866,51	1.564.866,51
001.12	SERVIÇOS FINAIS		110.510,14	110.510,14

Quadro 32 – Custo Direto da Obra B.

Fonte: Jotanunes, 2015.

Com a atualização dos valores do empreendimento de 2014 e 2015 para 2018, verificou-se que o custo das obras seria muito próximos se fossem realizadas no mesmo período. O valor base para encontrar a incidência das mudanças de

procedimentos foi a média do custo atualizado pela base de dados do INCC, como mostrado na Tabela 7:

Tabela 06 – Custo por apartamento das Obras A e B.

	Obra A	Obra B
Base de dados Orse	set/14	set/15
Custo	R\$ 48.259,83	R\$ 52.304,43

Fonte: Jotanunes, 2018.

Tabela 07 – Custos atualizados dos apartamentos das Obra A e B.

Atualização do custo com base no INCC (julho/2018)		
	Obra A	Obra B
Aumento (%)	23,27	14,88
Custo atualizado	R\$ 59.489,89	R\$ 60.087,33
Custo médio R\$	R\$ 59.788,61	

Fonte: Próprio autor, 2018.

5.5.1 Ensaio acústico

Para a mudança de procedimento foi feito o levantamento de custos, e foi verificado o quanto essa ação afetou no valor direto da obra. Para a construtora essa mudança afetou em 0,23%, valor encontrado através da divisão do preço do serviço pelo custo médio por apartamento das obras. Foi considerado uma perda de 5% para o uso da espuma expansiva e uma produtividade de 10 m/h para carpinteiro de esquadrias.

Tabela 08 – Levantamento de custos para a mudança de procedimento.

Código	Descrição da composição	Unidade	Quant	Custo uni	Custo Total	Qtd utilizada	Qtd total
38124/SINAPI	Espuma expansiva de poliuretano, aplicação manual - 500 ml	un	0,412	25	10,3	2,55	26,27
	Borracha Veda-Porta	m	1	25	25	5	100,00
01214/SINAPI	Carpinteiro de esquadrias	h	0,1	6,01	0,6	10	6
10551/ORSE	Encargos Complementares - Carpinteiro	h	0,1	2,59	0,26	10	2,6
							134,87

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Tabela 09 – Incidência da mudança de procedimento sobre o custo direto.

Espuma Expansiva + Veda Porta	
Custo da composição	R\$ 134,87
Incidência sobre o Custo direto (%)	0,23

Fonte: Próprio Autor, 2018.

5.5.2 Ensaio térmico

As mudanças propostas pelos autores para o uso da Composição I incidiram em 3% do custo por apartamento, que se tornaria uma boa alternativa a ser utilizada. Encontra-se uma facilidade na aplicação desses materiais, pois são frequentemente utilizados pela Construtora.

Tabela 10 – Composição I de custos.

Composição I					
Código	DESCRIÇÃO	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total (R\$)
03308/ORSE	Argamassa em volume - cimento, cal e areia traço t-5 (1:2:8) - 1 saco cimento 50 kg / 2 sacos cal 20 kg / 8 padiolas de areia dim 0.35 x 0.45 x 0.13 m - Confeção mecânica e transporte	m3	0,02	380,89	7,62
04750/SINAPI	Pedreiro	h	0,6	6,41	3,85
06111/SINAPI	Servente de obras	h	0,6	4,42	2,65
10549/ORSE	Encargos Complementares - Servente	h	0,6	2,56	1,54
10550/ORSE	Encargos Complementares - Pedreiro	h	0,6	2,5	1,5
03315/SINAPI	Gesso em pó para revestimentos/molduras/sancas	kg	22,43	0,59	13,23
88269/SINAPI	Gesseiro com encargos complementares	h	0,78	17,37	13,55
88316/SINAPI	Servente com encargos complementares	h	0,16	13,15	2,1
					46,04

Fonte: Orse, 2018

Tabela 11 – Custo total de serviços da Composição I.

Área das paredes externas do apartamento (m²)	38,96
Custo Total Composição I	R\$ 1.793,72

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Tabela 12 – Incidência da Composição I sobre o custo direto

Composição I

Custo da composição	R\$ 1.793,72
Incidência sobre o Custo direto (%)	3

Fonte: Próprio Autor, 2018.

Como forma de inovação, a Composição II incidiria em 5,44% do custo por apartamento se fosse executada, o que também seria uma boa alternativa para atender ao critério da transmitância térmica das paredes externas.

Tabela 13 -Composição II de custos.

Fonte: Orse, 2018.

Composição II					
Código	DESCRIÇÃO	Unid.	Quant.	Custo Unit.	Custo Total
03308/ORSE	Argamassa em volume - cimento, cal e areia traço t-5 (1:2:8) - 1 saco cimento 50 kg / 2 sacos cal 20 kg / 8 padiolas de areia dim 0.35 x 0.45 x 0.13 m - Confecção mecânica e transporte	m3	0,02	380,89	7,62
04750/SINAPI	Pedreiro	h	0,6	6,41	3,85
06111/SINAPI	Servente de obras	h	0,6	4,42	2,65
00024/ORSE	Painel lã de vidro e=25mm (isover-santa marina ref psi-30/25mm ou similar) - aplicado	m2	1	19,07	19,07
96370/SINAPI	Parede com placa de gesso acartonado (drywall), para uso interno, com um face simples e estrutura metalica com guias simples sem vãos.	m²	1	47,63	47,63
					80,82

Tabela 14 - Custo total da serviços da Composição II.

Área das paredes externas do apartamento (m²)	38,96
Custo Total Composição II	R\$ 3.148,58

Fonte: Próprio Autor,2018.

Tabela 15 – Incidência dos custos sobre a composição II.

Composição II	
Custo da composição	R\$ 3.251,81
Incidência sobre o Custo direto (%)	5,44

Fonte: Próprio Autor, 2018.

A viabilidade para mudanças nos processos de execução para atender a transmitância térmica, e o assentamento de portas de madeiras trazem a obra um conforto térmico e acústico que garantem ao usuário o atendimento dos critérios exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no estudo de caso, pode-se verificar que o atendimento aos requisitos da norma de desempenho com relação aos ensaios de desempenho acústico, desempenho térmico e segurança estrutural é satisfatório. A construtora buscou maneiras de adaptação aos requisitos para os sistemas de pisos e os requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Ainda assim constatou-se que é necessário a realização de ensaios em campo para que seja comprovada a transmitância térmica e a capacidade térmica do método construtivo adotado pela empresa.

A partir do levantamento de custos para serviços executados na obra e que passaram por mudanças de procedimento, avaliou-se que a construtora poderia utilizar insumos que são de uso frequente no canteiro de obras e que também poderia usar métodos inovadores para atender a norma de desempenho.

Em relação a ficha de verificação de serviços (FVS) e ao Procedimento de execução de serviço (PES), foi possível analisar que a construtora adaptou o procedimento para atender aos requisitos que a norma de desempenho estabelece com relação ao conforto tátil, visual e antropodinâmico. Para o assentamento de portas de madeiras, somente o procedimento passou por revisão para que atendesse aos níveis de ruídos permitidos na habitação. É necessário que a ficha de verificação de serviço passe por revisão, para que haja uma conferência mais rigorosa do serviço.

Com a análise de custos foi possível verificar que as mudanças executadas pela construtora e as propostas pelos autores são aceitáveis para o atendimento da norma de desempenho. O impacto gerado por essas alterações é pequeno o que compensaria a construtora a adotar os procedimentos propostos. Para os métodos utilizadas no critério de transmitância térmica a composição I resultou em 3% do custo direto do apartamento e a composição II em 5,44 %. Já no assentamento de portas de madeiras com a utilização de espuma expansiva em todo o perímetro da aduela, a mudança de procedimento resultou em 0,23% do custo direto do apartamento.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.G. **Estudos sobre incorporação imobiliária no mercado de imóveis negociados na planta na cidade de Divinópolis, MG**. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2015.

AsBEA. **Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho**. São Paulo: 2013. Disponível em< <http://www.asbea.org.br/>>. Acesso em agosto de 2018.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14718: Guarda-corpo para edificações**. Rio de Janeiro, 2008.

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

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

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 1: Edifícios Habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 2: Edifícios Habitacionais - Desempenho: Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 3: Edifícios Habitacionais - Desempenho: Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - 4: Edifícios Habitacionais - Desempenho: Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013d.

AZEVEDO, S.; ANDRADE, L.A.G. **Habitação e Poder: Da fundação da Casa Popular ao Banco Nacional de Habitação**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2011.

BORGES, C.A.M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado) – programa de pós graduação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BORGES, C.A.M; SABBATINI, F.H. **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,BT/PCC/515. São Paulo: USP,2008.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT 15575/2013**. Brasília, DF, 2013a.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Manual de Uso, operação e manutenção das edificações .Orientações para Construtoras e Incorporadoras** . Brasília, DF, 2013b.

CORDOVIL ,L.A.B.L. **Estudos da ABNT NBR 15575 - "Edificações habitacionais - Desempenho" e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro**. 2013. Projeto de Graduação- Escola politecnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Desempenho Revisado. Revista Técnica. São Paulo. 2012. nº 192, março de 2012. PINI. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia_civil/192/desempenho-revisado-publicada-em-fevereiro-nova-norma-de-desempenho-288027-1.aspx>. Acesso em Agosto de 2018.

SANTOS, V.M. Norma de Desempenho: Uma visão da história e de seu atendimento no cenário atual da indústria da construção civil. **Revista Especialize**. Goiânia, v.01,n.10,p 9-17. Disponível em <<https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n10-2015/norma-de-desempenho-uma-visao-da-historia-e-de-seu-atendimento-no-cenario-atual-da-industria-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 2 de setembro de 2015.

MITIDIARI, C. V.; SOUZA. R. **Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Destinados à Habitação Popular: Conceituação e Metodologia**. São Paulo. IPT. 1994.

OKAMOTO; P.S. **Os impactos da norma brasileira de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**. 2015. Dissertação-(Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, programa de mestrado, São Paulo, 2015.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico-Científica CREA-PR**. v.1, 2013.

SOUZA,W.M.S. Melhoria nos documentos da qualidade, a partir de requisitos da norma de desempenho, para a vedação vertical do sistema construtivo de parede de concreto moldada *in loco*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Sergipe, Departamento de engenharia civil, São Cristóvão, 2017.

**APÊNDICE A – FICHAS DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS
QUE PASSARAM POR REVISÃO PARA ATENDER A NORMA
DE DESEMPENHO.**

FICHAS DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS QUE PASSARAM POR REVISÃO PARA ATENDER A NORMA DE DESEMPENHO.

		FVS – FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO: EXECUÇÃO DE PISO EM CERÂMICA						ORIGEM	IDENTIFICAÇÃO	FOLHA Nº								
								PES.PCP.024	FORM.PCP.026-002	Página 1 de 1								
OBRA:		LOCAL DE INSPEÇÃO:																
ITEM A INSPECIONAR	MÉTODO DE INSPEÇÃO	TOLERÂNCIA	UNIDADE INSPECIONADA															
			A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
Condições de Início	Verificar se o revestimento das paredes está concluído, se as peças cerâmicas são do mesmo lote, se os ralos estão protegidos (no caso de áreas molhadas) e se o local encontra-se limpo.	-	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	
			/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:
Execução dos Serviços	Verificar se está sendo seguida a paginação especificada e se o rodapé (nas áreas secas) está alinhado com o piso; Verificar o alinhamento entre as peças e a uniformidade da espessura das juntas.	-	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	
			/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:
	Verificar com régua de alumínio a planicidade das peças assentadas e o caimento para os ralos nas áreas molhadas.	-	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:
			/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:
Finalização dos Serviços	Verificar o aspecto visual do pano revestido, se está limpo e se a cerâmica está uniforme; Verificar se o ambiente está limpo e se o excesso de argamassa foi retrado das juntas entre as peças assentadas.	-	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	
			/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:
Responsável pela Inspeção																		
OCORRÊNCIA DE NÃO CONFORMIDADES E TRATAMENTO																		
Nº	DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA						SOLUÇÃO ADOTADA						DATA DA REINSPEÇÃO		SITUAÇÃO			
															A	R		

		FVS – FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO: EXECUÇÃO DE PISO EM CERÂMICA						ORIGEM		IDENTIFICAÇÃO				FOLHA Nº				
								PES.PCP.024		FORM.PCP.026-003				Página 1 de 1				
OBRA:				LOCAL DE INSPEÇÃO:														
ITEM A INSPECIONAR	MÉTODO DE INSPEÇÃO	TOLERÂNCIA	UNIDADE INSPECIONADA															
			A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
Condições de Início	Verificar se o contrapiso está concluído há, pelo menos, 7 dias, se o revestimento das paredes está concluído, se as peças cerâmicas são do mesmo lote, se os ralos estão protegidos (no caso de áreas molhadas) e se o local encontra-se limpo.	-																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Execução dos Serviços	Verificar se está sendo seguida a paginação especificada e se o rodapé (nas áreas secas) está alinhado com o piso; Verificar o alinhamento entre as peças e a uniformidade da espessura das juntas.	±3mm																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Execução dos Serviços	Verificar com régua de alumínio a planicidade das peças assentadas e o caimento para os ralos nas áreas molhadas.	±3mm																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Finalização dos Serviços	Verificar o aspecto visual do pano revestido, quanto a limpeza e uniformidade das peças; Verificar se o excesso de argamassa foi removido das juntas entre as peças assentadas e se os espaçadores foram retirados.	-																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Responsável pela Inspeção																		
OCORRÊNCIA DE NÃO CONFORMIDADES E TRATAMENTO																		
Nº	DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA	SOLUÇÃO ADOPTADA	DATA DA REINSPEÇÃO	SITUAÇÃO														
				A	R													

		FVS – FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO: EXECUÇÃO DE PISO EM CERÂMICA								ORIGEM		IDENTIFICAÇÃO		FOLHA Nº				
										PES.PCP.024		FORM.PCP.026-004		Página 1 de 1				
OBRA:				LOCAL DE INSPEÇÃO:														
ITEM A INSPECIONAR	MÉTODO DE INSPEÇÃO	TOLERÂNCIA	UNIDADE INSPECIONADA															
			A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
Condições de Início	Verificar se o contrapiso está concluído há, pelo menos, 7 dias, se o revestimento das paredes está concluído, se as peças cerâmicas são do mesmo lote, se os ralos estão protegidos (no caso de áreas molhadas) e se o local encontra-se limpo.	-																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Execução dos Serviços	Verificar se está sendo seguida a paginação especificada e se o rodapé (nas áreas secas) está alinhado com o piso; Verificar o alinhamento entre as peças e a uniformidade da espessura das juntas.	±1mm																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Execução dos Serviços	Verificar com régua de alumínio a planicidade das peças assentadas e o caimento para os ralos nas áreas molhadas.	±1mm																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Finalização dos Serviços	Verificar o aspecto visual do pano revestido, quanto a limpeza e uniformidade das peças; Verificar se o excesso de argamassa foi removido das juntas entre as peças assentadas e se os espaçadores foram retirados.	-																
			Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:	Data:								
			Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:	Equipamento:								
Responsável pela Inspeção																		
OCORRÊNCIA DE NÃO CONFORMIDADES E TRATAMENTO																		
Nº	DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA							SOLUÇÃO ADOPTADA							DATA DA REINSPEÇÃO		SITUAÇÃO	
																	A	R