

ANÁLISE DE IMPACTO ESTRUTURAL OCASIONADO PELA SUBSTITUIÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS POR BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO EM EDIFICAÇÕES DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS EXECUTADAS EM CONCRETO ARMADO

Jonathan Charles Lucas Martins Almeida Siqueira, jonathanmartins16@hotmail.com¹

Vinicius Wilk Bezerra Rezende, vinicius.wilk13@gmail.com²

Heriston Rodrigues, heriston.rodrigues@ifmg.edu.br³

¹Instituto Federal de Minas Gerais, Av. Minas Gerais, 5189, Bairro Ouro Verde – Governador Valadares, MG

²Instituto Federal de Minas Gerais, Av. Minas Gerais, 5189, Bairro Ouro Verde – Governador Valadares, MG

³Instituto Federal de Minas Gerais, Av. Minas Gerais, 5189, Bairro Ouro Verde – Governador Valadares, MG

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário da construção civil no Brasil demonstra a necessidade de eficiência e produtividade no canteiro de obras. O setor no país evidencia grande demanda para soluções que venham a facilitar o dia a dia e a produção, trazendo um retorno não só na eficiência como também nos custos, que hoje em dia são bem elevados.

A racionalização, descrita por Costa e Franco (1996), como o meio de aumentar a eficiência, tendo como foco a produtividade, evitando perdas financeiras e de materiais, vem sendo o foco de diversas empresas do setor. Evidenciando isso, a indústria produtora de insumos para a construção, vem atuando juntamente com laboratórios e instituições de ensino para a produção de novos materiais que visam sobretudo, atender essa nova demanda do mercado consumidor.

Para fins de vedação das construções executadas com estruturas de concreto armado destaca-se o uso dos blocos cerâmicos. Contudo, o seu processo executivo é muito artesanal, demandando tempo e gerando muito desperdício nos canteiros de obras. Conforme Witzke (2017) os blocos cerâmicos oferecem benefícios reduzidos ao usuário final, levam mais tempo para serem executados, e demandam um custo total de mão de obra maior.

Dentro deste contexto, se faz necessário compreender e analisar a aplicação de novos materiais que otimizem o processo construtivo e tragam vantagens à construção civil. E, dentre os novos materiais disponíveis no mercado, destaca-se o Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) para fins de vedação, trazendo vantagens e benefícios às obras.

Segundo Ferraz (2011), o BCCA foi desenvolvido pelo arquiteto Johan Eriksson, por volta de 1920, na região da Suécia, tendo como diferencial a eficiência na produtividade, melhora acústica e térmica e principalmente diminuição das cargas aplicadas sob a estrutura. Embora sua utilização não seja tão difundida em território nacional, outros países como Estados Unidos e a comunidade Europeia já fazem grande uso em suas construções, por fornecer além destes aspectos, uma construção mais limpa, e consequentemente mais ecológica.

Portanto, este artigo tem como finalidade, explorar as possibilidades, propriedade e vantagens, levantar a discussão e fazer uma análise sobre o impacto que os BCCA geram, em termos de economia de cargas e materiais nas estruturas de concreto armado, quando aplicados em edifícios residenciais de médio porte, fazendo a utilização das normas técnicas brasileiras, para comparação dos carregamentos sobre a estrutura, dimensionando os elementos e a fundação para este edifício.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto na estrutura de concreto armado de uma edificação residencial com três pavimentos proporcionados pela substituição da alvenaria com blocos cerâmicos vazados pelos blocos de concreto celular autoclavado (BCCA) a partir da utilização dos métodos construtivos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Realizar uma revisão bibliográfica e a elaboração de referencial teórico sobre o assunto;

Analisar os impactos das cargas na superestrutura da edificação, com base em uma mesma concepção estrutural, respeitando as características da arquitetura do edifício;

Dimensionar as fundações baseadas nos carregamentos dos dois modelos;

Comparar os resultados dos quantitativos de materiais e os impactos da mudança do método executivo (BCCA e alvenaria de blocos cerâmicos).

1.2. Justificativas

Na engenharia civil, a complexidade de campos de atuação e pesquisa traz à tona o aprimoramento dos diversos ramos. Segundo Molina e Azevedo Junior (2014), a engenharia civil tem passado por uma transição de paradigma, onde as visões tradicionais de projeto vem evoluindo e se transformando em uma prática de simultaneidade ou paralelismo, que tende a facilitar as decisões precoces no projeto.

Dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), informam que no ano de 2020, a construção civil movimentou 304,4 bilhões de reais em valor de obras e/ou serviços da construção, e que o país possui 131,8 mil empresas atuantes nos diversos segmentos da engenharia civil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020). Tendo em vista o grande cenário da construção civil no Brasil e sua importância para o crescimento econômico e social, é cada vez mais necessário que tenhamos pesquisas voltadas ao aprimoramento e redução de custos no ramo.

Os métodos construtivos atualmente difundidos e mais usuais em território nacional são o concreto armado e a alvenaria com bloco cerâmico, que obteve destaque pois se beneficiou dos métodos artesanais de fabricação (PORTER E KRAMER, 2011), sendo estes métodos que não demandam mão de obra especializada e de custo baixo, mas que produzem uma eficiência inferior a demanda acelerada solicitada pelo mercado atualmente, com eliminação dos desperdícios e a industrialização (MATEUS, 2004). Diante da atual conjuntura, há uma necessidade da troca por novos materiais, melhores e mais eficazes.

Dentre as diversas áreas de atuação, o concreto armado, caracterizado e descrito por Carvalho e Figueiredo Filho (2014) como uma associação que, por meio do concreto simples e da armadura passiva (convenientemente colocada), se solidarizam, suportando assim os esforços solicitantes e consolidando um dos principais métodos construtivos utilizados no Brasil atualmente. Segundo

Mehta e Monteiro (1994), as razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos, com baixo custo de execução e facilmente disponíveis no canteiro de obra. Partindo desse ponto de vista, faz-se necessário estudos relacionados a estes sistemas tão difundidos em território nacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Normas

As normas técnicas são documentos que estabelecem uma série de especificações, diretrizes e regras para a elaboração de processos, criação de produtos, oferta de serviços e terminologias que devem ser utilizadas, produzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Essas normas estabelecem critérios técnicos e metodologias para o projeto, preparo, execução, controle e análise de estruturas de concreto armado, desde as fundações até a superestrutura, incluindo critérios para dimensionamento de armaduras, cálculo de esforços, controle de qualidade, entre outros aspectos relevantes para a segurança e eficiência das estruturas em questão. As normas utilizadas para a elaboração desta pesquisa foram:

- NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6122:2022 - Projeto e execução de fundações;
- NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas - Procedimento;
- NBR 12655:2022 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento;
- NBR 13438:2021 - Blocos de concreto celular autoclavado;
- NBR 14931:2004 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 15270-1:2017 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria.

2.2 Bloco de alvenaria cerâmica

Apontamos a construção das primeiras edificações, as quais tiveram como principais matérias-primas a madeira, o barro, a pedra e a palha. Posteriormente, passou-se a utilizar areia, cimento, blocos de cerâmica e outros elementos retirados do meio ambiente (DRUSZCZ, 2007).

De acordo com a norma ABNT NBR 15270-1:2005 – Blocos Cerâmicos Estruturais – Parte 1: Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaios, o bloco cerâmico é um material muito utilizado na construção civil devido às suas características como durabilidade, resistência, estabilidade dimensional e facilidade de produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). É um produto de argila que apresenta dimensões e características adequadas para a construção de paredes portantes e não portantes, muros e outras obras similares.

O bloco cerâmico também pode ser utilizado em estruturas de concreto armado, atuando como forma para o lançamento do concreto e como elemento estrutural após a cura. Um estudo realizado por Martins et al. (2017) avaliou o desempenho de blocos cerâmicos vazados estruturais em concreto armado e constatou que as peças apresentaram boa resistência e estabilidade, além de contribuir para a redução de custos na construção.

Segundo Viana e Alves (2013), os principais benefícios da utilização de blocos cerâmicos como material de vedação em comparação com sistemas inovadores são sua longa durabilidade, custo unitário reduzido, fabricação simplificada, capacidade de isolamento térmico e acústico, além da facilidade de instalação sem necessidade de mão de obra especializada. Ainda segundo Viana e Alves (2013), é importante mencionar que os blocos cerâmicos apresentam algumas desvantagens, como o peso considerável, maior tempo de execução, geração de resíduos e desperdício de materiais.

Bianchini (2017), nos lembra que o bloco cerâmico é associado ao baixo valor de mercado e lembrado por sua grande disponibilidade em território nacional, sendo um material extremamente usual nas obras. Além disso, destaca-se a facilidade de acesso aos blocos cerâmicos, tanto em termos de fornecimento quanto de distribuição, devido à sua ampla produção e presença em diversas regiões do país. Essa disponibilidade abundante contribui para a popularidade do bloco cerâmico como uma opção viável e acessível para projetos de construção e vedação.

2.3 Bloco de concreto celular autoclavado (BCCA)

Segundo dados fornecidos pela DVG Sical, uma das maiores produtoras do bloco no país, os BCCA são reconhecidos como o bloco verde, pois sua produção é sustentável, devido ao reaproveitamento da água e de todo o resíduo gerado no processo fabril (MANUAL COMPLETO PARA BLOCOS CCA DVG SICAL PRIMEIRA EDIÇÃO, 2021). Durante a execução dos sistemas de alvenaria, oferece uma alta economia na eliminação de perdas e, conseqüentemente, na geração de entulho, sendo possível tender à zero perdas. Em seu manual de desempenho, o BCCA possui uma produtividade de até 17,04 m²/h, sendo que o bloco cerâmico possui 5,45 m²/h. Na tabela 01, encontra-se a comparação dos blocos no que diz respeito a sua eficiência no canteiro de obras.

De acordo com a norma NBR 13438 – Blocos de concreto celular autoclavado, concreto celular autoclavado é um concreto leve, obtido através de um processo industrial, constituído por materiais calcários (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas (ASSOCIAÇÃO BRAILEIRA DE NORMAS TECNICAS, 1995).

Os mesmos não degradam nem alteram a sua composição ao longo dos anos. O Concreto Celular Autoclavado é incombustível e oferece resistência ao fogo superior aos blocos convencionais e possui um baixo índice de condutibilidade térmica. No que se refere à resistência térmica, uma parede de 10 cm de concreto celular equivale a uma de 25 cm de bloco cerâmico ou a uma de 30 cm de bloco de concreto (RIPPER, 1995).

Segundo Piroli (1985), os blocos podem ser facilmente cortados com serrote, possibilitando o aproveitamento das partes restantes. Podem ser escarificados e furados para instalações embutidas. Os BCCA, quando comparados aos blocos cerâmicos convencionais, proporcionam economia de argamassa de assentamento, redução no consumo de argamassa de revestimento e redução na mão de obra.

A tabela 01 apresenta uma análise comparativa entre os blocos BCCA, cerâmicos e de concreto, fornecendo informações úteis para a escolha do material mais adequado em determinadas aplicações. De acordo com Sampaio et al. (2020), os blocos BCCA apresentam alta resistência à compressão, o que os torna ideais para construções expostas a cargas elevadas. Já os blocos cerâmicos são reconhecidos por sua leveza e bom desempenho térmico, como apontado por Silveira et al. (2018), sendo indicados para construções que demandam isolamento térmico. Por outro lado, os blocos de

concreto, como destacado por Branco et al. (2017), são indicados para construções que demandam alta durabilidade. Assim, a escolha do material mais adequado deve levar em consideração as características específicas de cada aplicação, conforme indicado na tabela 01. Ademais, a figura 01 exemplifica os tipos de blocos abordados e suas diferentes geometrias.

Tabela 01 - Comparação BCCA x Cerâmico x Concreto

Tipos de blocos de Alvenaria	BCCA	Cerâmico	Concreto
Área de Construção (m ²)	4,77	4,47	4,85
Comprimento Alvenaria (m)	3,06	3,11	3,07
Altura Alvenaria (m)	1,56	1,44	1,58
Dimensões do bloco (C x H x E) cm	60 x 30 x 10	29 x 19 x 9	39 x 19 x 9
Consumo Argamassa Industrializada (kg)	62,00	162,20	96,60
Consumo (Kg/m ²)	13,00	36,29	19,92
Número de blocos (unidades)	25,00	73,50	60,00
Tempo Execução (minutos)	17'23"	49'31"	47'53"
Tempo Execução (hora)	0,28	0,82	0,79
Produtividade (m ² /h)	17,04	5,45	6,14

Fonte: Adaptado de DVG Sical, 2022.

Figura 01 - Comparação BCCA x Cerâmico x Concreto



Fonte: Adaptado de Celucon, Dishelp e Solin Blocos, 2018.

2.4 Ações

Segundo Carvalho, Figueiredo Filho (2007), qualquer influência, ou conjunto de influências capazes de produzir estado de tensão ou de deformação em uma estrutura é chamado de ação. As ações

provocam esforços e deformações nas estruturas, que se denominam solicitações. Estas podem ser geradas a partir de cargas externas aplicadas à estrutura, ao peso próprio da estrutura ou a partir de deformações impostas indiretas (recalques de apoio, retração dos materiais, fluência, variações de temperatura, imperfeições geométricas etc.).

Na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em estudo, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviços, conforme NBR 6118:2003, item 11.2.1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Para o caso de construções usuais, as ações podem ser classificadas em dois principais grupos: ações permanentes e ações variáveis.

As ações permanentes são aquelas que acompanham a utilização do edifício desde o início ao fim, ou seja, são aquelas que “entram e ficam para sempre”. (KIMURA, 2007). Segundo a NBR 6118:2003, item 11.3.1, são ações que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. Elas devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

O peso próprio da estrutura, peso dos elementos construtivos (alvenarias, revestimentos etc.) e o empuxo são classificados como ações permanentes diretas. As deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoios, imperfeições geométricas (globais e locais) e protensão são classificadas como ações permanentes indiretas.

As ações variáveis são aquelas que atuam somente durante um período da vida do edifício, ou seja, são aquelas que “entram e depois saem” (KIMURA, 2007). Segundo a NBR 8681:2003, item 3.6, são ações que ocorrem com valores que representam variações significativas, durante a vida da construção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Considera-se como ações variáveis as cargas acidentais que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos etc.), bem como os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio. As cargas acidentais são classificadas como ações variáveis diretas. A variação de temperatura e ações dinâmicas (choques, vibrações) são classificadas como ações variáveis indiretas.

As ações do vento também são importantes e devem ser levadas em conta no dimensionamento de estruturas em concreto armado. De acordo com a NBR 6123:1988, o vento pode causar diversas ações nas estruturas, como forças horizontais e verticais, momentos fletores e torções, além de vibrações e efeitos dinâmicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988). Conforme explicam os autores Araújo e Pinheiro (2018) em seu livro sobre engenharia estrutural, o cálculo das ações do vento deve levar em consideração diversos fatores, como a velocidade e a direção do vento, a rugosidade da superfície ao redor da construção, a forma e altura da edificação, entre outros.

2.5 Análises

2.5.1 *Software* TQS

O *TQS*, *software* de cálculo da empresa *TQS Informática LTDA*, indicado para projetos estruturais de edificações de concreto armado, conta com um conjunto de sistemas de forma integrada e automatizada, além de disponibilizar recursos para concepção e análise estrutural, dimensão, bem como detalhes de armaduras, produção de desenhos e emissão de plantas (*TQS*, 2022).

De acordo com Kimura (2007), a aplicação de tecnologias como o TQS é essencial para aumentar a eficiência e a qualidade dos projetos estruturais. Segundo o autor, o TQS apresenta uma interface amigável e diversas opções para personalização de projetos e é uma ferramenta fundamental para a realização de análises e dimensionamentos estruturais precisos e rápidos.

O *Software* escolhido para o dimensionamento das estruturas a serem analisadas é caracterizado como um *software* que possui integração ao *Building Information Modeling (BIM)* e proporciona ao usuário uma modelagem 3D inteligente, junto à análise da estrutura através de um modelo de pórtico espacial, com dados sobre os esforços, deslocamentos e dimensionamento, dos elementos estruturais conforme as normas brasileiras (TQS, 2022).

2.5.2 Multiplicador da rigidez axial para pilares

Em um edifício de múltiplos andares construído, os pavimentos não são realizados instantaneamente. As cargas verticais, como o peso próprio, são gradativamente adicionadas e acumuladas à medida que a estrutura é erguida. Devido a isso, as deformações axiais ocorridas nos lances dos pilares a cada acréscimo de carga proveniente de um novo andar são compensadas construtivamente. (TQS, 2022)

Esta compensação de deformações deve ser incorporada à modelagem para que sejam obtidos resultados compatíveis com a realidade. Esta condição pode ser atendida aumentando a rigidez axial dos pilares presentes no pórtico espacial, ou seja, aumentando-se a área da seção transversal dos pilares.

O multiplicador de rigidez axial para os pilares é um fator de regularização para a análise da estrutura. O efeito da configuração é de atribuir uma rigidez axial crescente para os pilares inferiores do projeto, a fim de que estes pilares apresentem um deslocamento menor (ALTOQI, 2022). No TQS, *software* adotado para a análise e comparativo das estruturas, é percebido a presença da configuração de aumento da rigidez axial dos pilares, da ordem de grandeza 10x. Sendo assim, para a referida análise, adotamos o fator 10 como multiplicador da rigidez axial.

2.5.3 Concepção estrutural

Segundo Darwin, Dolan e Nilson (2016), o processo de concepção de uma estrutura é uma atividade criativa que engloba a fusão de uma ampla variedade de aspectos, desde questões de ordem estética e funcional até a salvaguarda da segurança e a viabilização econômica. O propósito da concepção estrutural é a criação de uma solução que contemple integralmente todos esses requisitos, tornando-a realizável mediante o uso adequado de materiais, mão de obra e de recursos financeiros. Sendo assim, a concepção estrutural será feita de modo que o sistema estrutural seja eficiente para fornecer resistência e durabilidade, de acordo com as normas técnicas, com a finalidade e com as condições ambientais.

De acordo com Pellegrino e Callister Jr. (2017), na concepção estrutural é fundamental a escolha de um sistema estrutural adequado para conferir estabilidade e rigidez à estrutura. Por sua vez, conforme mencionado por Sá et al. (2019), a escolha da disposição dos pórticos pode influenciar no comportamento estrutural da edificação em relação às forças atuantes em cada uma das direções principais.

Segundo Martha (2010), a etapa crucial na concepção estrutural é a seleção da disposição dos pórticos, pois esta decisão tem um impacto direto sobre a estabilidade e a rigidez da estrutura, além de influenciar significativamente seu desempenho global. É essencial que a disposição dos pórticos seja baseada nas características do edifício, como sua geometria, distribuição de cargas e configuração arquitetônica, a fim de assegurar um comportamento estrutural apropriado para cada direção principal de aplicação de forças.

2.6 Critérios de projeto

2.6.1 Módulo de elasticidade, qualidade do concreto e durabilidade da estrutura

De acordo com Melo (2018), durante muitos anos as estruturas que precisavam resistir a grandes esforços eram feitas de pedra e seus vãos eram limitados à capacidade de compressão das pedras, o que exigia a construção de múltiplos suportes e apoios para ultrapassar determinada distância. De acordo com Monteiro (2008), o concreto simples já era conhecido na antiguidade e utilizado para a construção de edifícios e obras de arte. No entanto, a qualidade do concreto produzido na época não era tão elevada, principalmente devido à falta de controle sobre a qualidade dos materiais e das técnicas construtivas utilizadas.

Buscando ampliar a resistência das estruturas, foram realizados estudos e percebeu-se que era necessário um material resistente à tração, visto que a capacidade de compressão do concreto é de 10 vezes mais que a de tração. Para isso, surge o concreto armado, visando ampliar a capacidade de resistência das construções, fazendo uso do aço na parte inferior do elemento e o concreto como elemento predominante na parte superior (BOTELHO et al., 2004).

Segundo Pinheiro (2007), concreto armado é a associação de concreto simples com uma armadura, usualmente constituída de barras de aço. Os dois materiais devem resistir solidariamente aos esforços solicitantes, e essa solidariedade é garantida pela aderência. Entende-se por concreto simples a mistura dos agregados areia e pedra com cimento e água.

A partir da definição encontrada NBR 6118:2014, podemos caracterizar o módulo de elasticidade do concreto como uma grandeza que indica a relação entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). É um parâmetro fundamental no projeto, pois determina a rigidez da estrutura e a distribuição de esforços nas diferentes partes da estrutura. Quanto maior o módulo de elasticidade, maior é a rigidez da estrutura, o que implica em menores deformações sob carga e em uma distribuição mais uniforme de esforços.

A agressividade ambiental é normalmente o termo utilizado para descrever o potencial de aporte de substâncias deflagradoras de processos oxidativos (oxigênio e cloretos, principalmente) em estruturas de concreto armado. Já o termo corrosão, usado até há pouco tempo para descrever um determinado tipo de deterioração dos metais, vem sendo aplicado de forma mais abrangente e, atualmente, tem sido entendido como sendo a degradação dos materiais (metálicos e não metálicos) pela ação do meio. Na realidade, certos tipos de decomposição de materiais não metálicos (por exemplo, alguns problemas que incidem no concreto) seguem mecanismos similares aos que ocorrem na corrosão dos metais (NUNES; DUTRA, 2006).

De acordo com o quadro 01, as Classes de Agressividade Ambiental (CAA) são definidas com base na severidade do ambiente em que as estruturas são expostas. Segundo Dias e Helene (2010), a CAA é uma importante ferramenta para a seleção de materiais de construção, já que o grau de agressividade

do ambiente pode comprometer a durabilidade e segurança das estruturas. Além disso, de acordo com o estudo de Oliveira e Pimentel (2019), a correta identificação da CAA permite que sejam aplicadas técnicas de proteção e manutenção preventiva adequadas para evitar danos futuros.

Quadro 01 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana a, b	Pequeno
III	Forte	Marinha a	Grande
		Industrial a, b	
IV	Muito forte	Industrial a, c	Elevado
		Respingos de maré	
a. Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura). b. Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove. c. Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014

A qualidade do concreto e sua resistência influenciam diretamente na estrutura. Nas décadas passadas, a durabilidade acabou se tornando um dos fatores de maior destaque na construção de uma estrutura. É cada vez mais desejada a obtenção de estruturas de concreto com vida útil maior e menos gastos relativos a manutenções e reparos das mesmas. Ainda que o concreto tenha excelente desempenho, é inevitável, com o passar do tempo, a perda das suas características e do seu desempenho estético e funcional (MENEZES, 2009, p. [2]).

A tabela 02 apresenta as correspondências entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto, fornecendo informações importantes para a seleção adequada dos materiais. Conforme destacado pelo estudo de Silveira e Helene (2002), a seleção do tipo de cimento e dosagens adequadas de aditivos e agregados é fundamental para garantir a qualidade e durabilidade do concreto.

Tabela 02 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 01)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014

Seguindo a mesma linha, Andrade et al. (2011, p. 775) definem a durabilidade como sendo “[...] o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção.”. Com isso, constata-se que a durabilidade não é uma propriedade que se estabelece antes da concepção da estrutura, composta de armadura e concreto. E sim, devido a diferentes tipos de comportamento e formas como ela é utilizada ao longo do tempo, permitindo estabelecer o seu desempenho.

Segundo Silva (1995), nos casos de concreto armado, a conservação de um meio alcalino no concreto é um dos requisitos fundamentais para a preservação das estruturas de aço embutidas. Assume-se que a fronteira para início da corrosão da armadura está localizada a aproximadamente 8 mm mais internamente que a profundidade de neutralização da alcalinidade, medida pelo uso da fenolftaleína. Este seria, portanto, o limite de penetração dos íons e substâncias que potencializam o processo de corrosão durante a vida útil da obra.

A tabela 03 apresenta as correspondências entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal do concreto, o que é fundamental para garantir a proteção adequada das armaduras contra a corrosão. Conforme ressaltado por Neville e Brooks (2013), a corrosão das armaduras é um dos principais fatores que comprometem a durabilidade das estruturas de concreto armado, e a escolha adequada do cobrimento nominal é essencial para prevenir este problema.

Tabela 03 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 01)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^(b)	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^(d)	30		40	50
Concreto protendido ^(a)	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014

2.6.2 Cargas

2.6.2.1 Cargas por altura para cada parede:

A escolha das cargas de alvenaria para a estrutura é determinada por meio de indicação da norma ABNT NBR 6120:2019, correspondente à descrição de carregamentos em edificações, em conformidade com o material de vedação especificado em projeto arquitetônico ou em memorial descritivo, balizador da execução (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). A tabela 04 especifica as cargas de alvenaria para blocos de vedação constituídos de material cerâmico e concreto autoclavado.

Tabela 04 - Cargas de Alvenaria

ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
	Espessura nominal do elemento (cm)	Peso - Espessura de revestimento por face (kN/m ²)		
		0 cm	1 cm	2 cm
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3
Bloco de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	7,5	0,5	0,9	1,3
	10	0,6	1	1,4
	12,5	0,8	1,2	1,6
	15	0,9	1,3	1,7
	17,5	1,1	1,5	1,9
	20	1,2	1,6	2

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

2.6.2.2 Cargas de revestimentos:

A adoção de cargas nos projetos estruturais deve atender às características executivas da obra em análise, especificadas de acordo com o método executivo ou indicações dos projetos arquitetônicos e complementares. De acordo com a ABNT NBR 6120:2019, na tabela 05 (Revestimentos de pisos e impermeabilizações), são especificadas as cargas definidas normativamente a serem utilizadas.

Tabela 05 - Revestimentos de pisos e impermeabilizações

Material	Espessura (cm)	Peso (kN/m ²)
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,1
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	-	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	-	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1
	7	1,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7

NOTA Peso por metro quadrado de telhas, na superfície inclinada, incluindo a superposição, elementos de fixação e absorção de água.

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

A aplicação de revestimentos pode aumentar a carga na superfície do concreto, devido ao peso do material aplicado e à adição de camadas que aumentam a espessura da estrutura. Segundo RILEM (1992), revestimentos pesados podem causar tensões excessivas na superfície do concreto, especialmente em estruturas pré-moldadas ou com fissuras superficiais.

2.6.2.3 Cargas de telhado:

A NBR 6120:2019 estabelece as cargas de telhado e apresenta os valores mínimos a serem consideradas no projeto de estruturas de cobertura. Essas cargas devem ser analisadas de acordo com as características do telhado e a região onde a estrutura está localizada.

Segundo Araújo et al. (2017), a tabela de cargas de telhado da NBR 6120:2019 é uma ferramenta importante para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas de cobertura. A tabela 06 mostra a escolha adequada das cargas a serem consideradas no projeto para evitar problemas como deformações excessivas, rupturas e colapsos da estrutura.

Tabela 06 - Telhado

Composição	Peso na superfície horizontal kN/m ²
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de aço	0,3
Com telhas de alumínio (com espessura até 0,8 mm) e estrutura metálica de alumínio	0,2

NOTA Peso por metro quadrado de telhado, na superfície horizontal, incluindo a estrutura de suporte (tesouras, terças, caibros e ripas)

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

2.6.2.4 Cargas de forro:

A NBR 6120:2019 estabelece as cargas a serem consideradas no projeto de estruturas para suportar forros, dutos e sistemas de sprinklers. Essas cargas são importantes para garantir a segurança e a estabilidade das estruturas, considerando o peso dos elementos suspensos.

De acordo com o manual "Projetando Edifícios com aço" (ABCEM, 2012), a tabela de cargas de forros, dutos e sprinklers deve ser utilizada como referência para o dimensionamento de estruturas que suportem esses elementos. A tabela 07 estabelece os valores mínimos das cargas a serem consideradas no projeto, baseados nas características do material utilizado na construção do forro, duto ou sprinkler.

Tabela 07 – Forros

Material	Peso (kN/m ²)
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,1
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,1
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,1

Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

2.6.2.5 Cargas variáveis devido ao uso:

Segundo Araújo e Pinheiro (2015), a definição dos valores característicos nominais das cargas variáveis deve ser baseada em critérios técnicos, como a norma brasileira ABNT NBR 6120:2019, que estabelece parâmetros para o cálculo das cargas em estruturas de concreto e aço. De acordo com a tabela 08, os valores característicos nominais das cargas variáveis variam de acordo com a aplicação e o tipo de estrutura analisada. Esses valores são importantes para o dimensionamento de estruturas, uma vez que influenciam diretamente na resistência e na durabilidade das mesmas.

Tabela 08 - Valores característicos nominais das cargas variáveis devido ao uso

Local		Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	-
	Sala, copa, cozinha	1,5	-
	Sanitários	1,5	-
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	-
	Áreas de uso comum	3	-
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1	-
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	-
	Corredores de uso comum	3	-
	Áreas técnicas (Barrilete)	1,5	-

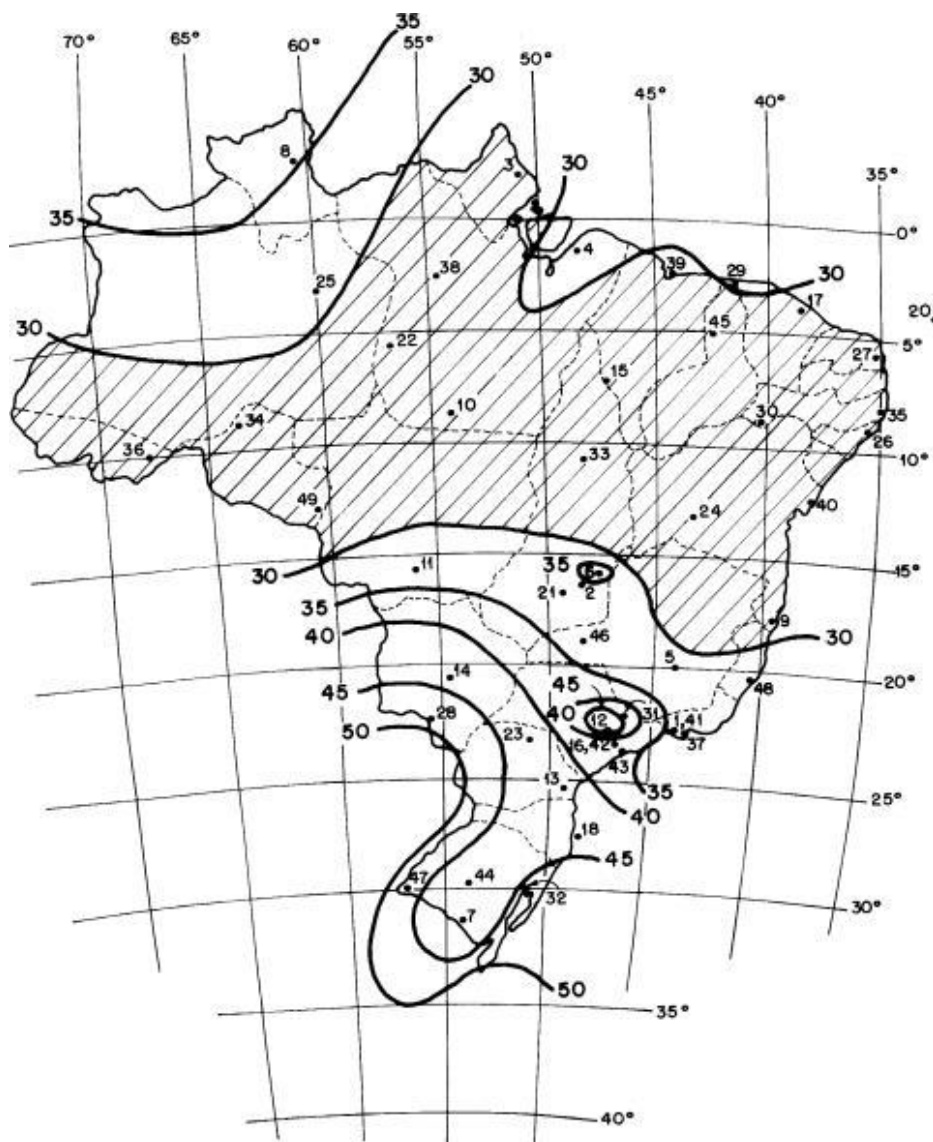
Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

2.6.2.6 Cargas variáveis devido ao vento:

Como a ação do vento é um fenômeno natural, ela é determinada com base em critérios genéricos para fins de análise. No entanto, se a edificação possuir formas ou dimensões atípicas, são necessários estudos específicos para determinar sua ação. (KRIPKA, 1990)

A determinação da pressão dinâmica envolve o cálculo da velocidade característica do vento, V_k . Essa velocidade é derivada da velocidade básica do vento (V_0) considerando os fatores S_1 , S_2 e S_3 . A Figura 02 apresenta as isopletas da velocidade básica utilizadas para o cálculo da velocidade característica do vento.

Figura 02 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: Adaptado de AltoQi, 2022.

A NBR 6123:1988 estabelece definições para os fatores S_1 , S_2 e S_3 . O fator S_1 leva em conta aspectos relacionados à topografia do local. Já o fator S_2 considera a influência conjunta da rugosidade do terreno, a variação da velocidade do vento com a altura e as dimensões da edificação. Por fim, o fator S_3 leva em consideração o nível de segurança exigido e a vida útil da construção, com base em princípios estatísticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

3. METODOLOGIA

3.1 Pesquisa:

A pesquisa se dará de forma quali-quantitativa, com o objetivo explicativo, fazendo-se uso de simulações computadorizadas, pelas quais a análise das estruturas se norteará, utilizando-se das quantidades de insumos diretamente impactadas com a alteração do método construtivo tanto para vedações internas, quanto para as vedações externas.

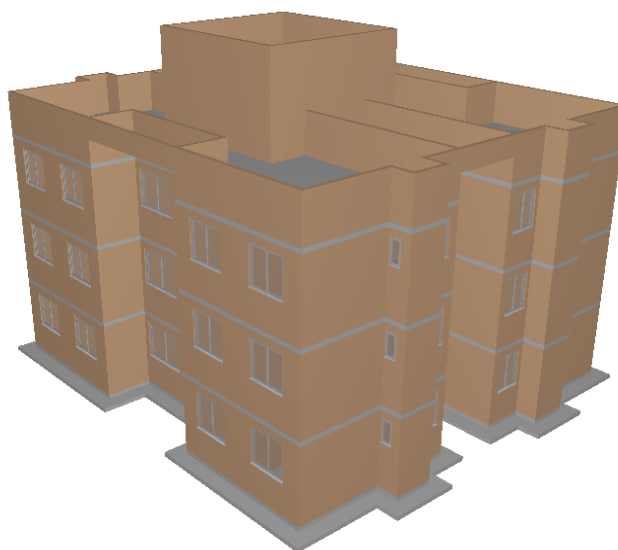
Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado inicialmente uma pesquisa bibliográfica, sendo estabelecido como critério de pesquisa as palavras chaves: concreto armado, estruturas, edificações, BCCA e alvenarias de vedação. Após essa extração de artigos, teses de doutorado, livros, normas técnicas, sites de internet e textos técnicos sobre os assuntos, foi realizada uma leitura inicial, destacando os principais pontos de interesse e que mais se relacionavam com o objetivo deste trabalho.

3.2 Escolha do projeto arquitetônico:

Segundo Varella (2016), a otimização do projeto arquitetônico e estrutural é uma estratégia para reduzir os custos na construção de habitações de interesse social, visando minimizar a quantidade de materiais utilizados e maximizar a eficiência dos sistemas construtivos. Para isso, é crucial que o projeto seja elaborado por profissionais capacitados, que possuam conhecimento sobre as tecnologias e materiais disponíveis no mercado, para que possam escolher as soluções mais adequadas para cada situação.

Adiante, na figura 03, podemos ver a escolha do projeto arquitetônico para análise estrutural, sendo o projeto escolhido, de autoria de uma construtora local, com o objetivo de atender as necessidades de um conjunto habitacional de interesse social de múltiplos pavimentos na cidade de Governador Valadares – Minas Gerais.

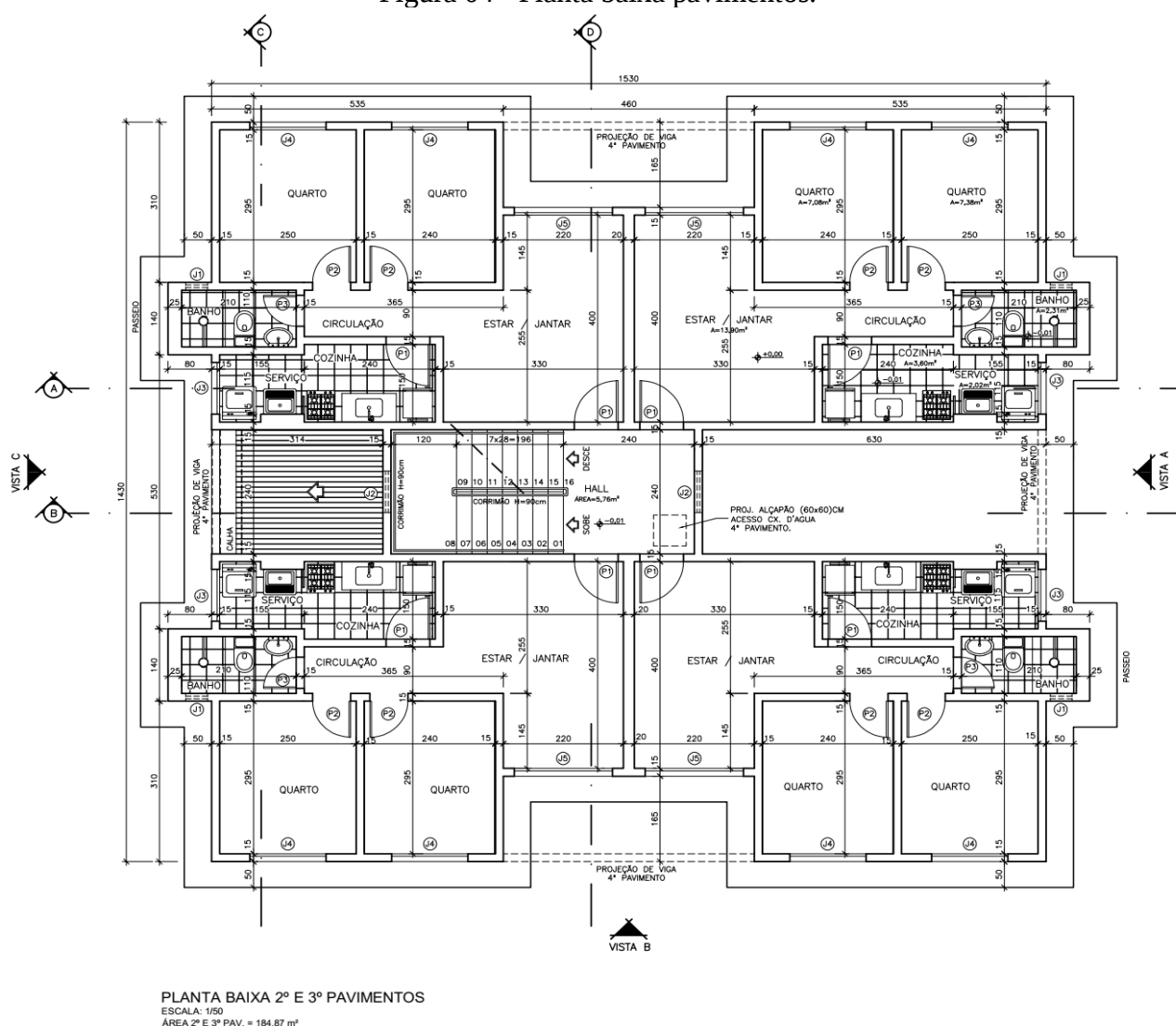
Figura 03 - Imagem 3D do edifício.



Segundo dados coletados no ano de 2019, pelo IBGE, existiam cerca de 222 mil pessoas em situação de rua no país (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019). O grande número de pessoas em situação de rua, associado às famílias que não possuem condições de moradia, ou que vivem em residências com falta de segurança, trazem à tona o problema da habitação social no país, e fazem com que os órgãos governamentais trabalhem para a solução desses problemas.

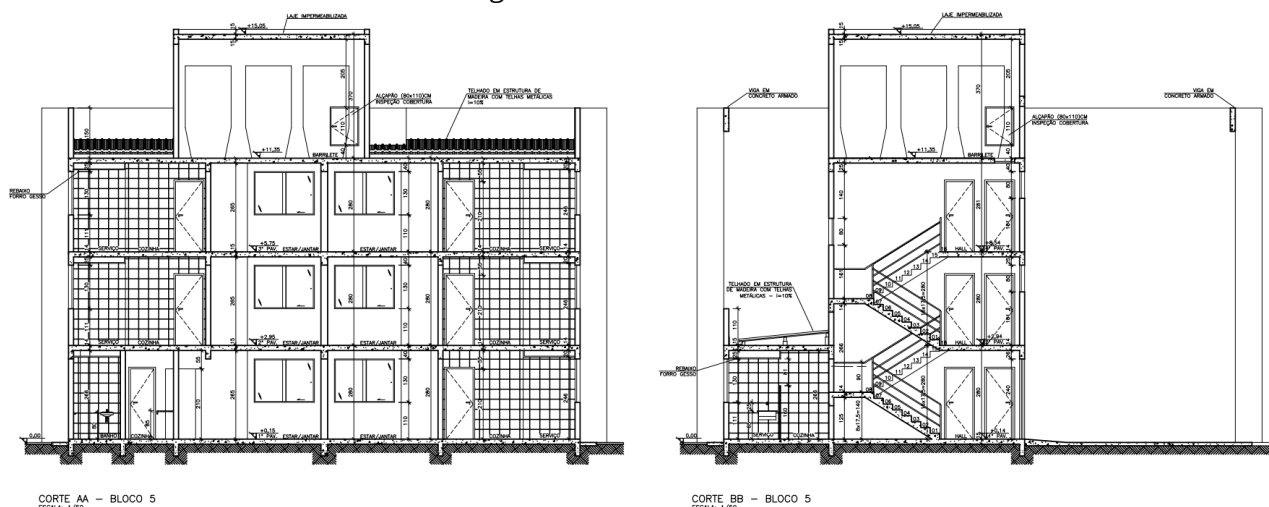
O cadastro único, sistema do Governo Federal, apontou em dezembro de 2020, a existência de 2,3 milhões de famílias cadastradas como sem moradia ou em situação de vulnerabilidade habitacional (MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL, 2020). Nas figuras 04 e 05, encontramos os projetos utilizados para a construção de um conjunto habitacional, para suprir as necessidades das famílias sem moradia.

Figura 04 - Planta baixa pavimentos.



Fonte: Autores, 2023.

Figura 05 - Cortes AA e BB.



Fonte: Autores, 2023.

3.3 Escolha do Software:

Para o estudo da estrutura e seu dimensionamento, a escolha do *software* a ser adotado é de grande importância. Dentre os principais *softwares* de dimensionamento estrutural do mercado brasileiro, foi escolhido o TQS, da empresa TQS Informática LTDA, sendo o único com licença estudantil gratuita e que possibilita um salvamento das informações adotadas e a geração de plantas, além de ser um programa utilizado para diversos tipos de estruturas, dentre elas as de edificações prediais.

3.4 Concepção estrutural do projeto:

A metodologia utilizada neste trabalho se baseia na comparação dos projetos estruturais otimizados com a diferenciação das vedações e as suas respectivas cargas normativas. Na primeira proposta adotada serão utilizados os blocos cerâmicos para fechamento de divisões internas e externas, enquanto na segunda, as vedações serão compostas por BCCA.

A proposta 01 adotou blocos cerâmicos de 9cm e 14cm, enquanto na proposta 02 foram utilizados blocos autoclavados de 10cm e 15cm, para utilização tanto em fechamentos internos quanto externos. Para as divisórias internas, foram escolhidos blocos cerâmicos de 9cm e blocos autoclavados de 10 cm, enquanto para as divisórias externas, foram escolhidos blocos cerâmicos de 14cm e blocos autoclavados de 15cm. Em ambas as propostas, os blocos receberam um revestimento de 2cm em cada lado.

Foi estabelecida uma concepção inicial que atenda aos projetos arquitetônicos e adotadas as mesmas características de materiais para as duas situações, podendo ser variável as dimensões dos elementos estruturais (laje, vigas e pilares), sendo que essas deverão atender às instruções normativas.

De acordo com o projeto arquitetônico, o pé-direito do ambiente foi definido em 2,80 m, enquanto o rebaixo para o forro foi estabelecido em 0,4 m. Levando em consideração esses parâmetros, a altura livre disponível para as vigas foi calculada subtraindo o rebaixo do pé-direito, resultando em uma

altura de 2,40 m. A partir disso, foi definida a altura máxima das vigas em 40 cm, levando em conta os critérios estéticos e distância adequada em relação ao forro.

Adicionalmente, optou-se pela adoção de uma laje treliçada unidirecional pela sua capacidade de vencer grandes vãos com menor altura. O vão médio adotado foi de 3,5m para o projeto em análise.

3.4.1 Módulo de elasticidade do concreto:

O valor do módulo de elasticidade do concreto pode variar de acordo com diversos fatores, tais como a idade do concreto, o tipo e a proporção dos materiais empregados na sua produção, a taxa de carregamento, entre outros. Na prática, o valor do módulo de elasticidade pode ser determinado por meio de ensaios em corpos de prova, que consistem em amostras de concreto moldadas em laboratório.

Para Governador Valadares, cidade onde o projeto em análise no presente artigo está localizado, devido às características dos materiais locais utilizados na produção do concreto, e as condições ambientais específicas da região, há de se adotar um módulo de elasticidade de 23000 MPa.

3.4.2 Definições adotadas no projeto:

O quadro 02 apresenta um resumo das definições de projeto mais importantes para a concepção de uma edificação. Essas definições desempenham um papel fundamental na etapa inicial do processo de projeto, fornecendo as bases e os parâmetros necessários para o desenvolvimento da edificação.

Quadro 02 - Resumo das definições de projeto

Descrição		Definição	Referência / Fonte
<i>Definições de projeto</i>			
Aço		CA50 e CA60	-
CAA (Classe de Agressividade Ambiental)		CAA II	Quadro 01
Concreto		C30	Tabela 02
Cobrimento Nominal	Lajes	25mm	Tabela 03
	Vigas	30mm	
	Pilares	30mm	
	Fundações	30mm	
Pé direito	Pavimento Tipo	2,80m	Projeto Arquitetônico
	Reservatório/Barrilete	3,70m	

Fonte: Autores, 2023.

3.5 Cargas:

3.5.1 Cargas permanentes adotadas nos dois modelos:

A tabela 09 apresenta um resumo das cargas de alvenaria consideradas no projeto de uma estrutura. As cargas de alvenaria são aquelas que atuam sobre as paredes de alvenaria e devem ser levadas em consideração para o dimensionamento adequado dos elementos estruturais adjacentes. Essas cargas incluem o peso próprio das paredes, bem como as cargas adicionais devido a revestimentos, instalações e outras cargas concentradas.

Tabela 09 - Resumo das cargas de alvenaria de projeto

Descrição	Definição	Referência / Fonte
<i>Carregamentos das alvenarias</i>		
Paredes situação 01 (Alvenaria de bloco cerâmico)	Cobertura do reservatório	0,24 kN/m
	Reservatório	5,68 kN/m
	Platibanda	2,4 kN/m
	Balanço do banheiro	5,035 kN/m
	Central	5,035 kN/m
Paredes situação 02 (Alvenaria de bloco de concreto celular autoclavado)	Demais paredes	4,24 kN/m
	Cobertura do reservatório	0,21 kN/m
	Reservatório	4,97 kN/m
	Platibanda	2,1 kN/m
	Balanço do banheiro	4,505 kN/m
	Central	4,505 kN/m
	Demais paredes	3,71 kN/m

Fonte: Autores, 2023.

A tabela 10 apresenta as cargas permanentes consideradas no projeto de uma edificação, conforme as normas e regulamentos aplicáveis. As cargas permanentes, também conhecidas como cargas fixas, são aquelas que atuam constantemente sobre a estrutura e não variam com o tempo. Essas cargas são determinadas com base em critérios normativos, levando em consideração os materiais utilizados, as dimensões dos elementos estruturais e os padrões de uso previstos para a edificação.

Tabela 10 - Resumo das cargas permanentes de projeto

Descrição	Definição	Referência / Fonte
<i>Cargas Permanentes</i>		
Lajes	Cobertura do reservatório	0,08 kN/m ² (Impermeabilização)
	Reservatório	1,50 kN/m ² (Barrilete)
	Demais lajes no nível do reservatório	0,30 kN/m ² (Telha metálica)
	Banheiro e área de serviço	0,25 kN/m ² + 1 kN/m ² (Forro + Revestimento)
	Quarto, sala, copa, hall e cozinha	1,00 kN/m ² (Revestimento)

Fonte: Autores, 2023.

3.5.2 Cargas variáveis de uso adotadas:

A tabela 11 apresenta um resumo das cargas variáveis consideradas no projeto de uma estrutura. As cargas variáveis são aquelas que atuam sobre a estrutura de forma transitória ou alterável ao longo do tempo, como o peso de pessoas, móveis, equipamentos, cargas móveis e outras cargas que podem ser adicionadas ou removidas da estrutura durante sua vida útil.

Tabela 11 - Resumo das cargas variáveis de uso de projeto

Descrição		Definição	Referência / Fonte
<i>Cargas Variáveis</i>			
Lajes	Cobertura do reservatório	1,00 kN/m ²	Tabela 08
	Demais lajes no nível do reservatório	1,00 kN/m ²	
	Banheiro, quarto, sala, copa, hall e cozinha	1,50 kN/m ²	
	Área de serviço	2,00 kN/m ²	

Fonte: Autores, 2023.

3.5.3 Cargas de vento adotadas:

As cargas de vento são um aspecto essencial a ser considerado no projeto de edificações, uma vez que o vento exerce forças significativas sobre as estruturas. Essas cargas são resultado das interações complexas entre o vento e a geometria da edificação, levando em consideração fatores como a velocidade do vento, a altura da edificação, a rugosidade do terreno e a localização geográfica.

As cargas de vento utilizadas nessa pesquisa, consideradas no projeto estrutural e na análise de estabilidade da edificação, garantindo que a estrutura seja capaz de resistir às forças do vento sem sofrer danos ou colapsar, ver tabela 12.

Tabela 12 – Carregamentos de vento na estrutura

VENTO 0°		
FA1	1667,67	KN
FA2	1898,36	KN
FA3	2493,61	KN
FA4	1498,28	KN
VENTO 90°		
FA1	1747,09	KN
FA2	1988,76	KN
FA3	2612,35	KN
FA4	1569,63	KN

Fonte: Autores, 2023.

3.6 Análise dos estados limites:

A NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto Armado estabelece diferentes estados limites que devem ser verificados em projetos de estruturas de concreto armado. O quadro 03 introduz os estados limites, que são condições a que a estrutura deve resistir para garantir sua segurança e desempenho adequados para uma fiel análise do impacto dessas alvenarias. Na análise foram seguidos os métodos de cálculo e detalhamento das estruturas, com a análise do Estado Limite Último (ELU), estado em que a estrutura atinge a ruptura ou colapso, ou seja, quando sua capacidade de resistência é totalmente consumida; Estado Limite de Serviço (ELS), estado em que a estrutura deve atender a requisitos de deformação, vibração e estabilidade, abrangendo o Estado Limite de abertura das fissuras (ELS-W), estado importante para garantir que as fissuras não comprometam a estanqueidade e a durabilidade da estrutura; Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF), estado importante para garantir que a estrutura não sofra deformações excessivas que possam prejudicar o seu desempenho e o Estado Limite de vibrações excessivas (ELS-VE), estado importante para garantir que a estrutura não apresente vibrações que possam prejudicar o seu uso ou o conforto dos usuários.

Quadro 03 – Limites para deslocamentos

Tipo de Efeito	Razão da Limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 100 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$

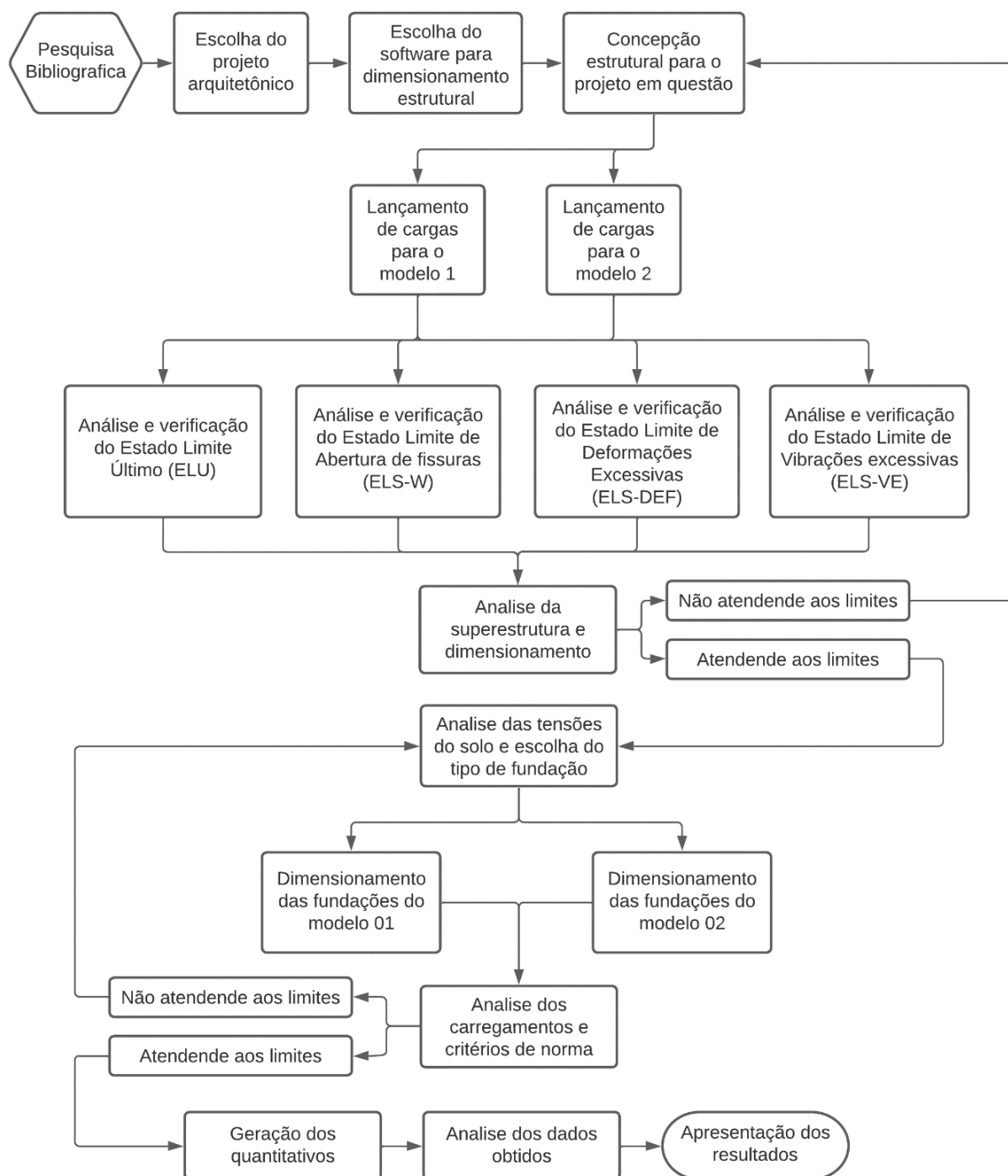
Fonte: Adaptado da Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019

A análise e o dimensionamento foram realizados seguindo as normas relevantes acima descritas, em especial as normas diretamente ligadas ao cálculo de estruturas de concreto armado (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento - NBR 6118:2014) e de cargas (Ações para o cálculo de estruturas de edificações – NBR 6120:2019).

3.7 Análise da superestrutura e dimensionamento:

Após as verificações exigidas pela NBR 6118:2019, foi realizada a análise dos resultados, utilizando a comparação direta, por meio das tabelas de quantitativos geradas pelo *software* TQS. A figura 06 introduz o fluxograma a ser seguido, relacionando os quantitativos de aço, volume de concreto e área de forma, que são os principais pontos a serem comparados entre os dois métodos construtivos analisados. Ademais, serão analisados os impactos de carregamentos nas fundações, provocados pelas cargas na fundação da estrutura proposta.

Figura 06 – Fluxograma Metodologia de pesquisa utilizada.



Fonte: Autores, 2023.

4. CRONOGRAMA

	Tarefas	Jul/23	Ago/23	Set/23	Out/23	Nov/23	Dez/23
TCC II	Concepção e modelagem da estrutura pelo método 01	X					
	Concepção e modelagem da estrutura pelo método 02	X					
	Análise dos resultados	X	X				
	Comparação entre os resultados		X				
	Elaboração das conclusões e referencias		X	X			
	Ajustes finais			X	X		
	Elaboração da apresentação					X	
	Apresentação do TCC II					X	X

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P.; MEDEIROS, M. H. F. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (Org.). Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo, 2011. p. 773-808.

ARAÚJO, F. R.; PINHEIRO, L.M. **Projeto de Edifícios em Aço**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2018.

ARAÚJO, R. L. et al. **Projeto de Estruturas de Concreto: Fundamentos, Normas e Exemplos**. Oficina de Textos, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **"Projetando Edifícios com Aço"**. São Paulo: ABCEM, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações - NBR 6120:2019**. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento - NBR 6118:2014**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações - NBR 6123:1988**. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas: procedimento - NBR 8681:2003**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos de Concreto Celular Autoclavado - Requisitos - NBR 13438:2021**. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos Cerâmicos Estruturais – Parte 1: Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio - NBR 15270-1:2005**. Rio de Janeiro, 2005.

BIANQUINI, F. M. **Estudo comparado dos custos diretos entre os sistemas de vedação com alvenaria de blocos cerâmicos e com alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado**. 2017.

BOTELHO, M. et al. **Concreto Armado Eu Te Amo**. 3. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2004.

BRANCO, F. A. P. et al. **Estudo Comparativo de Blocos de Concreto e Cerâmicos Utilizados em Alvenaria Estrutural**. Anais do 12º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2017.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3.ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

COSTA, M. R. M. M.; FRANCO, L. S. **Método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavado**. 1996.

DARWIN, D.; DOLAN, C. W.; NILSON, A. H. **Design of concrete structures**. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2016.

DRUSZCZ, M. T. **Avaliação dos aspectos ambientais dos materiais de construção civil: uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico**. 2007. 163 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DIAS, A., & HELENE, P. **Durabilidade das estruturas de concreto: mecanismos, controle e reabilitação**. São Paulo: PINI, 2010.

FERRAZ, F. C. **Comparação dos Sistemas de Alvenaria de Vedação: Bloco de Concreto Celular Autoclavado x Bloco Cerâmico**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção - PAIC**. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2020_v30_informativo.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnad-continua.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 14 mai. 2023.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: Pini, 2007.

KRIPKA, M. **Análise Incremental Construtiva de Edificações**. Dissertação (Mestrado), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

MARTHA, L. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Elsevier Brasil, 2010.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 271 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2004. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/817>>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MARTINS, M. A.; SILVA, J. C. P.; SIQUEIRA, J. O. B. **Estudo de blocos cerâmicos vazados estruturais em concreto armado**. Revista de Engenharia Civil IMED, v. 4, n. 2, p. 129-144, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008, p. 04-06

MEHTA, P. K., & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MELO, A. R. M. **História da construção em pedra**. 1ª ed. Editora UFMG, 2018.

MENEZES, L. F. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado**. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: <<http://info.ucsal.br/banmon/index.html>>. Acesso em: 31 abr. 2012.

MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL. **Painel de Monitoramento do Cadastro Único**. 2020. Disponível em: <<https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/portal/index.php/painel-cadastro-unico>>. Acesso em: 14 mai. 2023.

MOLINA, M. L. A.; JUNIOR, W. A. **Formação em engenharia civil: desafios para o currículo na UFJF**. XLII COBENGE-XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. 2014. p. 18-30. <<http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/5/Artigos/129281.pdf>>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

Neville, A. M., & BROOKS, J. J. **Technology of concrete: basic principles for ready mixed concrete**. Pearson, 2013.

NORMA DE DESEMPENHO ABNT NBR 15.575:2013 **MANUAL COMPLETO PARA BLOCOS CCA DVG SICAL PRIMEIRA EDIÇÃO**. 2021. Disponível em: <[amazonahttps://blocosical.s3.sa-east-1.amazonaws.com/MANUAL_NORMA_DE_DESEMPENHO.pdf](https://blocosical.s3.sa-east-1.amazonaws.com/MANUAL_NORMA_DE_DESEMPENHO.pdf)>. Acesso em: 3 abr. 2023.

NUNES, L.P, DUTRA, A.C. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 262 p.

OLIVEIRA, A. C., & PIMENTEL, R. R. **Durabilidade de concretos expostos a condições agressivas em regiões litorâneas**. Revista Escola de Minas, 72(1), 69-75, 2019.

PELLEGRINO, D. M., & CALLIESTER Jr., W. D. **Materials science and engineering: An introduction**. John Wiley & Sons, 2017.

PIROLI, E. **Construções de Edifícios I, notas de aula**. COTEC, 1985.p. 21-23

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. **Creating shared value**. Harvard Business Review, v. 89, n. 1–2, 2011.

RILEM TC 144-TDF: **"Test and design methods for steel fibre reinforced concrete"**. Materials and Structures, vol. 25, pp. 437-444, 1992.

RIPPER, E. **Manual Prático de Materiais de Construção**. São Paulo: PINI, 1995.

SÁ, J. D. O., RIBEIRO, L. F., & F., T. F. **Análise do comportamento dinâmico de estruturas de concreto armado em regiões de baixa sismicidade.** Revista Brasileira de Engenharia Civil, 14(1), 1-11, 2019.

SAMPAIO, M.A.A. et al. **Análise Comparativa entre os Blocos de Concreto e BCCA Utilizados na Alvenaria Estrutural.** Anais do 4º Congresso Internacional de Tecnologia e Sustentabilidade na Construção (SUSTEC), 2020.

SILVA, P. F. A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana.** São Paulo: Pini, 1995. 152 p.

SILVEIRA, J. V. et al. **Avaliação do Desempenho Térmico de Blocos Cerâmicos de Vedação.** Anais do 13º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2018.

SILVEIRA, G. M., & HELENE, P. R. L. **Concreto de alta resistência e sua durabilidade.** Ambiente Construído, 2(1), 7-20, 2002.

VARELLA, P. **Estratégias para redução de custos na construção de habitações de interesse social.** Revista Técnico-Científica do CREA-PR, v. 4, n. 8, p. 95-105, 2016.

VIANA, S. A. O.; ALVES, E. C.. **Análise de Custo e Viabilidade Dentre os Sistemas de Vedação de Bloco Cerâmico e Drywall Associado ao Painel Monolite EPS.** Rio de Janeiro: Abpe, 2013. 13 v.

WITZKE, F. B. **Análise técnico-econômica dos blocos de concreto celular autoclavado na alvenaria de vedação.** Revista Engenharia e Construção Civil, v. 3, n. 2, 2017.