

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE ADOBES PRODUZIDOS
COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO**

JÉSSICA AZEVEDO COELHO

ORIENTADOR: PROF. DR. MÁRCIO ALBUQUERQUE BUSON

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO, LINHA DE PESQUISA EM
SUSTENTABILIDADE, QUALIDADE E EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Brasília, 2023.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE ADOBES PRODUZIDOS
COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO**

JÉSSICA AZEVEDO COELHO

Dissertação de Mestrado apresentado(a) ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Albuquerque Buson.

Brasília, 2023.

Ficha catalográfica

COELHO, JÉSSICA AZEVEDO
ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE ADOBES PRODUZIDOS COM
A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO
[Distrito Federal] 2023.
xvii, 102p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2023).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo.
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
1. Adobe. 2. Construção com terra. 3. Resíduo de mineração.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COELHO, J. A. (2023). ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE ADOBES PRODUZIDOS COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE MINERAÇÃO. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102p

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Jéssica Azevedo Coelho

TÍTULO: Análise do desempenho físico-mecânico de tijolos de adobe produzidos com resíduo de mineração

GRAU: Mestre ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Jéssica Azevedo Coelho
Rua 17, N 127, Qd G, Lt 06, Vila Santa Helena
CEP 74.555-290, Goiânia-GO
e-mail: jessica1901@gmail.com

JÉSSICA AZEVEDO COELHO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE TIJOLOS DE ADOBE
PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE MINERAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentado(a) ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade.
Orientador: Prof. Dr. Márcio Albuquerque Buson.

APROVADO POR:

Prof. Dr. Márcio Albuquerque Buson
Universidade de Brasília
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Luna de Melo
Universidade de Brasília
Examinador Interno

Prof.^a Dr.^a Sheyla Karolina Justino Marques
Instituto Federal de Alagoas
Examinadora Externa

Brasília, 26 de janeiro de 2023.

Compreendi que nunca poderei me esquecer de onde venho. Minha alma sempre olhará para trás e se maravilhará com as montanhas que escalei, os rios que atravessei e os desafios que ainda me esperam pela estrada. Essa compreensão me fortalece.

Maya Angelou

Dedicatória

Sem nunca me desprender das minhas origens e sem perder de vista o que (e quem) realmente importa, dedico esse trabalho àqueles que diante de todas as adversidades constituíram as famílias que me permitiram chegar até aqui, meus avós, Antônia, Julião (*in memoriam*), Maria Lúcia e Sérgio (*in memoriam*).

Agradecimentos

Concluir este trabalho foi uma conquista particularmente sofrida que só foi possível porque muitos estiveram comigo portanto agradeço:

À Deus, por, das mais variadas formas, se mostrar presente em minha vida e por me permitir vivenciar tantos momentos incríveis desde o ingresso no PPG-FAU.

À minha família, por contribuir para que eu seja quem sou. Por serem cidadãos conscientes e engajados, cada um à sua maneira, fazendo parte daqueles 50,9% dos brasileiros que acreditam que a educação pública, gratuita e de qualidade pode mudar vidas, assim como mudou a nossa.

À minha mãe, Silvia, minha fortaleza, que sofreu comigo, mas nunca me deixou desanimar nesse percurso do mestrado.

Ao meu pai, Aldemí, por ser minha inspiração nos estudos e por ter fabricado a fôrma que tornou possível a produção dos meus tijolos.

Aos meus irmãos, Sérgio e Plínio, por serem seres humanos que me inspiram a querer ser um pouco melhor a cada dia.

Ao meu noivo, Rafael, por me apoiar e moldar os seus planos em função deste trabalho.

Aos meus amigos, de uma forma geral, por terem direta ou indiretamente contribuído com este trabalho.

À Juliana Arrais, por ter me convidado a conhecer o PPG FAU/UnB.

À Andreia Prado, minha amiga e diretora do IFG-Uruaçu, pelo incentivo ao mergulho nas técnicas de construção tradicionais sustentáveis.

À Luana Moreira, por sempre me lembrar que mesmo com as adversidades é preciso uma *mens sana in corpore sano* para se fazer o que precisa ser feito.

À todos aqueles que estiveram comigo nos momentos de felicidade, choro, desespero, descontração e trabalho (muito trabalho!). Sem vocês eu não teria chegado até aqui: Reila Cinalli, Marlon Petri, Cristiane Alvarenga, Guilherme Santos, Eloísa Ávila, Gustavo Quirino e Maurílio Humberto.

Aos meus alunos que acompanharam as infinitas planilhas de planejamento, re-planejamento e reposição de aulas em função das atividades do mestrado, em especial àqueles, orientandos ou não, do Sustenta IF, que também compartilham os altos e baixos de se querer contribuir com pesquisas voltadas para o desenvolvimento sustentável na construção civil.

Ao Sebastião Nunes e ao Antônio Teles pela disponibilidade em me auxiliar na parte experimental no laboratório de Materiais de Construção do IFG-Uruaçu.

Ao meu orientador, Márcio Buson, por acreditar e compreender esse árduo processo que foi desenvolver um trabalho de pesquisa, sendo professora, em meio a uma pandemia. Obrigada por estar sempre disponível para me orientar, mesmo à distância.

Ao Instituto Federal de Goiás – Câmpus Uruaçu, pela oportunidade e o desafio de me transformar em uma professora mais humana a cada dia, por ter sido minha casa por todos estes anos e por, mesmo neste período de pandemia, me acolher para o desenvolvimento da parte experimental desta dissertação.

À Universidade de Brasília, por ter se transformado de “um sonho distante” para uma “grata realidade” nesses milhares de quilômetros percorridos nas madrugadas desta insana triangulação Goiânia – Brasília – Uruaçu, no período 2019-2022.

Aos membros examinadores, por prontamente atenderem ao chamado para avaliar e contribuir com este trabalho.

Resumo

A extração mineral no Brasil é responsável por parcela considerável do produto interno bruto (PIB) nacional. Este grande volume extrativo está diretamente relacionado com a quantidade de resíduo gerado ao final das plantas de produção. Soluções que visem a incorporação do resíduo depositado/descartado contribuem para minimizar o passivo ambiental gerado pela exploração mineral. O setor da construção civil tem sido grande aliado neste tipo de solução, ao passo que vários dos seus materiais e técnicas construtivas permitem o aproveitamento ou a incorporação de resíduos das mais diferentes cadeias produtivas. Dentre estas técnicas está o adobe, que consiste na conformação de solos plásticos, em um formato prismático, com posterior secagem ao ar para então ser utilizado nas edificações como componente de diferentes sistemas, como o de vedação, estrutural e até de cobertura. Dito isto, este trabalho buscou avaliar o desempenho de adobes produzidos com a adição de resíduo da mineração de cobre e ouro, depositado no município de Alto Horizonte, no estado de Goiás. Os adobes foram confeccionados com 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de incorporação do resíduo à amostra de solo local. As unidades produzidas foram posteriormente submetidas a ensaios de compressão simples e de absorção de água por imersão, onde a mistura com 20% (em massa) de resíduo foi a que apresentou melhores resultados nos dois índices, mesmo que não tenha atingido o mínimo estabelecido pelas normativas brasileiras. Concluiu-se que a produção de adobes com a incorporação de resíduo da mineração em até 20% em massa, seguindo os critérios definidos na pesquisa, resultou em componentes com melhor desempenho à compressão simples e à absorção de água, quando comparados às unidades de controle, produzidas apenas com solo. No entanto, para que haja o atendimento aos requisitos mínimos de resistência é necessária uma maior adição de estabilizante, como o cimento ou a cal.

Palavras-chave: Adobe. Construção com terra. Resíduo de mineração.

Abstract

The mineral guarantee in Brazil is responsible for a considerable portion of the national gross domestic product (GDP). This large extractive volume is directly related to the amount of waste generated at the end of the production plants. Solutions aimed at incorporating the deposited/discarded tailings resulted in minimizing the environmental liabilities generated by mineral exploration. The civil construction sector has been a great ally in this type of solution, while several of its materials and construction techniques allow the use or incorporation of waste from the most different production chains. Among these techniques is adobe, which consists of conformation of plastic soils, in a prismatic format, with subsequent drying in the air to then be used in buildings as a component of different systems, such as sealing, structural and even covering. That said, this work sought to evaluate the performance of adobes produced with the addition of tailings from copper and gold mining, deposited in the municipality of Alto Horizonte, in the state of Goiás. The adobes were made with 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% incorporation of waste to the local soil sample. The units produced were later observed in tests of simple compression and water absorption by immersion, where the mixture with 20% (by mass) of waste was the one that presented the best results in both indices, even if it did not reach the minimum established by the Brazilian regulations. It was concluded that the production of adobes with the incorporation of mining waste in up to 20% by mass, following the criteria defined in the research, resulted in components with better performance for simple sources and water absorption, when compared to control units, produced only with soil. However, to meet the minimum strength requirements, a greater addition of stabilizer, such as cement or lime, is necessary.

Keywords: Adobe. earth construction. Mining tailings.

Lista de figuras

Figura 1 - Distribuição das principais minas brasileiras.....	26
Figura 2 – Distribuição das minas em operação no Brasil - 2019	27
Figura 3 - Distribuição percentual das exportações	29
Figura 4 – Países que mais importaram minério do Brasil	30
Figura 5 - Principais reservas metálicas (a) e não-metálicas (b) no estado de Goiás - 2017	32
Figura 6 - Quantidade de minas por município (a) e valor da produção comercializada por município (b)	33
Figura 7 - Município de Alto Horizonte - GO	34
Figura 8 - Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM do município de Alto Horizonte.....	36
Figura 9 - Depósitos minerais da MMC adquiridos pela Lundin Mining	37
Figura 10 - Métodos de alteamento de barragens	39
Figura 11 - Quantidade projetada de resíduos de mineração gerados pelas principais substâncias selecionadas, no período 2010-2030 (em 1.000 t).....	40
Figura 12 - (a) Lago de deposição do resíduo;	41
Figura 13 - Extensão da Barragem de Resíduos do Córrego Baco Pari.....	43
Figura 14 – Classificação das técnicas de construção com terra.....	47
Figura 15 - Técnicas de construção com terra e suas aplicações mais comuns no Brasil	49
Figura 16 - <i>Network</i> de palavras-chave disponíveis na base de dados <i>Web of Science</i>	53
Figura 17 – Visualização temporal de palavras-chave disponíveis na base de dados <i>Web of Science</i>	54

Figura 18 - Forma e dimensão dos adobes, maciços e furados.....	57
Figura 19 - Estrutura dos Materiais e Métodos adotados.....	58
Figura 20 - Procedimentos laboratoriais.....	62
Figura 21 – Ensaio para a determinação da consistência.....	63
Figura 22 - Retração Linear	64
Figura 23 - Teste da caixa.....	64
Figura 24 - Forma metálica para a produção dos adobes (9 cm x 19 cm x 19 cm).....	65
Figura 25 - Processo de mistura do adobe	66
Figura 26 - Moldagem dos adobes.....	66
Figura 27 - Curvas granulométricas (solo e resíduo)	68
Figura 28 – Ensaio de consistência.....	69
Figura 29 – Índice de consistência das misturas em função da taxa de incorporação do resíduo	70
Figura 30 - Relação água/ material seco em função do teor de incorporação do resíduo	71
Figura 31 - Comparação Teor de umidade e consistência.....	72
Figura 32 - Teste de Retração da Caixa	72
Figura 33 - Dificuldades verificadas no processo de produção dos adobes em diferentes proporções de incorporação do resíduo	73
Figura 34 - Corpos de prova submetidos à estufa para a realização do ensaio de absorção de água	74
Figura 35 - Corpos de prova (CP) submetidos ao ensaio de absorção de água.....	74
Figura 36 - Índice de absorção de água individuais	76
Figura 37 - Desvio padrão da absorção de água em função da variação do percentual de incorporação do resíduo.....	77

Figura 38 - (a) Processo de corte dos prismas; (b) prismas cortados; (c) prismas cortados e capeados; (d) adobes com 100% de resíduo inviabilizados para ensaio de resistência à compressão.....	78
Figura 39 - Ensaio de compressão	78
Figura 40 - Resistência à compressão das unidades ensaiadas	79
Figura 41 - Resistência à compressão simples em função da taxa de incorporação do resíduo	80
Figura 42 - Diferença das Resistências à Compressão Médias pela resistência à compressão de controle, $M0_{100}$, (MPa)	81
Figura 43 - Resistência à Compressão Média, f_{cam} , (Mpa) x Absorção de água médio	82
Figura 44 - Gráfico tensão x deformação mistura 0_100	100
Figura 45 - Gráfico tensão x deformação mistura 20_80	100
Figura 46 - Gráfico tensão x deformação mistura 40_60	101
Figura 47 - Gráfico tensão x deformação mistura 60_40	101
Figura 48 - Gráfico tensão x deformação mistura 80_20	102

Lista de tabelas

Tabela 2 – Participação de Goiás no ranking brasileiro de produção mineral.....	31
Tabela 3 - Principais empresas mineradoras atuando no estado de Goiás em 2017 ...	33
Tabela 4 - Informações sobre a Mina Chapada Alto Horizonte-GO	42
Tabela 5 - Ocorrência de publicações envolvendo adobe.....	52
Tabela 1 - Variação da incorporação dos resíduos para a produção dos tijolos de adobe	61
Tabela 7 - Quantitativo de material para a produção dos adobes.....	65
Tabela 6 - Índice de consistência	70
Tabela 8 - Absorção de água	75
Tabela 9 - Resistência à compressão individual (fca) dos adobes.....	79

Lista de quadros

Quadro 1 – Disposição das minas de grande porte no território nacional.....	28
Quadro 2 - Normas regulamentadoras de construção com terra em diversos países ..	46
Quadro 3 - Recomendações de estabilização, para construções com terra, em função do tipo de solo.....	55
Quadro 4 - Requisitos da NBR 16814 (ABNT, 2020) para a avaliação e produção de adobes	56

Lista de nomenclaturas, símbolos e abreviações

ANM - Agência Nacional de Mineração

AMB - Anuário Mineral Brasileiro

CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

FOB - Mercadoria livre a bordo (free on board)

IOF - Imposto sobre Operações de Crédito, Câmbio e Seguros

RAL - Relatório Anual de Lavra

ROM - Run of mine

R\$ - Reais

UF - Unidade da Federação

UFs - Unidades da Federação

US\$ - Dólar americano

Sumário

1. ELEMENTOS PARA A COMPREENSÃO DO TRABALHO	18
1.1. Introdução	19
1.2. Hipótese	25
1.3. Objetivos	25
1.3.1. Objetivo Geral	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
2. O CENÁRIO DA MINERAÇÃO NO BRASIL	26
2.1. O setor mineral no estado de Goiás - GO	30
2.2. Produção mineral no município de Alto Horizonte – GO	34
2.3. Geração de Resíduo	38
2.4. Resíduo da Mina Chapada	40
3. A CONSTRUÇÃO COM TERRA E O ADOBE	44
3.1. Utilização da terra como material de construção	47
3.2. Adobe	50
4. MATERIAIS E MÉTODOS	58
4.1. Materiais	58
4.1.1. Resíduo	58
4.1.2. Solo	59
4.1.3. Estabilizante	59
4.2. Métodos	60
4.2.1. Premissas iniciais	60

4.2.2. Programa Experimental	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1. Caracterização	68
5.2. Consistência e retração.....	69
5.3. Absorção de água	73
5.4. Resistência à compressão	77
5.5. Correlação dos resultados.....	82
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
6.1. Sugestões para a continuidade da investigação em estudos futuros.....	85
Referências	87
Apêndice A.....	100

1. ELEMENTOS PARA A COMPREENSÃO DO TRABALHO

Para a melhor compreensão do leitor o texto da dissertação encontra-se dividido em 6 capítulos.

O capítulo 1 consiste em apresentar alguns dos elementos importantes para a compreensão do trabalho: introdução, hipóteses, objetivos e estrutura da dissertação.

No capítulo 2 contextualiza-se o cenário da exploração mineral contemporânea e a sua relação com deposição dos resíduos.

No capítulo 3 são apresentadas as diversas possibilidades de construção com terra, sendo que o foco principal se deu na técnica do adobe, base do tema proposto para esta pesquisa.

Em seguida, no capítulo 4, são apresentados os materiais e métodos, incluindo os procedimentos, equipamentos e materiais utilizados nos estudos e análises para o processo de produção dos adobes com a incorporação de resíduo de mineração.

Por fim, o capítulo 5 versa sobre a apresentação e análise dos resultados, enquanto o capítulo 6 apresenta as conclusões da dissertação e as recomendações para trabalhos futuros.

Ao final estão as referências utilizadas e o apêndice.

1.1. Introdução

O setor mineral tem se mostrado cada vez mais imprescindível para a economia de um país, apresentando atuação significativa para o aumento do produto interno bruto - PIB bem como para o aumento do volume de exportações deste. Segundo o Anuário Mineral Brasileiro – ANB, com a produção mineral de 2019, o Brasil arrecadou só em impostos cerca de 129 bilhões de Reais relacionados à Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), onde Goiás é o terceiro colocado entre os estados com maior arrecadação, com 4,21% deste total, ficando atrás apenas dos estados do Pará (49,29%) e de Minas Gerais (40,11%), que lideram a atividade mineral do país (ANM, 2020).

O volume da atividade mineral está diretamente relacionado ao crescimento da produção dos mais diversos resíduos minerais. Esses resíduos podem ser de dois tipos, sendo o primeiro os resíduos sólidos obtidos do processo de extração e o segundo os resíduos obtidos dos processos de tratamento ou beneficiamento da produção mineral, sendo que em ambos os casos, esses resíduos podem se apresentar na forma de rochas, sedimentos, solos, polpas de decantação de efluentes, finos não aproveitados, dentre outros (IBRAM, 2016).

De todo material produzido nestes locais, geralmente, a minoria é aproveitada para o fim desejado. A maior parte do material extraído se torna resíduo da produção principal, que por sua vez é simplesmente depositado, gerando impactos irreversíveis. Dentre os mais diversos minérios extraídos no Brasil, em valores percentuais, os que mais contribuíram para a geração de resíduos foram o ferro (35,08%), o ouro (13,82%), o titânio (12,55%) e o fosfato (11,33%). Ao todo, estas substâncias somam mais de 70% dos resíduos produzidos no período avaliado (SILVA, VIANA, CAVALCANTE, 2011)

Desde 2015, quando houve o fatídico rompimento das barragens de resíduos localizadas no município de Mariana-MG e, mais recentemente, em janeiro de 2019, com o rompimento da barragem de resíduo de Brumadinho-MG, intensificou-se os questionamentos relativos ao volume de resíduo produzido pela atividade de

mineração, assim como questionamentos sobre os procedimentos de deposição adotados para esses resíduos.

Tais questionamentos encontram força na ideia de que maior controle do volume e da forma de deposição desses materiais proporcionaria a diminuição dos impactos ambientais gerados por eles.

Seguindo este raciocínio, uma das formas de minimizar problemas causados pela deposição dos resíduos de mineração visa promover a sua reincorporação, que encontra grande potencial de execução na indústria da construção civil, cujo *know how* no uso de resíduos diversos já é bastante conhecido.

O entendimento da possibilidade da reutilização dos resíduos é amplamente difundido em praticamente todo o setor mineral onde já se avalia que “cabe colocar a necessidade de projetos de P&D&I¹ [...] para identificar novos usos para os resíduos gerados” (IBRAM, 2016, p. 13).

Tal entendimento também sofreu tentativa de materialização com o Projeto de Lei 3940, de 2015², que tratava da destinação e da disposição final dos resíduos sólidos e resíduos da mineração e fez com que a temática fosse discutida na Comissão de Desenvolvimento Econômico da Câmara, onde pretendia-se estabelecer que 25% dos resíduos sólidos de mineração fossem utilizados na produção de artefatos da construção civil. Tal demanda amparava-se no fato de que as barragens são entendidas como estruturas complexas, que trazem custos permanentes e que necessitam de grande gestão de risco, o que faz com que qualquer redução de volume de resíduo reflita diretamente na redução de custo de manutenção das mesmas (CANUTO, 2017).

Apesar de estudos avaliarem a utilização de resíduo como constituinte de diversos elementos de construção, tais como: placas de gesso (MOL, 2017), cerâmicas (NOCITI, 2011 e BARBOSA, 2017), aglomerantes (MARINHO, 2015), concretos e

¹ P&D&I – Sigla para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

² O PL 3940/2015 foi arquivado em 31 de janeiro de 2019.

argamassas (FONTES, 2013; FRANCO, 2015; SANTOS, 2015 e DIAS, 2017), a Câmara dos Deputados rejeitou o projeto de lei ao entender que:

[...] trata de problema de enorme relevância, ainda não bem compreendido pela população brasileira e nem mesmo por técnicos do setor mineral. Esse desconhecimento exige muitas análises e carece, inclusive, de pesquisas e desenvolvimento tecnológico para ser adequadamente tratado. É em razão desse desconhecimento que entendemos que o tema necessita de muitos debates antes que uma proposição seja aprovada e incorporada ao nosso marco legal (CÂMARA DOS DEPUTADOS DO BRASIL, 2015, p. 12).

Valendo-se então da relevância, já confirmada, que o desenvolvimento de pesquisas que visem a reutilização do resíduo de mineração tem na contribuição para a minimização de riscos ambientais, tem-se o seguinte questionamento, referente ao problema de investigação da presente pesquisa: O resíduo da mineração de cobre e ouro da Mina Chapada no município de Alto Horizonte - GO configura-se como alternativa de inserção na produção de adobes?

A escolha por verificar a viabilidade técnica da produção de adobes com o resíduo da mineração amparou-se no entendimento de Fathy (1982), de que a tradição não é necessariamente antiquada e nem sinônimo de estagnação ou retrocesso, sendo assim, a escolha de uma técnica tão antiga não desmerece e não visa substituir as técnicas atuais, mas sim parte do pressuposto de que tal técnica apresenta características que corroboram melhor com a perspectiva do desenvolvimento sustentável.

Essa perspectiva é reforçada por Pinheiro (2009) ao abordar que o Brasil, país classificado como “em desenvolvimento”, enfrentou e ainda enfrenta diversos problemas socioculturais e econômicos em seus estados, sendo a falta de moradia apenas um desses problemas. Ainda hoje, em pleno século XXI, o país precisa lidar com a problemática que é a falta de moradia digna, segura e financeiramente acessível à grande maioria da população.

Essa necessidade humana por moradia está inevitavelmente associada ao consumo de recursos naturais, portanto, relacionada à sua finitude, que, por sua vez, antes de se esgotarem, terão seus custos elevados a tal ponto que fará com que grande parte da população não possa ter acesso a moradia de qualidade.

Diversas medidas podem solucionar o problema da falta de habitação, contudo, a construção de um novo padrão de desenvolvimento, deve ser norteada por uma noção de crescimento econômico, não perdendo de vista a preocupação com o equilíbrio ambiental e com a justiça social. O homem deve lembrar que, por menor que seja sua ação, os impactos sobre o meio ambiente são iminentes. Isso exige a mudança imediata de atitudes, hábitos e padrões de consumo utilizados pelo ser humano (PINHEIRO, 2009).

Entendendo esse dilema da habitação versus consumo de recursos naturais, nota-se que o *modus operandi* atual da construção civil necessita de ressignificação para promover de fato a sustentabilidade necessária. Para tanto faz-se necessário buscar novas possibilidades, mais sustentáveis e que promovam a qualidade de vida da população, procurando desenvolver visão ampliada de métodos e técnicas que possam ser mais bem utilizados.

Para além de entender a necessidade de desenvolver outros métodos e técnicas que mudem a perspectiva construtiva pré-estabelecida, é preciso perceber o porquê disso. Tal percepção começa quando se verifica que o grande desenvolvimento alcançado pelo Brasil nos últimos anos está intimamente relacionado com os avanços do setor da Construção Civil.

Este progresso fez e faz com que os recursos naturais sejam utilizados em grande escala, provocando, assim, grandes impactos ambientais. De acordo com John (2000, apud Motta *et. al.*, 2014), calcula-se que a construção civil utiliza cerca de 20 a 50% de todos os recursos naturais consumidos pela sociedade. Essa avaliação se torna ainda mais impactante quando se soma à construção o volume de materiais gastos para garantir a manutenção da infraestrutura do país, chegando a incríveis 75% do consumo dos recursos naturais extraídos (CBCS, 2007).

Esses dados corroboram para elucidar o quão grande é o impacto ambiental gerado pela indústria da construção, impacto este definido pela NBR ISO 14001 (ABNT, 2015) como “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”.

Tais impactos fazem com que pensemos em técnicas, componentes e materiais de construção mais ambientalmente corretos, como o adobe aliado à incorporação do resíduo de mineração.

O adobe é considerado uma das técnicas da arquitetura vernacular, também conhecida como arquitetura popular, do dia a dia ou arquitetura comum. Esse termo, “vernacular”, foi utilizado pela primeira vez por Sir George Gilbert Scotts em 1857 (CHRISTENSON, 2011) e desde então tem sido utilizado para designar, como tecnologia vernácula, aquelas que priorizam a utilização de materiais locais e produzidos com o “toque das mãos” (RIBEIRO DO VALE; PENIDO DE REZENDE, 2018).

Os processos de fabricação dos blocos e tijolos adensados de terra crua secos ao sol ou à sombra, também conhecidos como adobe, são milenares, e sempre foram empregados por diversas civilizações no decorrer da história da humanidade, tendo sido propagado por todas as regiões de climas quentes e secos, subtropicais e temperados do planeta (MINKE, 2015), desde as construções egípcias, construções do início da colonização brasileira, e atualmente em áreas rurais e sertanejas do país. Sua utilização ainda acontece hoje devido ao baixo custo, à possibilidade da utilização de materiais locais e principalmente pela facilidade de fabricação.

Dentre as vantagens dos tijolos de adobe, podemos citar como principais: o controle da umidade e temperatura do ambiente, regulador higratérmico (deixando os ambientes mais refrigerados e possibilitando trocas térmicas): o baixo custo de produção: a possibilidade de reutilizar o solo retirado na execução dos nivelamentos da fundação: e o não uso de recursos naturais para a queima em fornos e conseqüentemente a não produção de gases tóxicos liberados na atmosfera. Contudo, o adobe também possui desvantagens, como a sua baixa resistência mecânica e porosidade, que podem causar patologias relacionadas ao excesso de umidade, além do preconceito ainda

existente no Brasil com esse material de construção, visto por muitos como ausência de inovação no ramo da construção civil.

Para desmistificar este aspecto do empirismo, muito tem sido feito para analisar técnico e cientificamente os adobes. Por isso, parte considerável deste trabalho se deu em ambiente experimental, onde os testes e ensaios laboratoriais foram determinantes para a obtenção da caracterização dos materiais, bem como para a verificação das propriedades e desempenho dos componentes construtivos.

Com isso, avaliou-se os principais aspectos definidores da viabilidade técnica da produção de adobes com variados percentuais de incorporação do resíduo de mineração. Para tal, foram necessários estudos e análises para a caracterização tanto do solo quanto do resíduo, bem como para a verificação do desempenho físico-mecânico dos seus componentes unitários e a sua performance como elemento construtivo.

Para responder ao problema de pesquisa estabelecido foram necessários estudos e análises para definição dos percentuais das misturas, do processo de preparo e da fabricação dos adobes.

As variáveis da mistura foram as proporções dos materiais para a produção dos adobes, ou seja: o resíduo da mineração de cobre e ouro, o solo natural (matéria-prima - terra), o estabilizante (cimento), e o percentual de água da mistura.

O estudo do desempenho dos adobes enquanto componentes unitários consistiu na verificação de suas propriedades quanto à resistência à compressão, retração linear e índice de absorção de água.

Com o intuito de verificar o seu comportamento enquanto elemento de vedação vertical, também foram realizadas determinações da resistência à compressão de prismas de adobe.

Tanto o processo de produção quanto os ensaios de caracterização dos adobes foram desenvolvidos nos Laboratórios de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), câmpus Uruaçu. A análise do resíduo foi feita pelo Laboratório do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

1.2. Hipótese

A hipótese deste trabalho é que o resíduo da mineração de cobre e ouro pode ser incorporado ao solo natural ou mesmo ser matéria prima para a produção de tijolos de adobe, atendendo aos requisitos mínimos necessários para alvenarias de vedação.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação foi avaliar o desempenho físico-mecânico de pequenos componentes de adobe produzidos com a incorporação de resíduos de mineração, sendo que o objeto do estudo se concentrou no emprego de resíduo proveniente da mineração de cobre e ouro da mina localizada no município de Alto Horizonte, estado de Goiás, Brasil, e sua incorporação ao solo para a criação de misturas passíveis de serem utilizadas para a produção de componentes e elementos construtivos de adobe.

1.3.2. Objetivos específicos

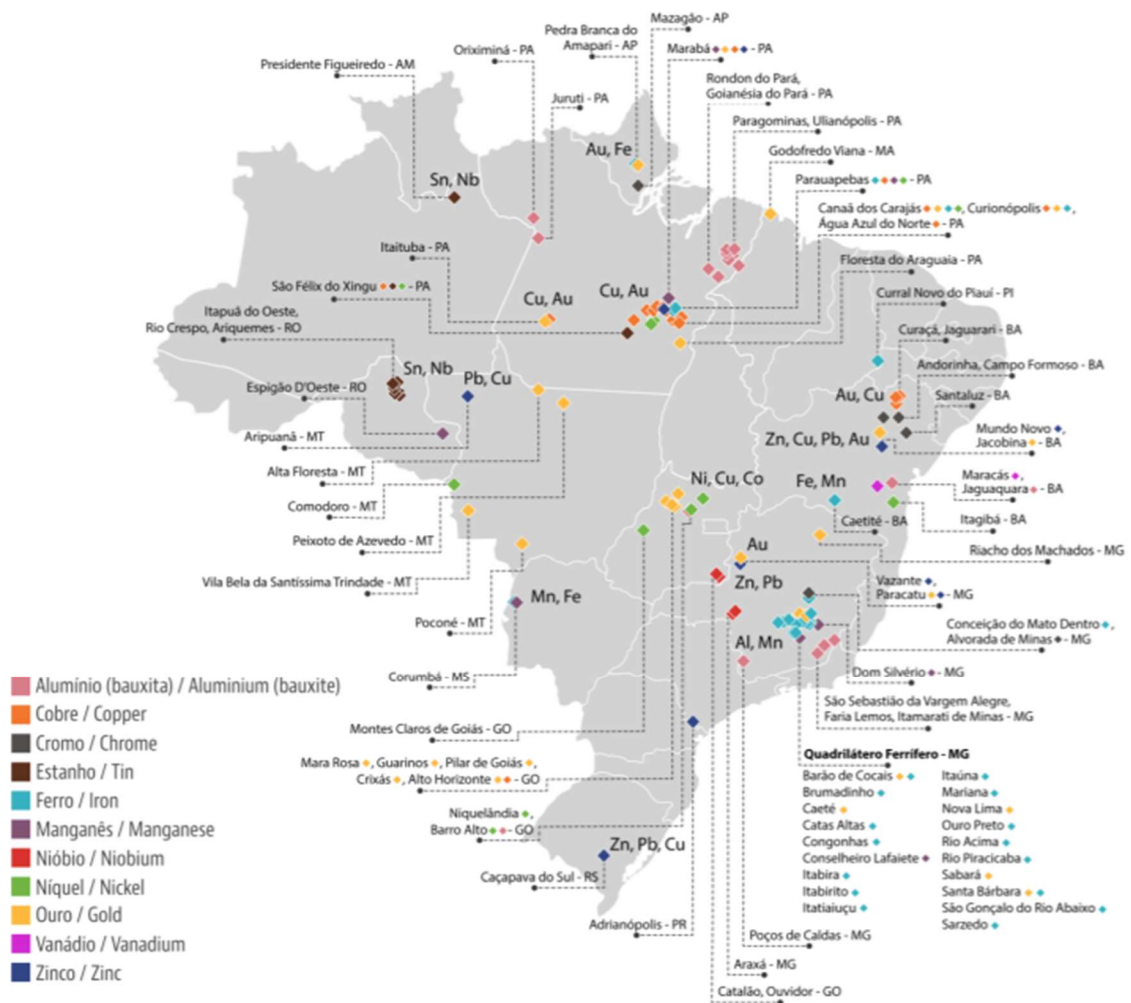
- Produzir adobes com diferentes taxas de incorporação do resíduo da mineração de cobre e ouro do município de Alto Horizonte – GO;
- Avaliar a correlação entre as taxas de incorporação do resíduo e o seu desempenho à compressão;
- Analisar o comportamento da absorção de água em função das taxas de incorporação do resíduo.

2. O CENÁRIO DA MINERAÇÃO NO BRASIL

O Brasil é o quinto país de maior extensão territorial do mundo e, dentro de suas fronteiras, é possível encontrar grande diversidade de pessoas, animais, ecossistemas e minérios. Com toda essa variedade, o país torna-se propício à existência de jazidas distintas quanto ao minério produzido.

Entendendo por jazida, todo o local de afloramento mineral na superfície ou no interior da terra, que tenha valor econômico e mina, a jazida em lavra, ou seja, a jazida onde há extração, exploração mineral (Brasil, 1967), a Figura 1 a seguir apresenta como estão distribuídas as principais minas brasileiras ao longo do território nacional.

Figura 1 - Distribuição das principais minas brasileiras



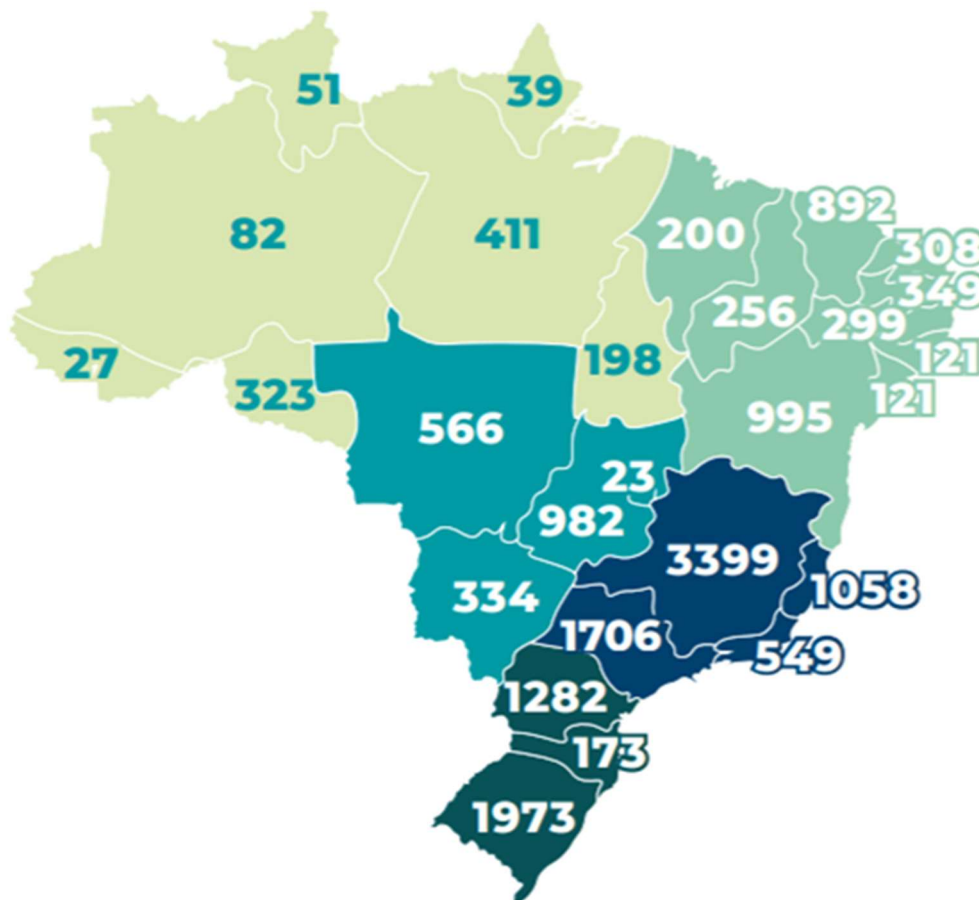
Fonte: ANM, 2020.

As minas se classificam em função da quantidade de minério produzido, *run of mine*, ROM:

- **Grandes:** minas com produção bruta (ROM) anual maior que 1.000.000 t;
- **Médias:** minas com produção bruta (ROM) entre 100.000 t e 1.000.000 t;
- **Pequenas:** minas com produção bruta (ROM) anual entre 10.000 t e 100.000 t.

Conforme Relatório Anual de Lavra, em 2017, existiam no Brasil 9530 minas, sendo que 135 eram minas de grande porte, 992 de médio porte e 2.750 de pequeno porte além de 5.653 empreendimentos minerais de micro porte, cuja produção é menor do que 10.000 t. Esses valores cresceram consideravelmente em 2019 passando a um valor total de 18040 minas, conforme a disposição apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição das minas em operação no Brasil - 2019



Fonte: IBRAM, 2020.

A mineração de grande porte no Brasil (Quadro 1) se concentra principalmente nos estados de Minas Gerais (MG), Pará (PA), São Paulo (SP), Goiás (GO) e Bahia (BA), onde há uma predominância dos minérios de ferro, ouro, bauxita, cobre, nióbio e fosfato. Especificamente no estado de Goiás observa-se a presença das minas de Amianto, Calcário, Fosfato, Nióbio, Níquel e Ouro, totalizando 8 (oito) minas, o que corresponde a 5,9% do total.

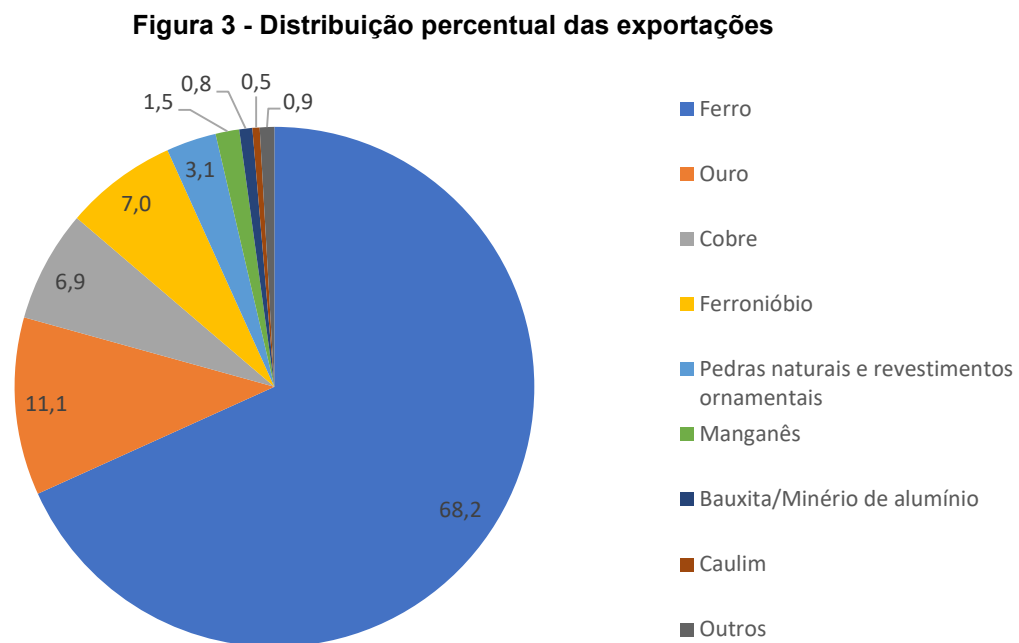
Quadro 1 – Disposição das minas de grande porte no território nacional

Mina	UF																		TOTAL	%
	AM	AP	BA	CE	DF	GO	MG	MS	MT	PA	PB	PR	RN	RS	SC	SE	SP			
Areia														1			3	4	3,0	
Amianto						1												1	0,7	
Bauxita							1			3								4	3,0	
Brita							3							2			8	13	9,7	
Calcário				2	2	1	14	1		1	3	2	1		1	1	6	35	26,1	
Carvão														2	2			4	3,0	
Caulim										2								2	1,5	
Cobre										2								2	1,5	
Cromo			1															1	0,7	
Diamante			1															1	0,7	
Estanho	1									1								2	1,5	
Ferro							36	2		3								41	30,0	
Fosfato						3	3										1	7	5,2	
Ilmenita											1							1	0,7	
Manganês										2								2	1,5	
Nióbio						1	1											2	1,5	
Níquel						1												1	0,7	
Ouro		1	1			1	3		1									7	5,2	
Potássio																1		1	0,7	
Vanádio			1															1	0,7	
Zinco							2											2	1,5	
Total	1	1	4	2	2	8	63	3	1	14	4	2	1	5	3	2	18	135	100,0	
%	0,7	0,7	3,0	1,5	1,5	5,9	47,0	2,2	0,7	10,4	3,0	1,5	0,7	3,7	2,2	1,5	13,4	100,0		

Fonte: Adaptado de ANM (2017) apud Heider (2019).

Os estados do Acre (AC), Alagoas (AL), Espírito Santo (ES), Maranhão (MA), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO) não possuem minas de grande porte dentro do seu território.

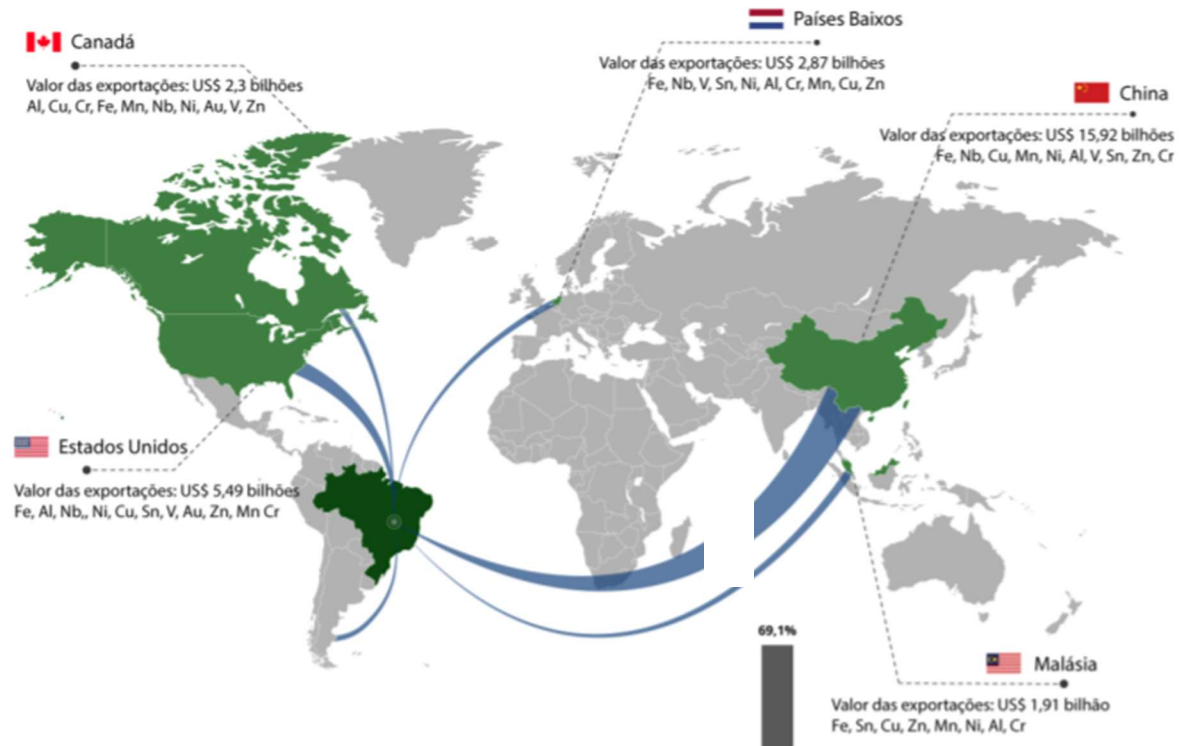
Atualmente, no ano de 2019, a produção mineral brasileira representou 16,8% do Produto Interno Bruto – PIB industrial do país, em valores absolutos isso correspondeu a US\$ 38 bilhões. Desse total 80% corresponderam aos minerais metálicos e 20% aos não metálicos, sendo que a exportação mais expressiva foi do minério de ferro, responsável por US\$ 22,1 bilhões (68,2%), seguido pelo ouro e pelo cobre, conforme Figura 3 adaptada do Anuário Mineral Brasileiro (ANM, 2020).



Fonte: ANM, 2020.

A Agência Nacional de Mineração (2020) registra também que dentre os países que mais exportamos produtos em 2019 (Figura 4), sejam eles, básicos, semimanufaturados ou manufaturados, estão a China (32,7%), Estados Unidos (11,3%), Países Baixos (5,9%), Canadá (4,7%) e Malásia (3,9%).

Figura 4 – Países que mais importaram minério do Brasil



Fonte: ANM, 2020.

2.1. O setor mineral no estado de Goiás - GO

O estado de Goiás ocupa uma área de 340.242,854 km², sendo o sétimo estado brasileiro em extensão territorial. A estimativa populacional para o ano de 2020 é de 7.113.540 pessoas cujo rendimento domiciliar mensal per capita está em torno de R\$ 1258,00 (IBGE, 2018).

Conforme levantamento do Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos – IMB (2018), tal rendimento é composto pelos setores produtores de serviços, o qual contribui com 65,1% do PIB do estado, enquanto a indústria contribui com 24,5% e a agropecuária com 10,4%.

Dentro do setor industrial encontram-se as atividades relativas à mineração. Essa extração mineral é regida pelas demandas impostas pelo mercado. À medida que determinado mineral se torna importante para as indústrias (tecnológicas e científicas,

agrícolas, automotora, construção civil, produção de joias), a sua produção passa a ser interessante economicamente (TIBIRIÇÁ, 2017).

Segundo Tibiriçá (2017) a mineração em Goiás sempre foi bastante diversa. Por meio dos seus registros é possível verificar que, na década de quarenta, o estado exportou “cristal de rocha, diamante, pedras semipreciosas, topázio, mica, areia, argila, [...] cal, salitre, amianto, cromita, rutilo, cobalto, calcários, mármore, jaspes e calcedônias”, sendo que grande parte destes produtos eram destinados à construção civil. Entretanto, a partir do ano de 2003, a exploração mineral goiana foi direcionada, segundo o próprio Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, para a extração de cobre, níquel, zinco, ferro, alumínio, manganês.

O Instituto Mauro Borges – IMB (2018) aponta que Goiás tem sete polos minerais distribuídos pelo estado, responsáveis pela produção de cobre, ouro, cobalto, níquel, nióbio, fosfato e vermiculita. Isso faz com que a mineração goiana ocupe posições importantes na cadeia produtiva nacional em vários produtos, sendo os principais o amianto a vermiculita e o níquel (Tabela 1).

Tabela 1 – Participação de Goiás no ranking brasileiro de produção mineral

Brasil	Produção (t)		Participação (%)	Ranking
	Goiás	Produto		
311.228	311.228	Amianto	100	1º
56.444	52.001	Vermiculita	82,13	1º
167.063	75.956	Níquel	45,47	1º
6.514.000	2.425.709	Fosfato	37,24	2º
301.197	65.574	Cobre	21,77	2º
88.771	12.773	Nióbio	14,39	2º
81	7,8	Ouro	9,59	2º

Fonte: Adaptado de IMB, 2018

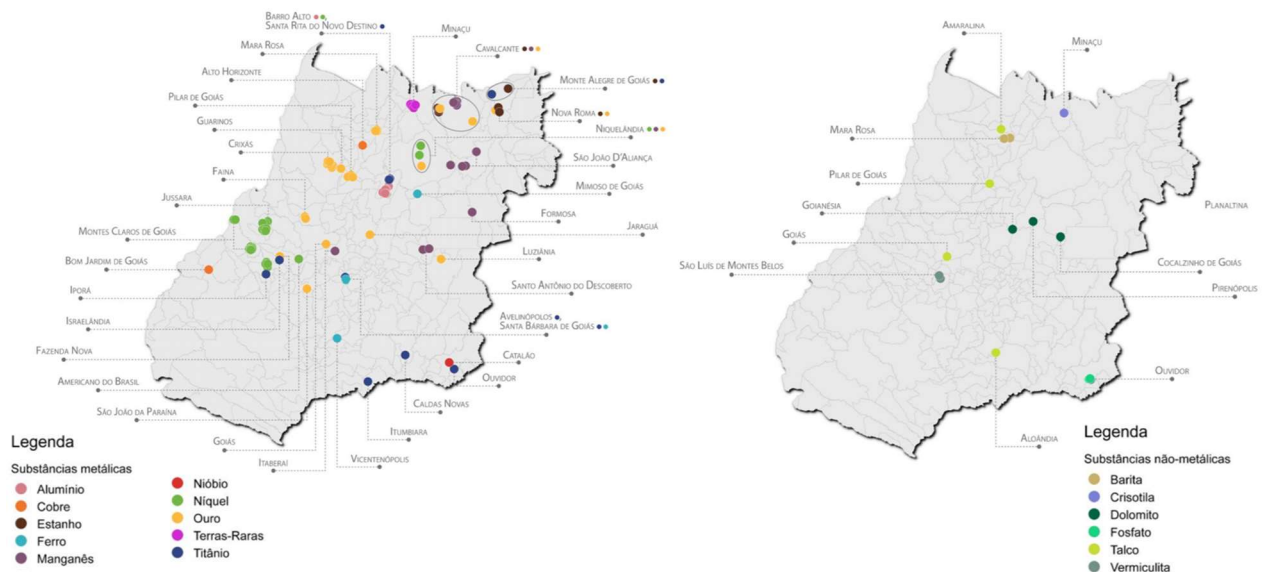
O complexo mineral goiano representa 20,62% das exportações estaduais, sendo as ligas de ferro responsáveis por 8,14%, seguido pelos sulfetos de cobre 6,22%, ouro 5,36% e amianto 0,78% (IMB, 2018).

Dentre esses produtos, exportados em 2017 (ANM, 2019), a extração dos minerais não metálicos representou 26,54% da produção do estado, enquanto as gemas e

diamantes apenas 0,02%, o que faz com que a extração de minerais metálicos represente a maior parte da exploração, 73%.

No último Anuário Mineral Estadual (ANM, 2019), que retrata o cenário mineral goiano no ano de 2017 as principais reservas minerais do estado (Figura 5) apresentavam uma grande dispersão dentro do território, além da já mencionada diversidade de produtos.

Figura 5 - Principais reservas metálicas (a) e não-metálicas (b) no estado de Goiás - 2017



Fonte: Adaptado de ANM, 2019.

Nesse mesmo anuário (ANM, 2019), ficou registrada a presença de 432 minas no estado de Goiás, sendo algumas minas subterrâneas e outras a céu aberto. Dentre as subterrâneas, 4 eram de médio porte, 1 de pequeno porte e 1 de micro porte. Enquanto as minas a céu aberto foram, 8 de grande porte, 46 de médio porte, 76 de pequeno porte e 296 de micro porte. Essas minas foram catalogadas sob a propriedade de cem empresas, cujas dez apresentadas na Tabela 2 a seguir, representam a maior parte da produção goiana e metade dessa produção está nas mãos das duas primeiras, com a extração e beneficiamento de cobre e níquel.

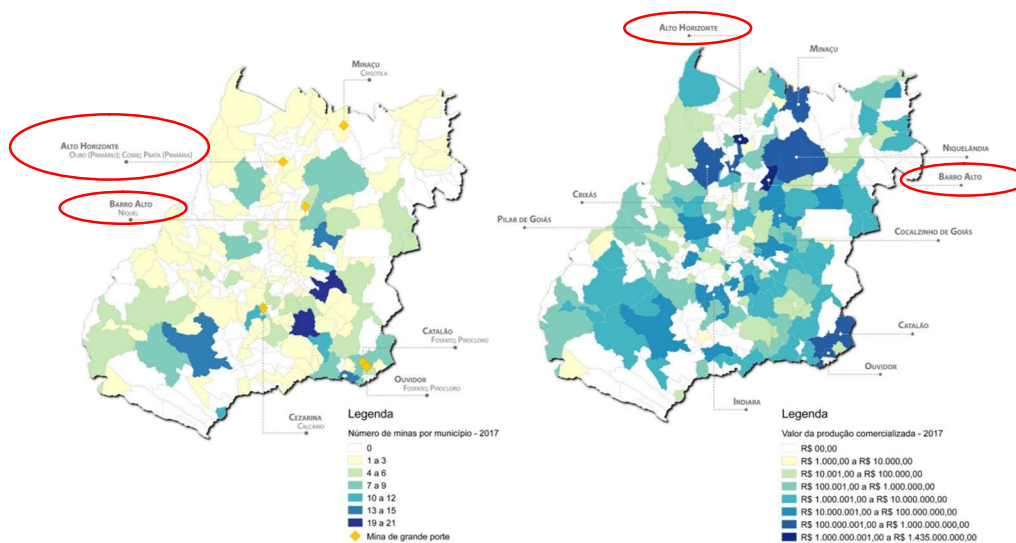
Tabela 2 - Principais empresas mineradoras atuando no estado de Goiás em 2017

	Empresa	Principais substâncias produzidas	Participação (%)
1	Mineração Maracá Indústria e Comércio S.A	Cobre	25,77
2	Anglo American Níquel Brasil Ltda	Níquel	25,67
3	Mineração Serra Grande S.a.	Ouro	9,57
4	Niobras Mineração Ltda	Pirocloro	6,24
5	Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral S.a.	Ouro	5,18
6	Sama Sa Minerações Associadas	Crisotila	5,14
7	Vale Fertilizantes S A	Fosfato	4,95
8	Copebras Indústria Ltda	Barita, Fosfato	4,64
9	Terra Goyana Mineradora Ltda	Bauxita Metalúrgica	0,84
10	Mineração de Calcário Montividiu Ltda	Calcário	0,66
	Outros		11,34

Fonte: ANM, 2019.

As minas, ambas de grande porte, que representam mais da metade da produção mineral do estado de Goiás estão localizadas em dois municípios, Alto Horizonte e Barro Alto (Figura 6). Elas se caracterizam por ter a produção comercializada variando entre 1 e 1,4 bilhão de reais, o que demonstra a sua importância para a arrecadação estadual, o que justifica a escolha da mina de Alto Horizonte-GO como estudo de caso deste trabalho.

Figura 6 - Quantidade de minas por município (a) e valor da produção comercializada por município (b)

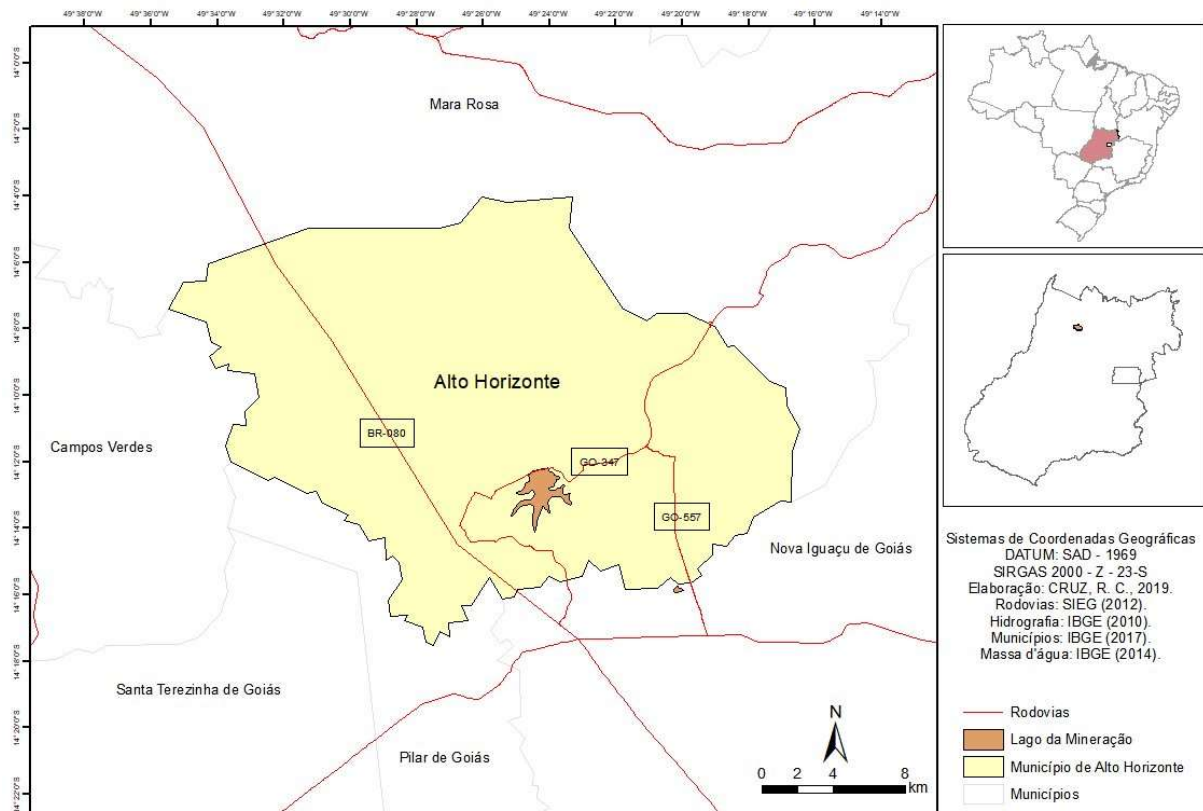


Fonte: Adaptado de ANM, 2019.

2.2. Produção mineral no município de Alto Horizonte – GO

O município de Alto Horizonte está localizado no noroeste do estado de Goiás, conta com uma área territorial de 503,764 km² e população estimada de 6605 habitantes (Figura 7). O município, antes conhecido como povoado de Chapada Grande, localizado a 311 km de Goiânia e a 317 km de Brasília, emancipou-se de Mara Rosa – GO em 1991 e desde o início da instalação do complexo mineiro na zona rural do município, a partir de 2005, teve uma explosão de crescimento econômico o que levou o município a apresentar o maior PIB per capita do estado alcançando R\$ 146.833,35 por habitante (IBGE, 2018).

Figura 7 - Município de Alto Horizonte - GO



Fonte: CRUZ, R. C., 2019.

Apesar do forte investimento financeiro no município, cuja receita oriunda da produção mineral chega a 53,15% do total da receita municipal, representando o maior valor comercializado de minério entre 2010 e 2014 em Goiás, a realidade social dos seus

habitantes não acompanhou essa arrecadação (TIBIRIÇÁ, 2017). Tal discrepância é um dos fatores negativos da mineração que expõe a fragilidade do retorno em melhorias para a população. Isso pode ser comprovado ao analisar que o índice de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) de Alto Horizonte é médio (0,719), que apenas 1,7% do município tem rede de esgotamento sanitário e 38,55% dos alto horizontinos estão classificados como pobres pelo mapa da pobreza e da desigualdade (IBGE, 2018).

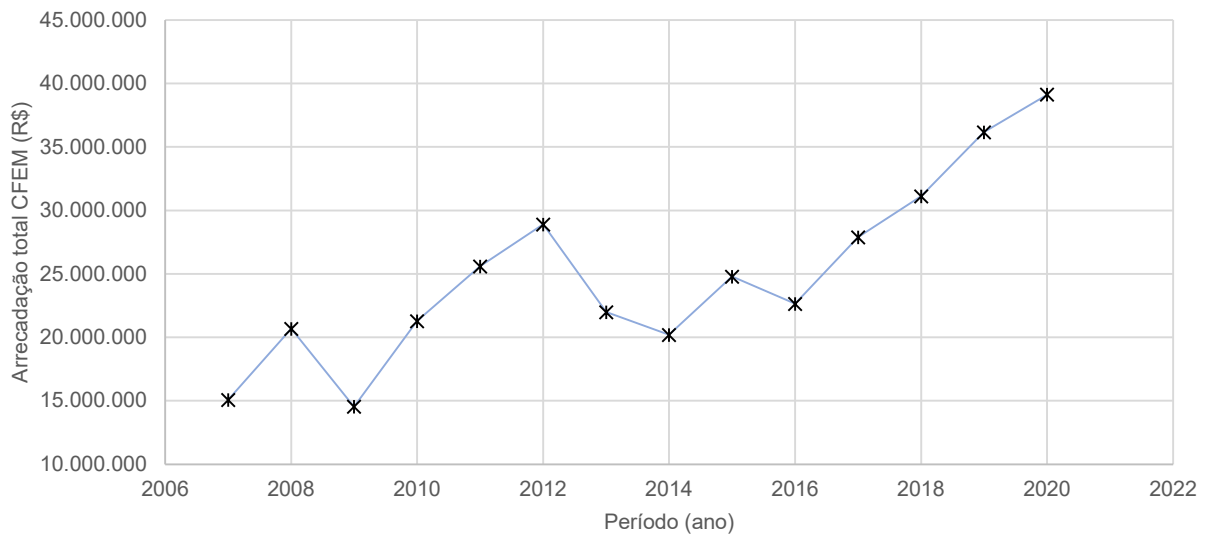
Ainda que o município tenha característica fortemente focada na agropecuária, desde o ano de 2007, com a instalação da empresa mineradora transnacional Yamana Gold, sua economia se voltou para a mineração.

Segundo Oliveira (2009) a Yamana possuía 07 minas em atividade e 05 projetos em desenvolvimento distribuídos pelo Brasil, Argentina, Chile, México, América Central e Estados Unidos. Ela era o grupo que detinha a maior carteira de direitos minerais e exploração aurífera do Brasil, possuindo 04 minas em atividade, 01 mina em processo de fechamento, assim como projetos de ouro em desenvolvimento.

O Projeto Chapada, localizado no município de Alto Horizonte-GO, teve sua produção comercial iniciada em fevereiro de 2007. Sua reserva de ouro foi medida no ano de 2014 em 52,586 milhões de toneladas e a reserva de cobre foi medida em 703,399 mil toneladas, sendo, respectivamente, classificadas como a maior e a segunda reservas do estado (DNPM, 2015).

Segundo o IBRAM, em 2007, ano em que a Mineração Maracá entrou em operação na cidade mencionada, o Produto Interno Bruto do município apresentou um crescimento de 1267,9% quando comparado ao ano anterior. Neste período, Alto Horizonte, que estava no 177º lugar entre as cidades mais ricas do estado de Goiás, passou a ocupar a 30ª posição graças à atividade mineradora (IBRAM, 2009). Desde sua instalação a CFEM do município vem em uma crescente (Figura 8), comprovando a sua importância para o município.

Figura 8 - Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM do município de Alto Horizonte



Fonte: ANM, 2020.

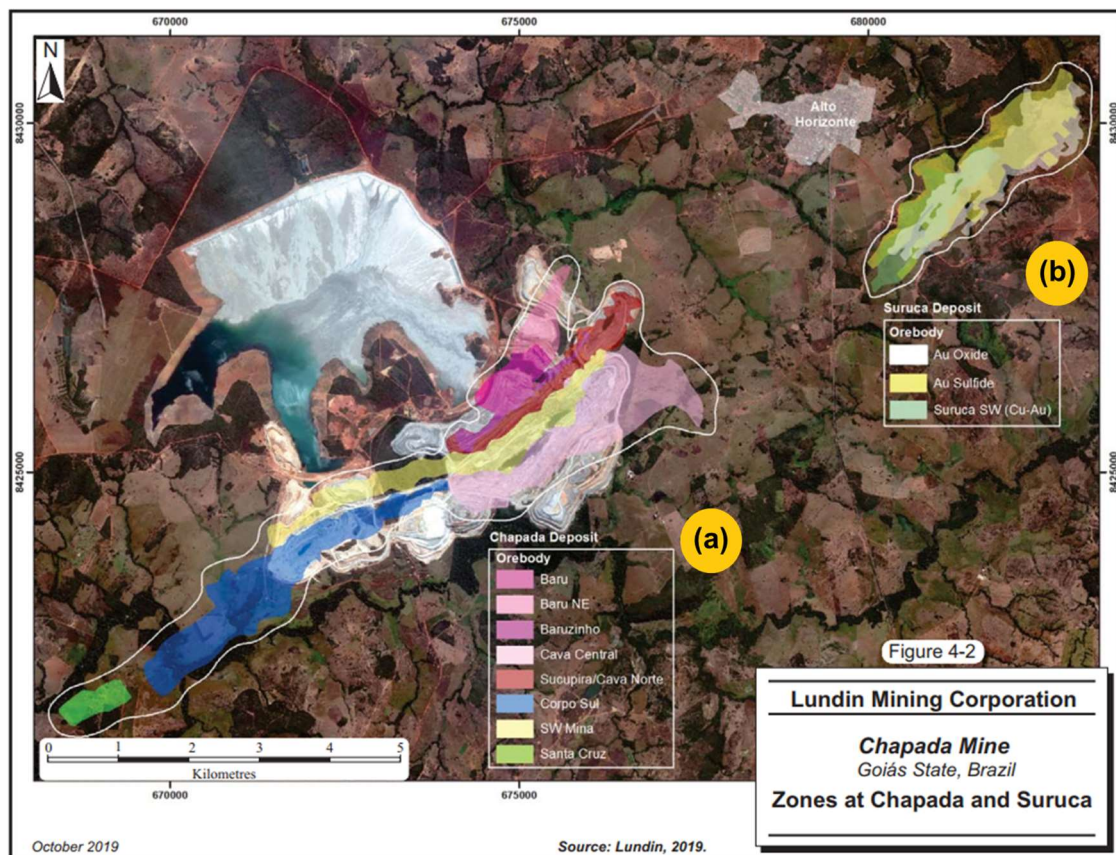
Em julho de 2019 a Lundin Mining, mineradora canadense, com operações no Brasil, Chile, Portugal, Suécia e Estados Unidos da América, cujos principais produtos produzidos são: cobre, zinco, ouro e níquel, finaliza o processo de aquisição de 100% dos direitos de exploração da MMIC.

Em relatório técnico, Moore et al (2019) destaca que a Mina Chapada é “projetada para processar minério de sulfeto de cobre a uma taxa nominal de 65.000 toneladas por dia” totalizando um total de 24,0 milhões de toneladas por ano. Afirma ainda que no ano de 2018, “a usina processou 22,9 milhões de toneladas com recuperações médias de cobre e ouro de 82,4% e 63,3%, respectivamente”. No primeiro semestre de 2019, período em que os dados foram levantados, a taxa de processamento por dia era de 62.003 toneladas, com as recuperações de cobre e ouro também um pouco aquém da capacidade demonstrada no ano anterior, sendo de 81,6% e 59,7% respectivamente.

A mina Chapada é uma operação tradicional à céu aberto que faz uso de caminhões e escavadeiras no seu procedimento de extração, tendo como dimensões finais de projeto 1,5 km de largura e 380 m de profundidade. São duas principais áreas de exploração Chapada (Figura 9a) e Suruca (Figura 9b). Mesmo estando em operação

contínua desde 2007, a exploração da produção tem sido feita inteiramente na área da Chapada, com a possibilidade de alteração desse cenário por meio da aquisição da mina pela Lundin Mining, que já demonstra interesse em ter a exploração ampliada para o depósito Suruca, localizado à leste do município de Alto Horizonte, haja vista que nele há reservas minerais de óxido e sulfeto de ouro (MOORE et al, 2019).

Figura 9 - Depósitos minerais da MMC adquiridos pela Lundin Mining



Fonte: MOORE et al, 2019.

Oliveira (2009) apresentou que sua vida útil era estimada em 17 anos, no entanto, no relatório de 2019, Moore et al afirmam que, com a possibilidade de exploração de Suruca, sua vida útil passa a ser 24 anos, com mais 8 anos adicionais no final da vida útil da mina para processar o restante do estoque de minério.

2.3. Geração de Resíduo

Os resíduos sólidos são materiais não desejados gerados como consequência das atividades humanas. Podem ser constituídos em estado sólido, semissólido, incluindo também lodos provenientes de sistemas de tratamento de água ou líquidos não passíveis de tratamento convencional (ABNT, 2004).

Dentre as etapas dos mais diversos processos de extração mineral há a geração de resíduos da produção que se classificam em dois grupos principais, dos estéreis e dos resíduos. O primeiro corresponde ao resíduo da extração enquanto o segundo trata-se do resíduo do beneficiamento da produção mineral (IPEA, 2012).

Esses resíduos da produção mineral são dispostos em barragens de contenção que, de forma geral, são construídas com o próprio material proveniente da atividade mineral. Onde, a partir de um dique de partida (estrutura inicial) os resíduos são lançados para armazenamento formando um depósito contido pelo próprio resíduo (ANA, 2020). A depender do método com que os resíduos são utilizados para altear o barramento as barragens passam a se classificar por (Figura 10):

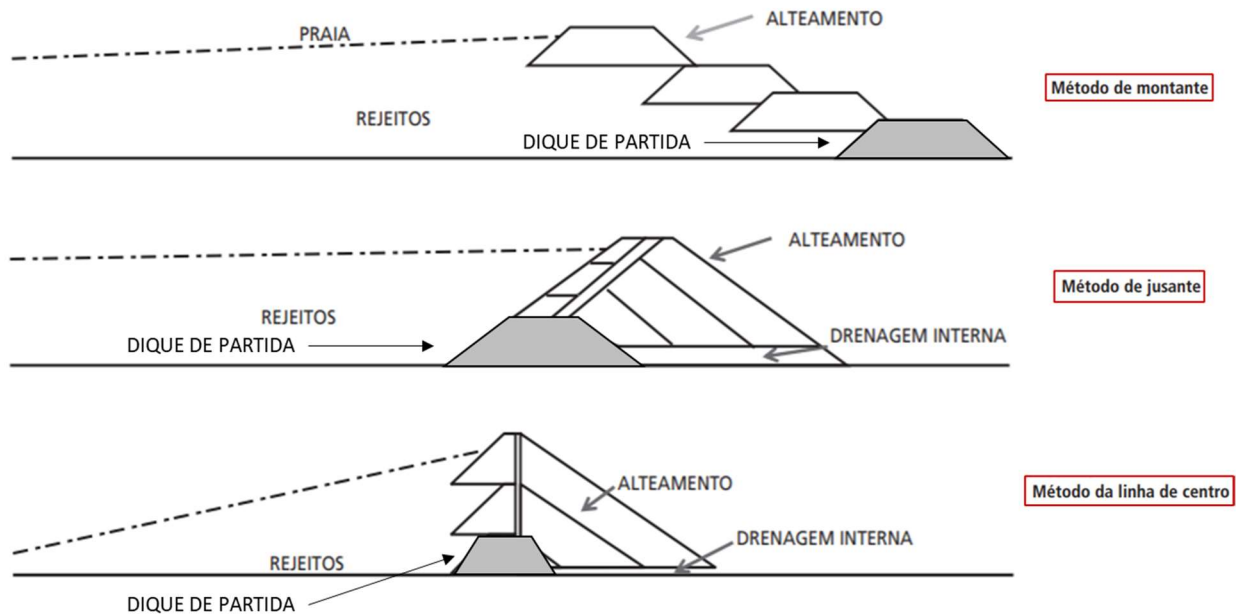
Alteamento a montante: onde os diques adicionais são construídos a partir do lançamento do aterro a montante do dique inicial, usando a praia de resíduo como sua fundação. A utilização do método de construção ou alteamento de barragens a montante está proibida pela ANM em todo o território nacional desde fevereiro de 2019. Além disso, a ANM estabeleceu prazos para descaracterização das barragens a montante existentes, a depender do volume da barragem.

Alteamento a jusante: onde os diques adicionais são construídos com lançamento do aterro sobre o talude de jusante do alteamento anterior e sobre o terreno natural;

Alteamento de linha de centro: onde os diques adicionais são construídos com lançamento do aterro sobre a praia de montante e

sobre o talude de jusante do alteamento anterior. O centro dos alteamentos é coincidente à medida que os alteamentos se sucedem (ANA, 2020, 11p. grifo nosso).

Figura 10 - Métodos de alteamento de barragens



Fonte: Adaptado de IPEA (2012).

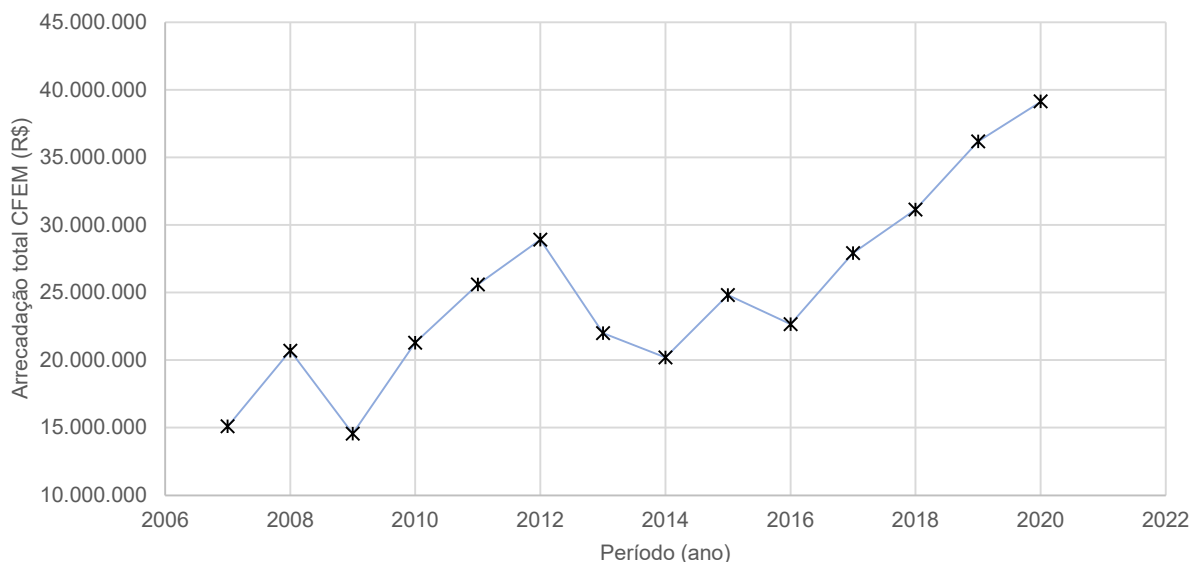
Independente da forma de disposição a NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos em classe I (perigosos), classe II (não perigosos), classe II A (não inertes) e classe II B (inertes).

Para efeitos de fiscalização nacional as barragens ainda são classificadas conforme sua categoria de risco e de dano potencial. No primeiro caso elas são enquadradas em risco alto, médio ou baixo, levando em consideração as suas características técnicas, métodos construtivos, estado de conservação, idade do empreendimento e atendimento ao Plano de Segurança da Barragem. No segundo caso, o enquadramento se dá em alto, médio ou baixo potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da sua ruptura (BRASIL, 2010).

Ainda que a leitura do setor da mineração atual seja de estagnação (ANM, 2018) a produção mineral no país apresenta como consequência das suas atividades o aumento na geração de resíduos. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), no decênio 1996-2005, a quantidade de resíduos produzidos pela mineração aumentou de 202 milhões de toneladas para 290 milhões de toneladas e a previsão é de que, até 2030 esse valor cresça progressivamente e chegue a 684 milhões de toneladas.

O crescimento do volume de resíduo projetado para a produção mineral brasileira até o ano de 2030 tem como minério mais impactante o Ferro, sendo seguido pela extração de fosfato, ouro, titânio e cobre, conforme pode-se observar na a Figura 11 seguir.

Figura 11 - Quantidade projetada de resíduos de mineração gerados pelas principais substâncias selecionadas, no período 2010-2030 (em 1.000 t)



Fonte: Adaptado de Silva, Viana e Cavalcante, 2011.

2.4. Resíduo da Mina Chapada

De acordo com dados fornecidos pela MMIC, no período de 2007 a 2017 foram acumulados mais de 190 milhões de toneladas de resíduo apenas na mina Chapada. Atualmente, o impacto visual do lago de deposição do resíduo é bastante claro. Fazendo uso de uma imagem aérea da região é possível perceber que o lago de

deposição ocupa uma extensão territorial muito maior do que a própria área urbanizada do município. Esse impacto fica ainda mais evidente quando se soma a área do lago com a área que a planta da mina ocupa (Figura 12).

Figura 12 - (a) Lago de deposição do resíduo;
(b) Planta da mina; (c) Município de Alto Horizonte - GO



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020)

No Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) a barragem da Mina Chapada apresenta as informações contidas na Tabela 3, sendo que estas são complementadas pela Agência Nacional de Mineração (ANM) indicando que:

- O minério principal presente no reservatório é o minério de cobre, com teor de 0,07% no resíduo;
- No seu beneficiamento há processos de britagem/moagem, peneiramento além de outros processos químicos;

- O comprimento de projeto da crista é de 5.225 m, sendo que atualmente já atingiu 5.105 m;
- A área do reservatório já atingiu 11.207.400 m² e seu volume 211.700.000 m³, sendo que o volume de projeto era de apenas 182.700.00 m³;
- A fundação da barragem é de solo residual;
- Seu método de alteamento é por linha de centro com alteamento contínuo;
- Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada à jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local;
- Há um significativo impacto ambiental pela implantação da barragem devido a existência de área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas a jusante da barragem além do armazenamento de resíduos Classe II B – Inertes;
- O impacto socioeconômico previsto é baixo devido a existência de pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem;

Tabela 3 - Informações sobre a Mina Chapada Alto Horizonte-GO

Município	Alto Horizonte
UF	Goiás
Nome	Barragem de Resíduo do Córrego Baco Pari
Uso Principal	Contenção de resíduos de mineração
Classe do Resíduo	Classe II B - Inertes
Categoria de Risco	Baixo
DPA	Médio
Barragem Classe	C
Nome do Empreendedor	Mineração Maracá Industria e Comercio Sa
Orgão Fiscalizador	ANM
Capacidade (hm ³)	1,67
Altura - Fundação (m)	46
Altura - Terreno (m)	46
Latitude	-14,12
Longitude	-49,24
BaciaHidro	ARAGUAIA

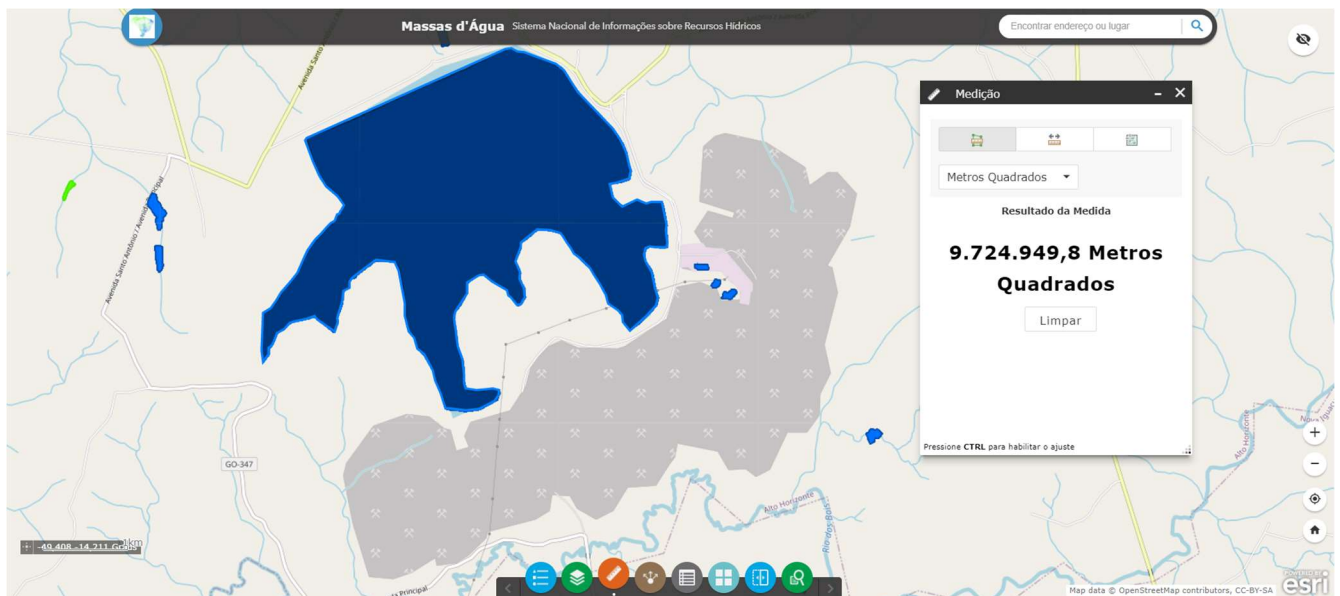
Região Hidrográfica	Tocantins - Araguaia
Regulada	SIM

Fonte: adaptado de SNISB, 2017.

Os resíduos são encaminhados da planta da mina até a bacia de acumulação por meio de tubulação onde, próximo à crista da barragem, parte dos resíduos são ciclados, para construção do maciço de jusante e o restante é lançado diretamente no reservatório, por meio de espigotamento, formando a praia.

Atualmente, conforme disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2019), a Barragem de Resíduo do Córrego Baco Pari já ocupa aproximadamente 10 km² de extensão (Figura 13)

Figura 13 - Extensão da Barragem de Resíduos do Córrego Baco Pari



Fonte: SNIRH, 2019.

3. A CONSTRUÇÃO COM TERRA E O ADOBE

A terra, junto com a madeira e a pedra constituem o rol dos materiais de construção mais antigos do planeta, tendo sido aos poucos substituídos pelo tijolo cerâmico, concreto e aço. Sua importância, enquanto componente de uma diversidade de sistemas construtivos, foi tamanha que até hoje é possível observar seu extenso legado histórico por todos os continentes.

Na Europa, principalmente nos países próximos à Alemanha, o barro era utilizado para compor muralhas e fortalezas, um dos exemplos que ainda podem ser encontrados é a ruína da fortaleza de Henneberg, pertencente ao século 6 a.c. Nas décadas de 1970 e 1980, foram desenvolvidos estudos da Universidade de Kassel que permitiram o desenvolvimento de vários projetos habitacionais e de instalações públicas (MINKE, 2011; CORDEIRO, 2019).

Na França, país que tem folhetos detalhando as técnicas de construção com terra datados de 1790-1793 d.c., produzidos pelo arquiteto François Cointeraux (MINKE, 2011), a partir de 1980, com o programa de habitação social *Domaine de la Terre*, com o uso de terra compactada, foram construídas milhares de habitações na Ilha de Mayote (CORDEIRO, 2019).

A Inglaterra em 1990, revolucionou a logística ao tomar a iniciativa de produzir e comercializar materiais de construção relacionados à terra como tijolos, painéis e a própria terra entregue ensacada, enquanto mais recentemente, a Áustria iniciou um processo de pré-fabricação de paredes de terra totalmente mecanizadas (JOFFROY; GUILLAURD; LE TIEC, 2013).

Há registros de construções com terra no Egito, China, Palestina, Irã, Iraque e em praticamente todo continente africano datando cerca de 8000 anos a.c. (CARVALHO; LOPES, 2012). Especificamente no Egito, Pisani (2004) aponta que desde a construção de casas até fortificações era comum o uso de blocos de terra crua, adobe, unidos por camadas de areia, além de lajes preenchidas por “argamassas” compostas por argila e areia. Minke (2011) ressalta ainda que a maioria das edificações religiosas também era construída com taipa.

Nas Américas o registro mais antigo é da pirâmide do Sol, em Teotihuacán, México, construída entre os anos de 300 e 900 d.C., onde encontram-se cerca de 2 milhões de toneladas de terra socada (MINKE, 2011). Especificamente no Brasil, as técnicas de construção com terra foram trazidas pelos portugueses no período colonial, sendo difundidas principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás, onde há inúmeras construções ainda perenes, que são exemplos de durabilidade (SILVA, 2015).

Nos Estados Unidos as construções com terra foram introduzidas pelo sul, tanto na costa oeste quanto na leste, respectivamente nos estados da Califórnia e da Carolina do Sul, pelos imigrantes chineses e alemães, na forma de taipa, enquanto os nativos americanos empilhavam lama para criar grandes moradias de vários andares, hoje conhecidas como ruínas de Hohokam, perto Phoenix, Arizona. Algumas cidades da costa oeste, como San José e Los Angeles foram originalmente construídas em adobe mas atualmente pouco resta delas (NIROUMAND, ZAIN, JAMIL, 2013).

Quando se pensa na regulamentação das técnicas construtivas com terra a Austrália e a Nova Zelândia são dos países que mais investiram no desenvolvimento normativo, em especial nas que tratam sobre BTCs (blocos de terra compactada). A primeira regulamentação específica foi publicada em 1952 e a mais recente em 2002, sendo esta o Manual Australiano de construção em terra (SILVA, 2015).

Os países que despontam na contribuição normativa das construções com terra são a França, a Alemanha e a Espanha, no entanto, outros países fora do eixo europeu ocidental também apresentam seus próprios regulamentos para construções com terra, como por exemplo: Nepal, Nigéria, Quênia, Quirguistão, Sri Lanka, Tunísia e Turquia (GOMES et al, 2019). No Quadro 2 a seguir, cada país tem suas próprias normas o que faz com que, por um lado, haja uma falta de padronização que permita a comparação de dados e pesquisas enquanto por outro, torna possível privilegiar as particularidades da terra e da técnica local.

Quadro 2 - Normas regulamentadoras de construção com terra em diversos países

País	Documento	Descrição
Alemanha	Lehmbau Regeln (2009)	Define as diretrizes de concepção para a técnica da taipa
Austrália	Bulletin 5 (1987)	Publicado pelas normas Australianas com base nos livros de Peter Walker; define as diretrizes de concepção para as técnicas da taipa, blocos de adobe e BTC e ainda terra empilhada
	The Australian Earth Building Handbook HB 195 (Standards Australia & Walker, 2001)	
Brasil	ABNT NBR 8491:2012 - Tijolo de solo-cimento — Requisitos	Esta Norma estabelece os requisitos para o recebimento de tijolos de solo-cimento. Esta Norma se aplica aos tijolos de solo-cimento destinados à execução de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil.
	ABNT NBR 10833:2012 - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento	Esta Norma estabelece os requisitos para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa manual ou hidráulica.
	ABNT NBR 10834:2012 - Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos	Esta Norma estabelece os requisitos para o recebimento de blocos de solo-cimento, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.
	ABNT NBR 13553:2012 - Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos	Esta Norma estabelece os requisitos para os materiais a serem empregados na construção de paredes monolíticas de solo-cimento sem função estrutural.
	ABNT NBR 16814:2020 - Adobe — Requisitos e métodos de ensaio	Esta Norma estabelece os requisitos para a produção de adobe e execução da alvenaria, além dos métodos de ensaio para sua caracterização física e mecânica.
Colômbia	NTC 5324	
Espanha	Bases para el Diseño y Construcción con Tapial (MOPT, 1992)	Define referências para a concepção e construção de estruturas com terra.
	(UNE 41410, 2008)	Norma para blocos comprimidos
EUA	ASTM E2392/E2393M-10 (2016)	Aborda as técnicas construtivas de construção com terra com base nas diretrizes de diversos países e regiões, tais como a Alemanha, Austrália, Califórnia, China, Equador, Índia, Novo México, Nova Zelândia e Perú.
	New Mexico Earthen Building Materials Code (2006)	Aborda as técnicas da taipa, alvenarias de adobe e de BTC, para edifícios até dois pisos, estabelecendo requisitos mínimos para a construção com terra.
França	(NF XP P13-901, 2001)	Norma para blocos comprimidos.
Índia	IS 13827 (1993)	Referência para projeto, produção e construção com terra com diversas técnicas.
Nova Zelândia	NZS 4297-99 (1998)	Construção com terra – taipa, alvenaria de adobe e de BTC – com ou sem estabilização química.
Perú	NTE E.080 (2017)	Constitui parte do Regulamento Nacional de Edificações do Perú, sobre construção com taipa e blocos de terra, incluindo reforço estrutural e construções sísmo-resistentes.
Portugal	NP EM 722-1 (2002)	Especifica o método para a determinação da resistência à compressão de blocos de alvenaria.
Zimbábue	SAZ 724 (2001)	Documento que define as características para a construção, até dois pisos, das técnicas da taipa, de blocos de terra e argamassas com base em terra, com base em Keable (1996), Bulletin 5 (1987) e SNZ 4298 (1998).

Fonte: Adaptado de GOMES et al (2019).

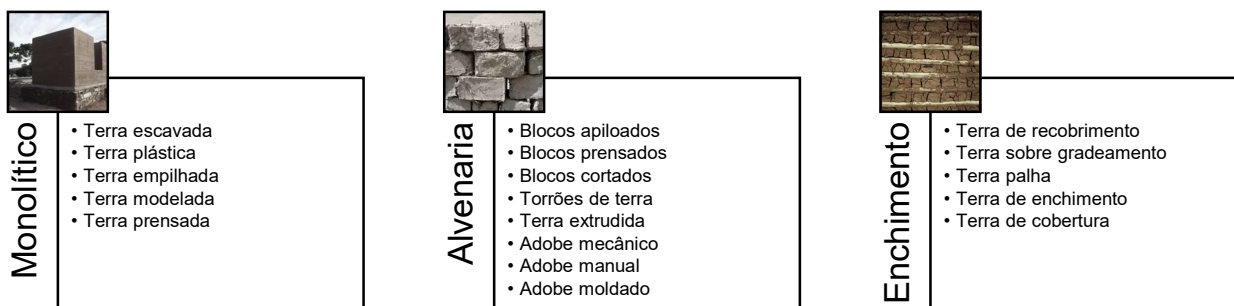
3.1. Utilização da terra como material de construção

Mesmo sabendo que a terra é esse material que tem uma aplicação histórica nas construções desenvolvidas pelo homem, que no Brasil, a sua utilização foi significativamente difundida pelos colonizadores até o século XVIII, principalmente nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Paraná e São Paulo (MINKE, 2015), Monteiro e Rocha (2012) ressaltam que, atualmente, há uma tendência de ressurgimento de tais técnicas como alternativas que minimizem os crescentes problemas ambientais promovidos pelo setor da construção civil, haja vista que estas, ao utilizarem a terra, uma matéria-prima renovável e de menor impacto ao meio ambiente, contribuem para o desenvolvimento de construções mais sustentáveis.

Detalhando melhor as características que fazem com que a terra seja esse material que suscita o desenvolvimento sustentável nas construções, Silva (2015) destaca o fato desta ser uma matéria prima bastante abundante e de fácil extração. Mesmo com a possibilidade de utilizar equipamentos mecanizados e até automatizados para a sua obtenção ainda é possível extrai-la sem a utilização de equipamentos complexos o que promove um custo financeiro reduzido para além do baixo custo energético, tendo em conta a não liberação de dióxido de carbono no processo.

A terra, quando utilizada como material de construção, recebe nomes diferentes (MINKE, 2015) a depender da sua consistência, composição granulométrica, forma de aplicação, etc. Uma das formas de entender a sua aplicação em construções é a classificação estabelecida pelo centro francês *CRATerre - Centre international de la construction en terre*, onde as diversas técnicas são agrupadas nos eixos de construtivos monolíticos, alvenarias e enchimentos (Figura 14).

Figura 14 – Classificação das técnicas de construção com terra



Fonte: Adaptação de CRATerre (2006).

As técnicas de construção monolíticas são todas aquelas que são autoportantes, apresentando capacidade de suportar cargas além do seu peso próprio sem a necessidade de elementos estruturais específicos. As alvenarias, podem ser autoportantes, a depender da resistência adquirida, mas são bastante utilizadas como vedação. Elas partem da premissa de produção de unidades manufaturadas, com variação na consistência da massa, mecanização e desforma. Essas unidades individuais, após a secagem, ao ar, são unidas por “argamassa” de terra, podendo conter estabilizante ou não. Por fim, nas técnicas de enchimento a utilização da terra se dá por meio da aplicação de porções de mistura plástica de solo, contendo ou não fibras, em tramas de madeira, bambu ou similar.

“A construção com terra já foi a regra no Brasil, conforme demonstra a maior parte do patrimônio histórico edificado, mas hoje é exceção” (AMARAL, MINTO e LELIS, 2021). Atualmente, tanto na construção de novas edificações quanto na restauração das construções existentes as técnicas que têm sido mais utilizadas são os blocos de adobe, blocos de solo-cimento comprimidos, taipa de mão (pau-a-pique) e taipa de pilão (CALDAS, DE SOUZA MARTINS e TOLEDO FILHO, 2021).

O uso dessas técnicas de construção tem sido motivado, dentre vários fatores, devido ao entendimento de que o uso da terra como material de construção pode conferir propriedades higrotérmicas, acústicas, anti-propagação de chamas, baixa (ou nenhuma) toxicidade além de permitir a sua reciclagem no fim de vida da construção (PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011).

Outro fator considerado relevante é a redução da pegada de carbono na produção das mais diversas técnicas (Figura 15), uma vez que, por ser um material natural, o seu processamento demanda menos energia e gera menos poluente.

Figura 15 - Técnicas de construção com terra e suas aplicações mais comuns no Brasil



Fonte: Marasciulo (2019).

Independentemente das classificações que possam vir a aglutinar as técnicas construtivas de terra, o que faz com que seu uso continue tendo respaldo em pleno século XXI são as propriedades conferidas às construções. Dentro delas cabe destacar:

- O desempenho termo-higrotérmico: A propriedade relacionada com a capacidade dos materiais para absorverem e restituírem humidade ao ambiente onde estão colocados é designada por higroscopicidade e é função da porosidade superficial dos materiais. Um material diz-se higroscópico, se o seu teor de humidade variar em função da humidade relativa do ambiente. Vários autores referem que nos blocos de adobe, se observa uma relação directa entre absorção e porosidade, sendo que o tamanho dos poros e a sua distribuição determina o grau de absorção de água (Médout et al., 1998; Kerali, 2000; Xian-Qing, 2003).

“As propriedades higrotérmicas da terra proporcionam um bom isolamento térmico e acústico, uma autorregulação do teor de humidade no interior das

construções e ainda uma elevada resistência ao fogo” (CAMPOS, 2021). Em termos de comportamento térmico, os materiais são tanto mais eficazes quanto menor for o seu coeficiente condutibilidade térmica, pois nesse caso será maior a resistência térmica desse material (R) e menor o coeficiente de transmissão térmico (U), do elemento construtivo do qual faz parte o revestimento, gerando menos perdas de energia para o exterior da habitação.

- O desempenho acústico: O isolamento acústico associado à construção em terra é bastante elevado, comparando favoravelmente com as soluções construtivas tradicionais.

Delgado & Guerrero (2006) descrevem um índice de redução sonora de 58dB para uma frequência de 500hz, em paredes de terra com 50 cm de espessura.

Morton (2008) menciona índices de redução sonora a variar entre 46 e 57, para paredes de blocos de terra com espessuras entre 13 e 36,5 cm., valores bastante elevados quando comparados com uma parede tradicional de tijolo de 7 rebocada nas duas faces com espessura final de 11cm que tem um índice de redução sonora de 35 dB.

Mesmo com tais características, um dos pontos fracos dos blocos de terra em termos da sua utilização em obra, prende-se com a quebra frequente das suas arestas devido a impactos de origem accidental, pelo que na sua opinião tão ou mais importante que assegurar que os blocos de terra possuem uma determinada resistência à compressão ou à flexão, é necessário assegurar que os mesmos conseguem resistir aos impactos que ocorrem durante a fase de aplicação (MINKE, 2006; TORRALBA, 2009).

3.2. Adobe

Uma das formas mais tradicionais de se utilizar a terra como material de construção é na produção de adobes. O adobe é considerado uma das técnicas da arquitetura vernacular, também conhecida como arquitetura popular, do dia-a-dia ou arquitetura comum. Esse termo, “vernacular”, foi utilizado pela primeira vez por Sir George Gilbert

Seotts em 1857 (CHRISTENSON, 2011) e desde então tem sido utilizado para designar, como tecnologia vernácula, aquelas que priorizam a utilização de materiais locais e produzidos com o “toque das mãos” (RIBEIRO DO VALE; PENIDO DE REZENDE, 2018).

A história da utilização do adobe pelo homem se liga diretamente com o desenvolvimento das técnicas construtivas para moradia, onde se fazia uso de materiais em maior abundância em cada localidade.

“Se, por um lado, nas regiões árticas esse material era o gelo, por outra, em regiões de floresta a madeira ganhava protagonismo. E em praticamente todas as regiões, com diferentes tipos de solo, misturado com uma diversidade de matéria orgânica e/ou fibras vegetais o adobe ganhou espaço e se tornou um dos materiais mais comuns para a construção de casas” (AUGUSTIN e BAILEY, 2001).

O processo da fabricação dos adobes, também conhecidos como tijolos de terra crua, é milenar, e sempre foi empregado por diversas civilizações no decorrer da história da humanidade, tendo sido propagado por todas as regiões de climas quentes e secos, subtropicais e temperados do planeta (MINKE, 2015), desde as construções egípcias, construções do início da colonização brasileira, e atualmente em algumas áreas rurais e sertanejas do país. Sua utilização ainda acontece hoje devido ao seu baixo custo, à possibilidade da utilização de materiais locais e principalmente pela sua facilidade de fabricação.

Os tijolos de adobe são produzidos de forma manual ou mecanizada. Em ambos os casos, após a produção do barro, sua confecção se dá por meio de fôrmas para moldagem e posteriormente secagem ao ar.

No método manual, sua produção se dá ao preencher os moldes com barro em consistência pastosa ou com o lançamento de um barro menos pastoso (MINKE, 2015). No primeiro caso, quando o barro é aplicado na fôrma em uma consistência pastosa, bastante fluida, a desmoldagem acontece de forma tardia, somente após o início do processo de secagem, quando o tijolo já adquiriu estabilidade suficiente para se auto-portar, enquanto no segundo caso, onde o barro apresenta menos água,

adquirindo uma consistência mais firme, ou seja, menos pastosa, o desmolde dos tijolos acontece logo após o processo de moldagem.

Os processos de mecanização da produção dos tijolos de adobe se dão na incorporação de equipamentos nas diversas fases do processo produtivo, desde a utilização de maquinário para promover a mistura (homogeneizadores de solo, betoneiras, argamassadeiras, etc.) até nas etapas de adensamento e desforma dos tijolos, como é o caso dos utilizados na América do Norte, nos estados da Califórnia, Texas e Novo México (AMARAL, 2017).

Dentre as vantagens dos tijolos de adobe, podemos citar como principais: o controle da umidade (deixando os ambientes mais refrigerados e possibilitando trocas térmicas): o baixo custo de produção: a possibilidade de reutilizar o solo retirado na execução dos nivelamentos da fundação: e o não uso de recursos naturais para a queima em fornos e conseqüentemente a não produção de gases tóxicos liberados na atmosfera. Contudo, o adobe também possui desvantagens, como a sua permeabilidade, que pode causar fissuras e rachaduras nos tijolos prontos e comprometer a estrutura da obra, além do preconceito ainda existente com esse material, visto por muitos como ausência de inovação no ramo da construção civil.

Empiricamente várias soluções foram sendo incorporadas à essa “receita” inicial com a intenção de melhorar as características dos adobes produzidos, portanto passou-se a adicionar outros materiais, como o betume natural, para melhorar a sua permeabilidade, e palhas, para reduzir a sua retração, além de buscar uma padronização granulométrica para identificar solos mais apropriados (NEVES; FARIA, 2011).

No campo da pesquisa científica, são diversos os estudos que envolvem a análise e a avaliação dos adobes (Tabela 4).

Tabela 4 - Ocorrência de publicações envolvendo adobe

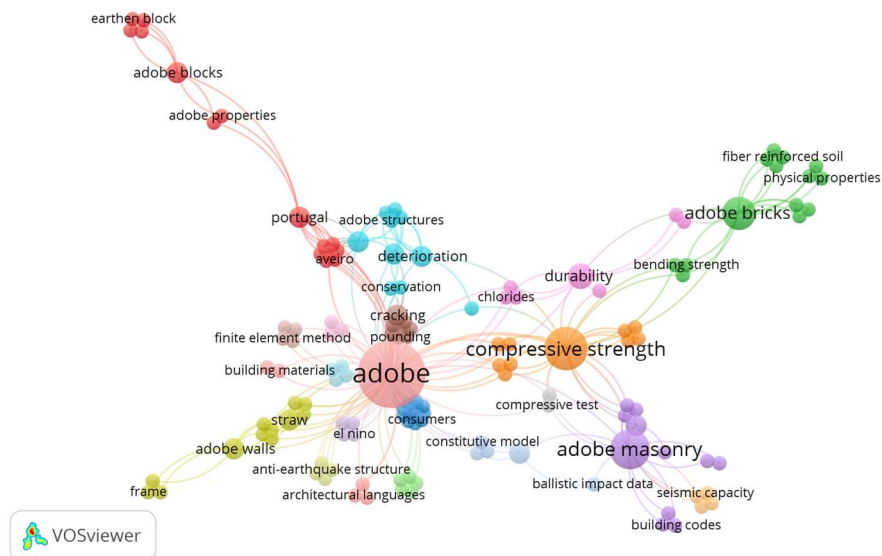
Data	Base de dados	Busca	Filtros	Nº de artigos
		"adobe"		18.930
		"adobe" AND "brick"		236
13/10/2022	Web of Science	"adobe" AND "build material"	Todos os campos	2
		"adobe" AND "characterization"		286
		"adobe" AND "compression"		337

		"adobe" AND "by-products"	10
		"adobe"	24.347
		"adobe" AND "brick"	2.453
14/10/2022	Scopus	"adobe" AND "build material"	1
		"adobe" AND "characterization"	3.165
		"adobe" AND "compression"	1.680
		"adobe" AND "by-products"	268

Fonte: A autora.

Dentre estes estudos, os temas que se relacionam com os tijolos de terra crua, foco deste trabalho, tem se concentrado em cerca de 20 grandes eixos, cujas palavras-chave mais apresentadas são: “tijolos de adobe”, “tensão de compressão” e “alvenaria de adobe” (Figura 16, tradução nossa).

Figura 16 - *Network* de palavras-chave disponíveis na base de dados *Web of Science*

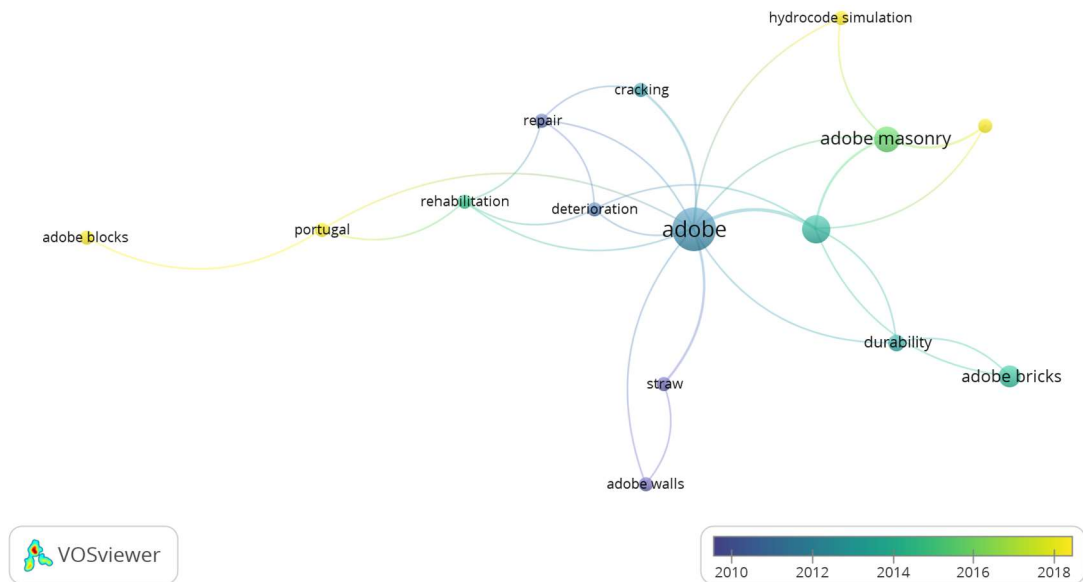


Fonte: Adaptado de *Web of Science*.

Do ponto de vista temporal, considerando apenas as palavras-chave que ocorrem pelo menos duas vezes em trabalhos distintos, é possível constatar que os trabalhos contemporâneos, dos últimos cinco anos, têm focado em estudar os “blocos de adobe”, seu “comportamento hídrico (simulado)” e sua “caracterização mecânica” (Figura 17,

tradução nossa). Sendo que Portugal ainda apresenta grande relevância na produção de conhecimento nesta área.

Figura 17 – Visualização temporal de palavras-chave disponíveis na base de dados *Web of Science*



Fonte: Adaptado de *Web of Science*.

Ao colocar em perspectiva os estudos mais atuais nota-se aqueles que têm avaliado as propriedades mecânicas e físicas de tijolos de adobe com o intuito de reincorporar resíduos da agricultura e da indústria (SERRANO; BARRENECHE; CABEZA, 2016). Esses estudos, em sua maioria, buscam incorporar materiais fibrosos (ARAYA-LETELIER et al., 2018; SOARES; SILVA; PINHEIRO, 2008) que melhoram as características de tração na flexão, propriedade essa que é uma das suas principais deficiências, ou então algum aditivo ou adição que vise melhorar sua reduzida resistência à compressão e alta absorção de água (BERNARDI et al., 2014; MILLOGO; HAJJAJI; OUEDRAOGO, 2008; PINEDA-PIÑÓN et al., 2007).

Dentre as técnicas para a melhoria das características do adobe está a estabilização. Os processos de estabilização do solo já são bastante consolidados e têm a função de promover a melhoria das suas características para viabilizar a sua utilização. Esse melhoramento das características do material pode ser promovido pelas estabilizações mecânicas, químicas, térmicas e elétricas, dentre as quais destacam-se as duas

primeiras como formas mais comuns de adequação do solo (ALMEIDA *et al*, 2010; NEVES *et al*, 2010).

Entende-se por estabilização granulométrica, aquela que consiste na mistura de proporções de diferentes terras com a finalidade de garantir um determinado padrão granulométrico enquanto a estabilização química, é a que promove um incremento de aditivo (s) químico (s) à terra, sendo que os mais comumente utilizados nas técnicas de construção com terra são o cimento ou cal (NEVES; MILANI, 2011).

Dentre as diversas ponderações de autores quanto a relação entre a identificação do solo e a estabilização indicada temos o Quadro 3 a seguir, adaptada por Silva (2015), onde identifica-se que, para construções com terra a orientação é que, caso as amostras se mostrem muito arenosas, a estabilização deverá ser feita quimicamente, com cimento ou cal e se necessário realizar a correção granulométrica. No entanto, caso sejam argilosas, a recomendação é que para além das estabilizações químicas e mecânicas, quando necessário, usar-se-á a incorporação de fibras para a garantia da estabilização.

Quadro 3 - Recomendações de estabilização, para construções com terra, em função do tipo de solo

Identificação	Estabilizante mais apropriado
Solo Argiloso e Solo Siltoso	
Silte e silte argiloso	Cimento Portland; pode ser afetado por temperaturas baixas.
Silte	Cimento Portland ou emulsão asfáltica de baixa viscosidade
Argila com pedregulho, argila arenosa e argila siltosa	Corrigir granulometria e usar impermeabilizante
Argila e argila plástica	Palha ou outro tipo de fibras
Silte orgânico e argila siltosa orgânica	Não utilizar para construções com terra
Argila orgânica	Não utilizar para construções com terra
Solo Arenoso	
Areia siltosa Areia	Cimento Portland ou cal, ou os dois combinados. Corrigir granulometria, se necessário.
Areia argilosa Pedregulho	Cimento Portland ou cal, ou os dois combinados. Corrigir granulometria, se necessário. Cimento Portland ou cal, ou os dois combinados. Corrigir granulometria, se necessário.
Solo com pedregulho	
Pedregulho siltoso, mistura de pedregulhos, areia e silte	Cimento Portland; usar cal como impermeabilizante.
Pedregulho argiloso, mistura de pedregulhos, areia e silte	Cal; usar emulsão asfáltica como impermeabilizante.

Fonte: Adaptado de Silva (2015)

As fibras também trabalham como uma espécie de estabilizante mecânico uma vez que a sua incorporação atua na minimização dos efeitos da retração dos solos muito plásticos, evitando o aparecimento de fissuras no processo de secagem, além de garantir também melhoria nos desempenhos térmicos e elásticos dos tijolos de adobe (NEVES, 2011).

Em acordo com a normativa brasileira (ABNT, 2020), a produção dos adobes no país deve atender aos requisitos apresentados no Quadro 4, à seguir.

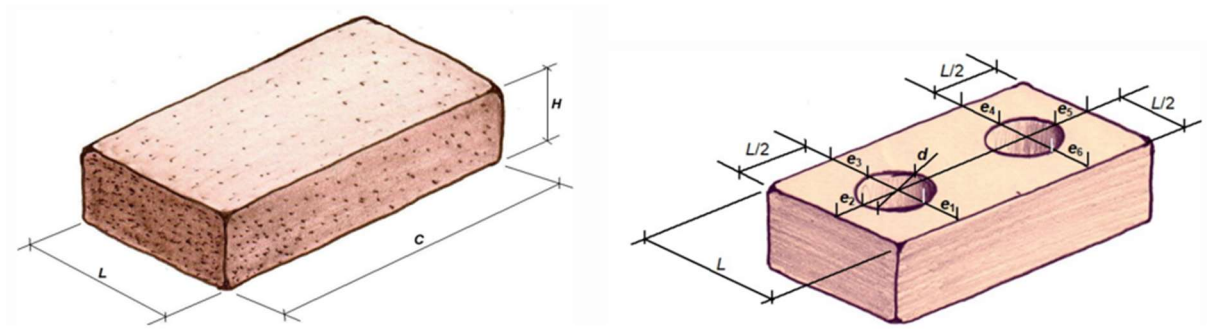
Quadro 4 - Requisitos da NBR 16814 (ABNT, 2020) para a avaliação e produção de adobes

Critérios		Descrição
Materiais	Terra	areia: entre 45 % e 65 %; silte: até 30 %; e, argila: entre 25 % e 35 %;
	Correção granulométrica	A composição granulométrica do solo pode ser corrigida com adição de areia, ou com mistura de dois ou mais tipos de solos
	Água	A água a ser utilizada deve atender aos mesmos requisitos daquela aplicada nos concretos e argamassas.
	Estabilizantes	Caso seja necessário, podem ser utilizados estabilizantes, desde que sejam realizados ensaios de comportamento físico e mecânico de adobes produzidos experimentalmente, para verificação do atendimento dos parâmetros de desempenho desta Norma.
Características Visuais	Para seu emprego, o adobe deve estar seco, livre de materiais estranhos, trincas ou outros defeitos que possam comprometer sua resistência ou durabilidade	
Forma e Dimensão (Fonte: Adaptado de NBR 16814 (ABNT, 2020). Figura 18)	Forma	Recomenda-se que o adobe tenha a forma externa de um paralelepípedo retangular
	Dimensões	comprimento do adobe (C), correspondente à maior dimensão das faces de assentamento, preferencialmente igual ao dobro da largura (L), sendo acrescida de uma vez a espessura da junta vertical de assentamento (j); altura do adobe (H), correspondente à distância entre as faces de assentamento, preferencialmente igual à metade da largura e maior ou igual a 7 cm.
	Tolerância	a tolerância de dimensões individuais efetivas do adobe, é de ± 5 mm; a tolerância de dimensões médias da amostra para Hm, Lm e Cm, é de ± 5 mm.
Produção	Mistura	o material seco deve ser destorroado e homogeneizado, antes da adição da água; adicionar água, homogeneizando a mistura (amassamento) até obter a consistência apropriada para a moldagem; deixar o barro em repouso por cerca de 24 h, coberto com lona plástica, e amassá-lo novamente, antes do uso.
	Moldagem	o barro deve preencher completamente o volume do molde; besmoldar o adobe logo após a sua conformação, sobre uma superfície nivelada; se necessário, utilizar desmoldante.
	Secagem	proteger o adobe das intempéries; evitar a secagem acelerada no início do processo; assegurar que a secagem seja uniforme em todas as faces do adobe
	Armazenamento	Após a secagem, os adobes podem ser armazenados em pilhas, com altura de até 1,20 m, em local protegido de intempéries.

Resistência à compressão	A resistência à compressão individual do adobe (f_{ca}) deve ser $\geq 1,5$ MPa
--------------------------	---

Fonte: Adaptado de NBR 16814 (ABNT, 2020).

Figura 18 - Forma e dimensão dos adobes, maciços e furados



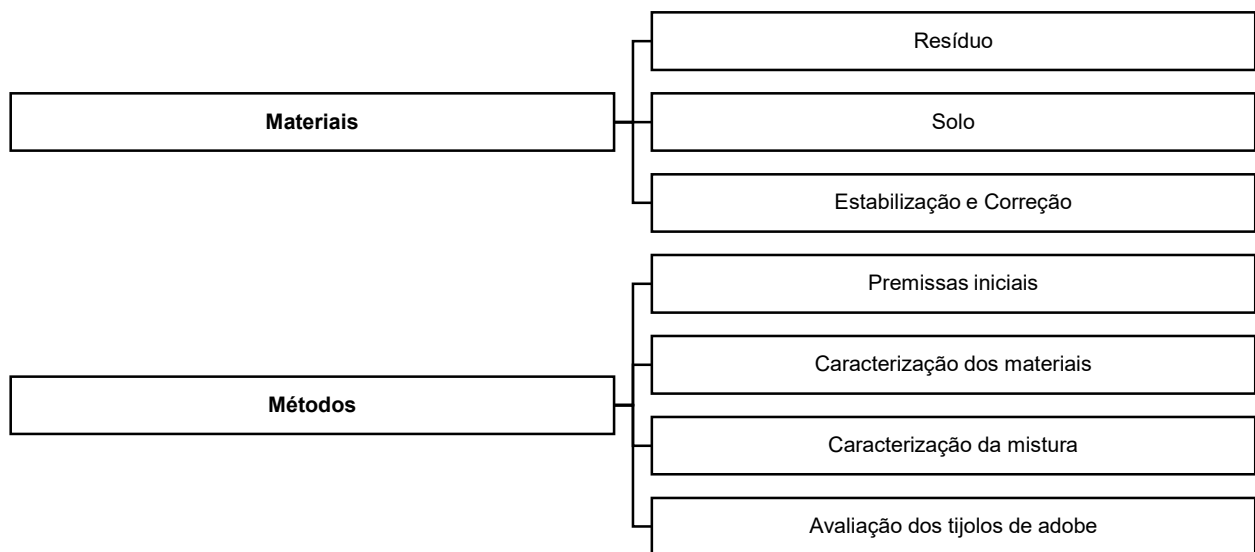
Fonte: NBR 16814 (ABNT, 2020)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão abordados todos os materiais que comporão os tijolos de adobe bem como os métodos adotados para o atendimento do objetivo pré-estabelecido.

Na Figura 19 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a seguir, está disposto qual será a ordem de estruturação da pesquisa, onde, inicialmente serão apresentados os materiais que comporão os tijolos de adobe, dentre eles, o resíduo de mineração, o solo e o (s) estabilizante (s), caso seja necessário. Na sequência será estabelecida a lógica dos métodos a serem adotados, começando com a apresentação das premissas iniciais, seguida pela caracterização dos materiais, caracterização das misturas e, por fim, pela avaliação dos tijolos de adobe.

Figura 19 - Estrutura dos Materiais e Métodos adotados



Fonte: A autora.

4.1. Materiais

4.1.1. Resíduo

Foi adotado como material o resíduo da mineração de cobre e ouro da mina Chapada, da MMIC, localizada no município de Alto Horizonte - GO. Tal resíduo será utilizado em

diversas proporções para que seja testada qual a melhor condição de utilização para os tijolos de adobe.

4.1.2. Solo

Quanto ao solo, base para os tijolos, foi utilizado o solo da região de Uruaçu, conforme preconiza toda a literatura a respeito da técnica, onde dar preferência à materiais locais faz com que o produto final seja mais ambientalmente sustentável.

Tal solo foi adquirido para os laboratórios de materiais de construção e mecânica dos solos do Instituto Federal de Goiás – câmpus Uruaçu, a partir de empresa parceira, sendo transportado até o local de destino por caminhão caçamba.

Como na região existe a presença de algumas olarias, que alimentam o comércio local, utilizou-se o solo de uma das jazidas que alimentam tal indústria, cuja localização não foi apontada, em virtude do sigilo da fonte.

Mesmo sem essa definição precisa do local e profundidade da extração do solo, optou-se ainda assim por mantê-lo em virtude da busca por produzir adobes com características próximas ao tijolo convencional produzido na região, amplamente utilizado como elemento de vedação.

4.1.3. Estabilizante

Para melhorar as características mecânicas da mistura resíduo-solo, garantindo o mínimo de aglutinação das partículas, sem afetar significativamente os resultados de resistência à compressão e absorção de água dos adobes produzidos, nas diferentes proporções, será utilizado o cimento mais comumente aplicado nas obras da região.

O cimento em questão é o CP II F 32, que é o ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, composto por filer calcário, cuja composição apresenta em sua maior parte carbonato de cálcio e que atinja valores de resistência à compressão mínimos, aos 28 dias, de 32 MPa (mega pascal).

4.2. Métodos

Para garantia de maior clareza sobre o procedimento metodológico adotado, estão apresentados a seguir, as premissas iniciais e o programa experimental desta pesquisa. No item “premissas iniciais” são apresentados os itens que foram previamente adotados para este trabalho, com base no referencial bibliográfico, enquanto no “programa experimental” são detalhadas as atividades laboratoriais previstas para o cumprimento do objetivo proposto.

A abordagem metodológica adotada para esta pesquisa foi a explicativa, com método de procedimento experimental, uma vez que a partir da pesquisa bibliográfica e dos ensaios realizados buscou-se estudar as características dos adobes produzidos com a incorporação do resíduo da mineração de cobre e ouro, com a submissão do objeto de estudo à influência de algumas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelos investigadores, para observar os resultados que estas produziram nos adobes confeccionados (PRODANOV, 2013).

4.2.1. Premissas iniciais

Para a produção dos tijolos de adobe, foram utilizadas formas duplas, metálicas, de base quadrada, com formato 9 cm x 19 cm x 19 cm (base quadrada). Tais dimensões foram definidas em acordo com a norma peruana de adobe - NTE E.080 (2000), que aponta que o formato quadrado promove uma maior versatilidade construtiva na execução de encontros de paredes em “L” e em “T”, bem como no cruzamento de paredes, em “X”, o que resulta em menores perdas e desperdícios, bem como em elementos construtivos mais duráveis e resistentes.

Foram realizadas diversas misturas de solo e resíduo, partindo de uma combinação total de solo, sem adição alguma, até uma combinação total de resíduo. Os valores intermediários foram estabelecidos de forma a variar a incorporação do resíduo em taxa fixa de 20% em massa (Tabela 5), permitindo assim um mapeamento da influência desta incorporação no desempenho mecânico dos adobes.

Tabela 5 - Variação da incorporação dos resíduos para a produção dos tijolos de adobe

Nomenclatura da Mistura	Resíduo (%)	Solo (%)
M0_100	0	100
M20_80	20	80
M40_60	40	60
M60_40	60	40
M80_20	80	20
M100_0	100	0

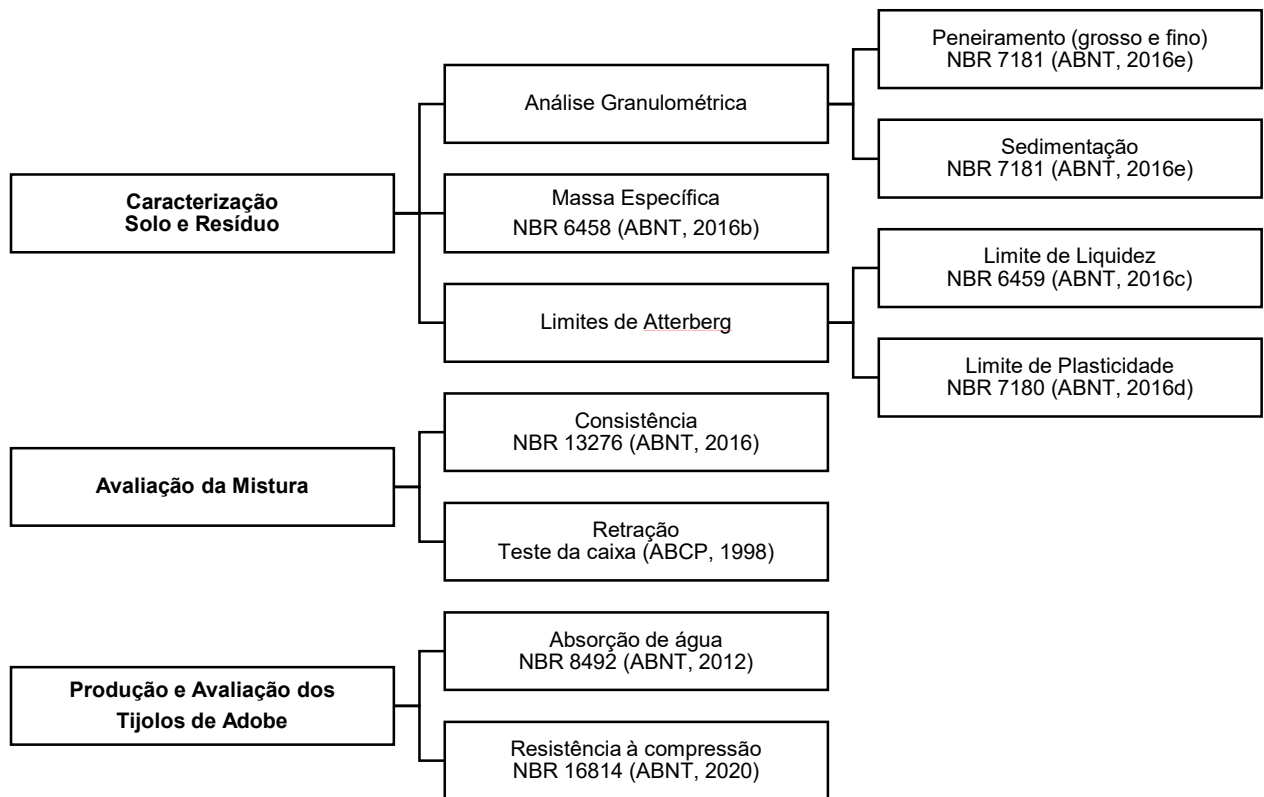
Fonte: A autora.

Para fins de correção das misturas, com o intuito de melhorar o seu comportamento aglutinante, foram utilizados 6% de cimento CP II F 32, em massa. Tal parâmetro encontra respaldo no Boletim Técnico BT-117, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1996), que versa sobre solo-cimento, mas que serviu de parâmetro para a adaptação para a produção de adobes.

4.2.2. Programa Experimental

Definidas essas premissas iniciais, deu-se início ao programa experimental, que por sua vez, foi dividido em três eixos principais conforme apresentado na Figura 20 a seguir e detalhado na sequência.

Figura 20 - Procedimentos laboratoriais



Fonte: A autora.

Inicialmente, foi realizada a caracterização dos materiais que foram utilizados para a confecção dos adobes, solo e resíduo. A coleta e preparação destes foram realizadas conforme descrito na NBR 6457 (ABNT, 2016a), onde ambos foram obtidos como amostras deformadas.

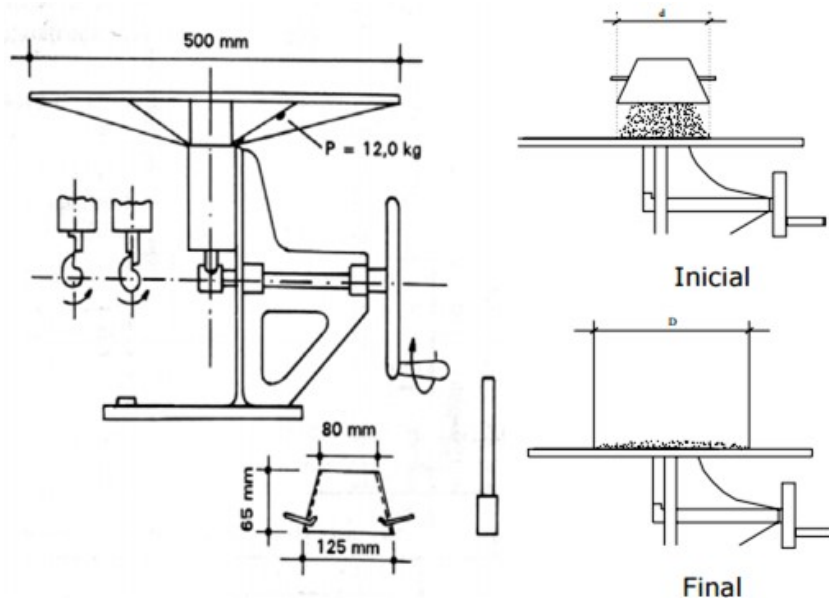
Após a preparação dos materiais granulares, a fim de conhecer a sua composição granulométrica, foram realizados os ensaios de peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação (ABNT, 2016e) sendo seguidos pela determinação da massa específica por meio da NBR 6458 (ABNT, 2016b).

Para entender o comportamento desses materiais e posteriormente classificá-los também foram determinados os Limites de Atterberg, por meio dos seus limites de plasticidade (ABNT, 2016d) e limites de liquidez (ABNT, 2016c).

Tendo finalizado a caracterização individual dos materiais, deu-se início a análise das diversas misturas, apresentadas anteriormente na Tabela 01. A fim de monitorar a consistência ideal para a produção dos adobes e produzir parâmetros passíveis de comparação no momento da análise dos resultados, realizou-se adaptação do ensaio de consistência por meio da mesa de abatimento.

Para este estabelecimento do parâmetro de consistência, ao passo que não existe ensaio padronizado para solos, adotou-se o índice de consistência normal, previsto na NBR 16606 que trata da determinação da pasta de consistência normal para cimento Portland (ABNT, 2018) onde é previsto a aferição da consistência por meio do espalhamento da pasta na mesa de abatimento (Figura 21).

Figura 21 – Ensaio para a determinação da consistência



Fonte: (ABNT, 2016)

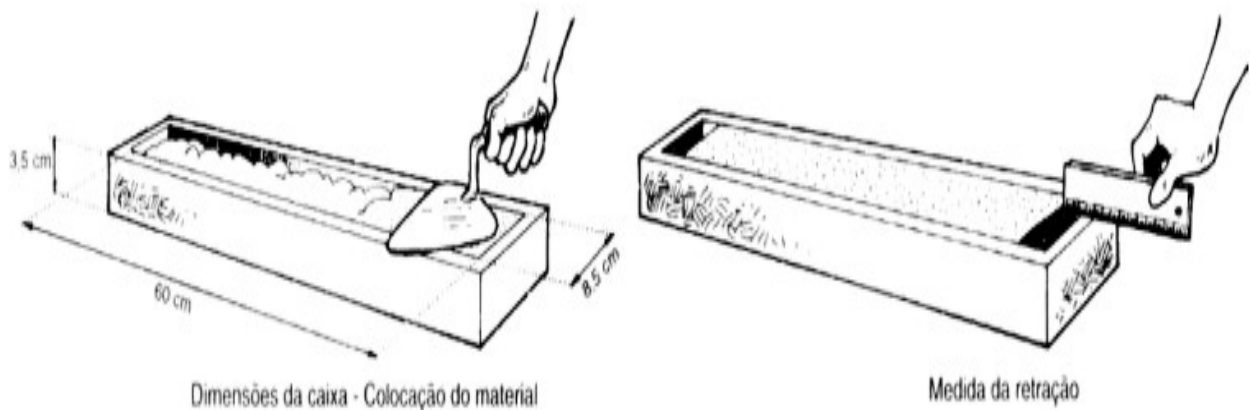
Após estabelecido os índices de consistência, avaliou-se a retração linear (Figura 22) das misturas por meio do teste da caixa, cujo processo de moldagem e aferição está descrito na Figura 23 a seguir.

Figura 22 - Retração Linear



Fonte: A autora.

Figura 23 - Teste da caixa



Fonte: (ABCP, 1998)

Por fim, terminados os ensaios de consistência foram moldados os adobes. Para cada traço foram produzidos um total de 16 (dezesesseis) unidades, sendo 13 (treze) para o ensaio à compressão e avaliação dimensional (ABNT, 2020) e 3 (três) para o ensaio de absorção de água (ABNT, 2012), o que totalizou 96 (noventa e seis) unidades, para todos os traços pré-estabelecidos.

4.2.2.1. Produção dos blocos

Para a produção dos blocos foi utilizada forma dupla (Figura 24), de paredes e alças metálicas, com base quadrada de dimensões 9 cm x 19 cm x 19 cm.

Figura 24 - Forma metálica para a produção dos adobes (9 cm x 19 cm x 19 cm)



Fonte: A autora.

Para a determinação do quantitativo dos materiais (Tabela 6) para a produção das 32 unidades de cada mistura, levou-se em consideração os valores de massa específica do solo e do resíduo, uma vez que a produção em laboratório demanda maior controle no processo produtivo e este, por sua vez, é alcançado quando se faz uso dos valores em massa.

Tabela 6 - Quantitativo de material para a produção dos adobes

Mistura	Solo (%)	Resíduo (%)	Qtd para fabricar P/ 16 um (forma dupla) + 10%		
			Massa de solo (kg)	Massa resíduo (kg)	Massa Cimento (Kg)*
M0_100	0	100	0,00	158,85	9,53
M80_20	20	80	31,38	127,08	9,51
M40_60	40	60	62,76	95,31	9,48
M60_40	60	40	94,15	63,54	9,46
M80_20	80	20	125,53	31,77	9,44
M100_0	100	0	156,91	0,00	9,41
TOTAL			470,73	476,56	56,84

Fonte: A autora.

Como mecanismo de estabilização da mistura a incorporação de cimento Portland composto por filer calcáreo e resistência prevista de 32 MPa (CP-II-F-32) na proporção 6%. Adotou-se este percentual por se tratar do mínimo valor indicado pela literatura nacional (ABCP, 1996), fazendo com que o aglomerante em questão tivesse o mínimo de influência no ganho de resistência à compressão dos adobes produzidos.

A produção dos adobes (Figura 25) se deu de forma manual, com amassamento por pisoteamento sob lona, conforme a técnica tradicional, nos laboratórios do Instituto Federal de Goiás – Câmpus Uruaçu

Figura 25 - Processo de mistura do adobe



Fonte: A autora.

Com a intenção de garantir maior controle no processo de secagem os blocos foram deixados todo o tempo dentro dos laboratórios da instituição (Figura 26) por um período de três meses.

Figura 26 - Moldagem dos adobes



Fonte: A autora.

4.2.2.2. Absorção de água

Após a realização do ensaio de absorção de água foi calculado o teor de absorção de água, conforme estabelece o procedimento normativo (Equação 1).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- A é a absorção de água (%);
- m_1 é a massa do corpo de prova seco em estufa (g);
- m_2 é a massa do corpo de prova saturado (g).

Este procedimento, estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) orienta que o índice de absorção de água médio das unidades avaliadas não deve ser superior a 20%, enquanto os índices individuais não podem ser superiores a 22%

Os adobes foram submetidos à secagem à sombra, por um período de 30 (trinta) dias, sendo que à cada semana todas as unidades eram viradas, de forma a alternar o lado em contato com o solo, para tentar garantir homogeneidade durante a secagem.

Decorrido o período de secagem, os adobes foram cortados com serra circular em prismas (ABNT, 2020) com dimensões 9x9x9 cm, capeados com argamassa de areia e cimento, com traço 1:1, e submetidos a ensaio de compressão simples, na prensa Emic, modelo CCE600KN, do campus Uruaçu do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

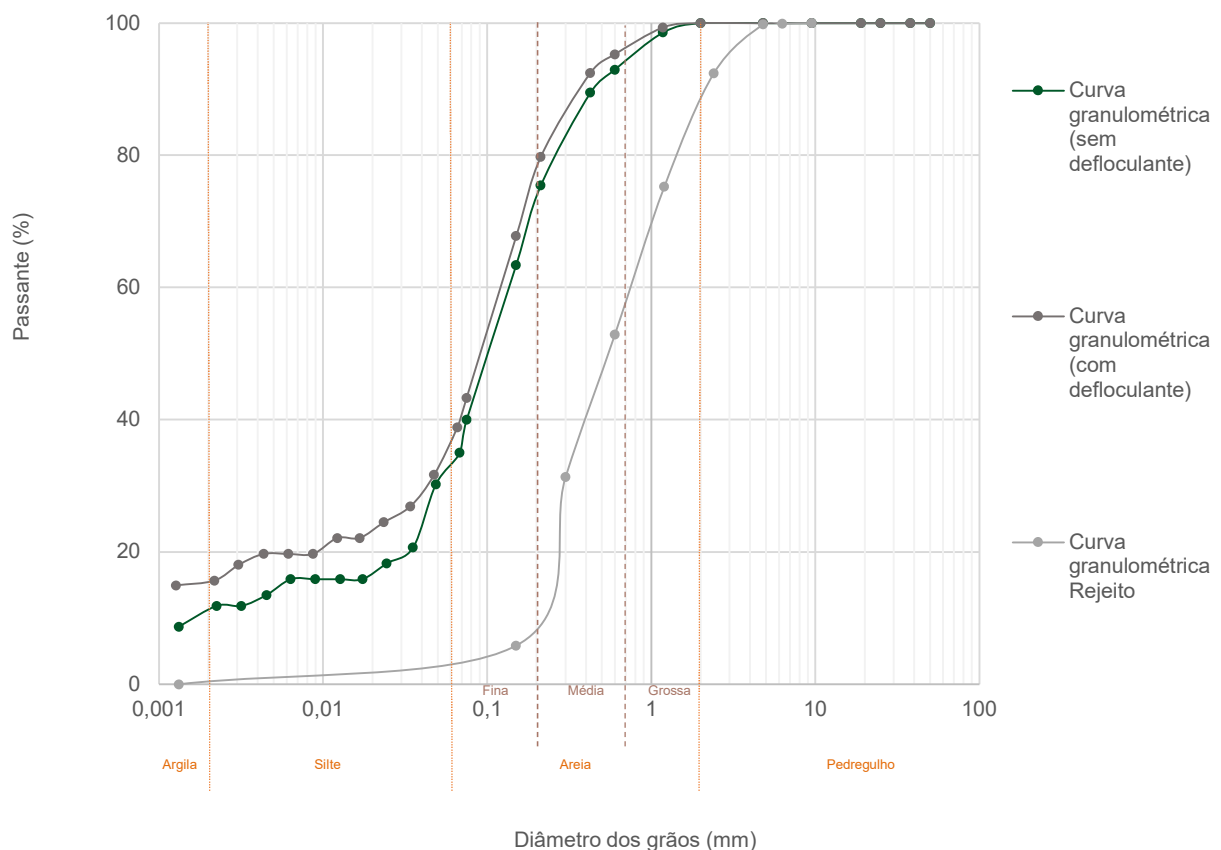
Finalizado o programa experimental foi realizado a compilação, análise dos resultados e considerações finais a respeito dos dados encontrados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização

O solo analisado apresentou massa específica dos grãos igual a $2,744 \text{ g/cm}^3$, limite de liquidez (LL) de 40% e limite de plasticidade (LP) de 32%. O que fez com que o índice de plasticidade (IP) fosse igual a 8%, o que indica um solo medianamente plástico (CAPUTO, 1988). Tanto o solo quanto o resíduo da mineração de cobre e ouro utilizado para a realização da pesquisa foram submetidos aos ensaios de caracterização, apresentando a composição granulométrica ilustrada na Figura 27, à seguir.

Figura 27 - Curvas granulométricas (solo e resíduo)



Fonte: A autora.

É possível observar que o solo apresentou 60% de areia, sendo que a predominância foi de areia fina, 22% de silte e 11% de argila, enquanto o resíduo apresentou 87% de areia, com um equilíbrio entre grossa e média, e 10% de pedregulho. Com essa composição, o solo se mostra bem próximo dos parâmetros considerados ideais para confecção de adobes, enquanto o resíduo ultrapassa a quantidade de areia e pedregulhos recomendados (ABNT, 2020), o que não inviabiliza o seu uso, mas demonstra a necessidade de estabilização da mistura por meio da adição de material aglomerante.

Cabe ressaltar que a variação das curvas com e sem defloculante destoam pouco, o que indica um baixo teor de material aglomerado na forma de torrões e que não se desmanchariam na presença da água, dificultando assim o processo de homogeneização das misturas. Já o resíduo da mineração se apresenta como uma areia mais grossa, o que é um fator importante para evitar processos de retração na secagem.

5.2. Consistência e retração

Na tentativa de se obter parâmetros que permitissem a comparação dos adobes produzidos com as diferentes taxas de incorporação do resíduo, adotou-se, conforme estabelecido na metodologia, o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (Figura 28), NBR 13276 (2016), onde três leituras (corpos de prova (CP) a, b e c) dos seus respectivos espalhamentos foram feitas (Tabela 7).

Figura 28 – Ensaio de consistência



Fonte: A autora.

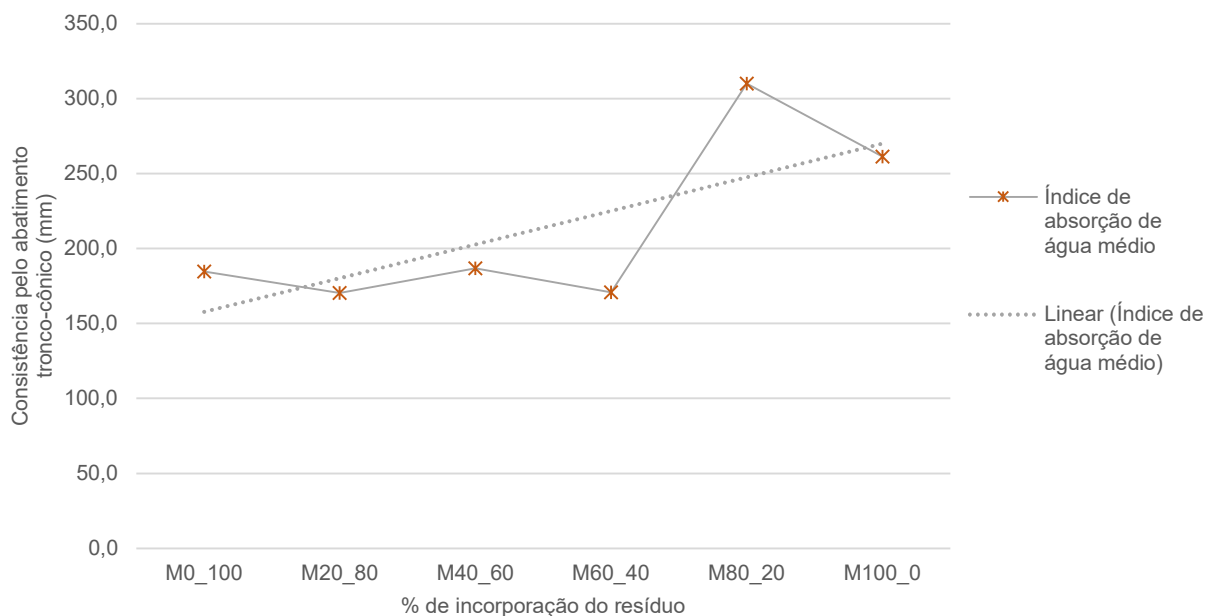
Tabela 7 - Índice de consistência

Mistura	Consistência (mm)				Água/ materiais secos
	CPa	CPb	CPc	Média	
M0_100	193,00	172,00	189,00	184,7	0,17
M20_80	168,20	175,05	167,90	170,4	0,27
M40_60	185,30	182,70	192,55	186,9	0,34
M60_40	177,50	174,80	159,68	170,7	0,33
M80_20	322,50	297,90	309,50	310,0	0,28
M100_0	277,85	249,00	256,80	261,2	0,43

Fonte: A autora.

Como resultado deste procedimento experimental obteve-se a Figura 29, onde está apresentado o comportamento do índice de consistência obtido em cada percentual de incorporação do resíduo. Cabe ressaltar que a relação água/materiais secos, preconizada no experimento, foi de extrema importância para garantir a trabalhabilidade da mistura durante o processo de moldagem dos corpos de prova, sendo impossível garantir a sua padronização, uma vez que quanto mais resíduo incorporado maior foi a demanda de água e, por consequência, mais altos foram os valores dos seus respectivos índices de consistência.

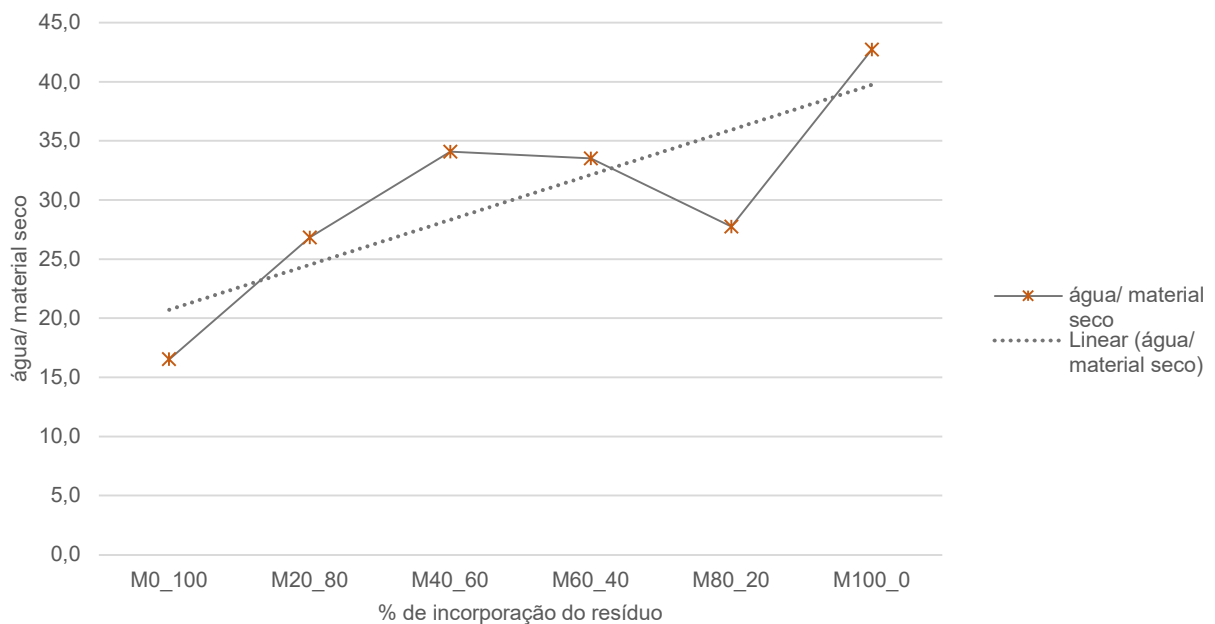
Figura 29 – Índice de consistência das misturas em função da taxa de incorporação do resíduo



Fonte: A autora.

Ainda em análise à Figura 29 e à Tabela 7, observa-se que, mesmo que o aumento do teor de umidade (relação água/materiais secos) tenha implicado na maior amplitude dos índices de consistência das misturas, este aumento não seguiu qualquer relação de proporcionalidade, como ilustra a Figura 30.

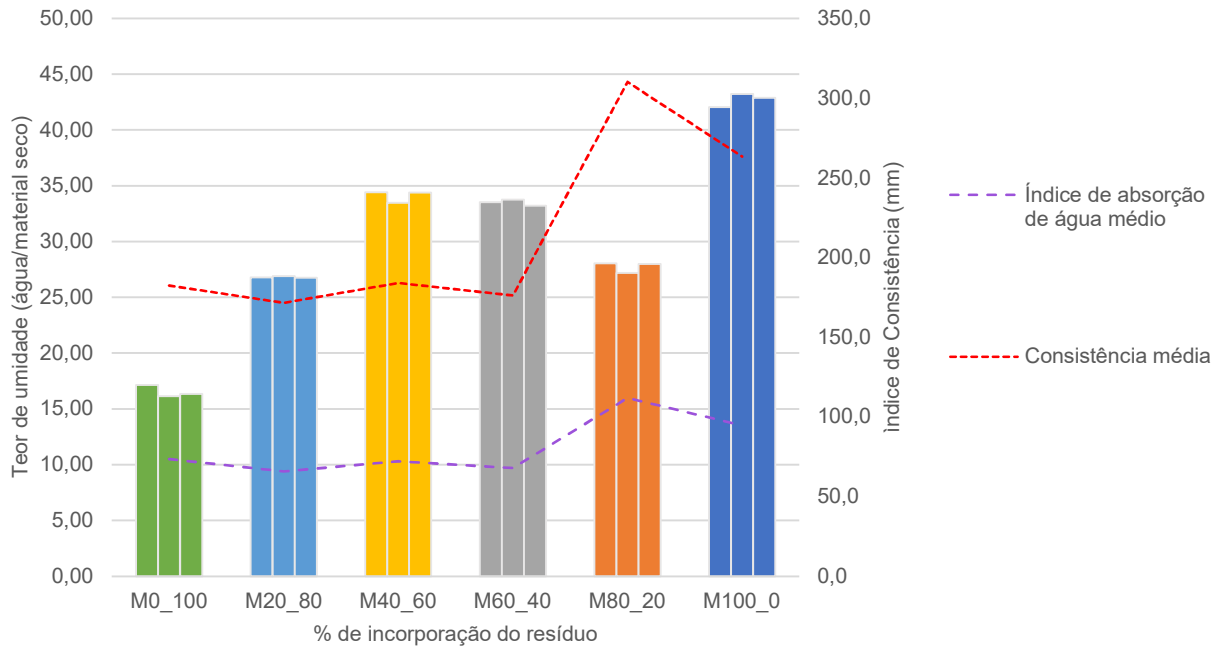
Figura 30 - Relação água/ material seco em função do teor de incorporação do resíduo



Fonte: A autora.

Na sequência, deu-se seguimento à realização do ensaio de retração pelo teste da caixa (ABCP, 1998) onde, após um mês de secagem, foi possível observar que a incorporação do resíduo fez com que o aparecimento de trincas fosse minimizado, haja vista a sua composição mais arenosa.

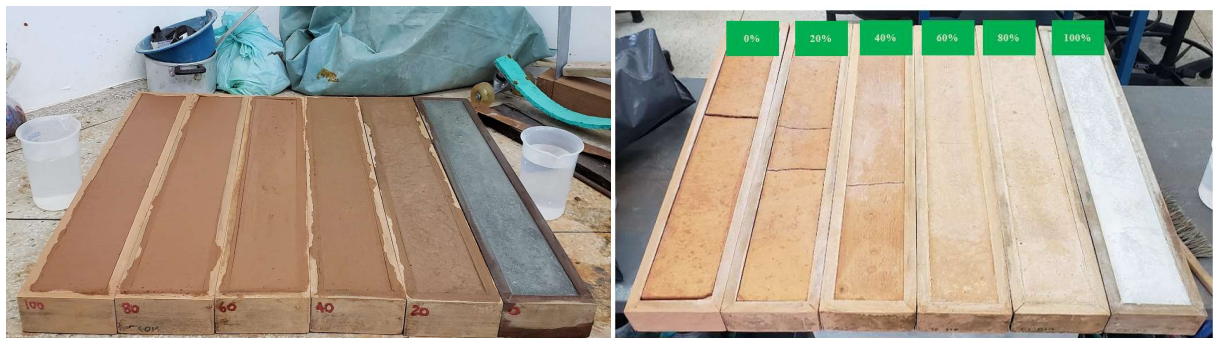
Figura 31 - Comparação Teor de umidade e consistência



Fonte: A autora.

Ao se comparar os valores médios de teor de umidade (água/material seco) e de consistência é possível perceber uma correlação entre as duas curvas, sendo que nos menores percentuais de incorporação a amplitude (distância) entre elas era de cerca de 15. Na amostra com 80% essa amplitude sobe para 30 e depois volta a cair para 20.

Figura 32 - Teste de Retração da Caixa



Fonte: A autora.

Desde os processos iniciais de produção identificou-se algumas dificuldades no processo de produção dos adobes em virtude da variação das características das misturas (Figura 33). Se de um lado as misturas com pouco resíduo se apresentavam muito plásticas, dificultando o desmolde e a manutenção da planeza das faces e das arestas, de outro lado as misturas com proporções maiores de resíduo, mesmo com a adição do aglomerante, se mostravam pouco coesas, o que veio a se confirmar após o processo de secagem, quando no manuseio das peças notou-se muita desagregação das partículas arenosas e, nos casos mais graves, grandes deslocamentos.

Figura 33 - Dificuldades verificadas no processo de produção dos adobes em diferentes proporções de incorporação do resíduo



Fonte: A autora.

5.3. Absorção de água

Para a identificação do índice de absorção de água foram destacados três corpos de prova (CP a, b e c) para cada percentual de incorporação do resíduo. Estes CPs foram, primeiramente identificados e depois submetidos à estufa (Figura 34), com temperatura de 105° C, por um período de 24 horas, até que a estabilidade da massa fosse atingida.

Figura 34 - Corpos de prova submetidos à estufa para a realização do ensaio de absorção de água



Fonte: A autora.

Após este procedimento os corpos de prova foram imersos em água por igual período e pesados, com a superfície seca, para a obtenção dos seus respectivos dados de absorção (Figura 35 e Tabela 8).

Figura 35 - Corpos de prova (CP) submetidos ao ensaio de absorção de água



Fonte: A autora

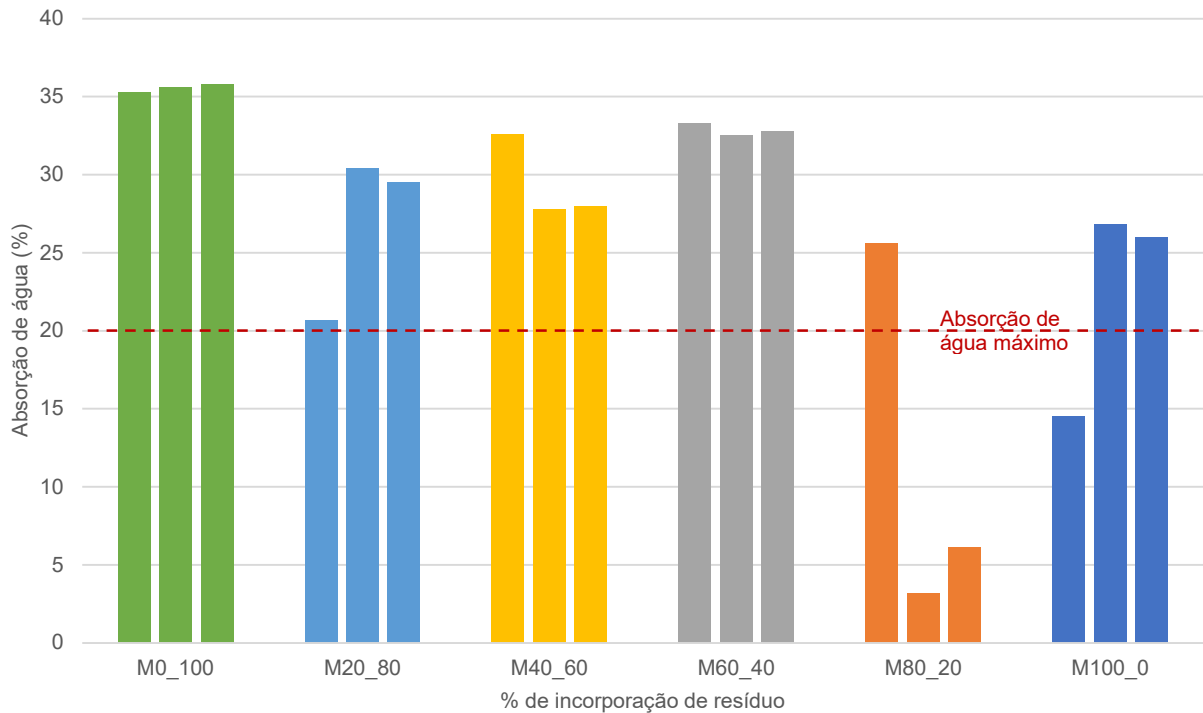
Tabela 8 - Absorção de água

	Corpo de prova (CP)	Massa CP seco ao ar (m)	Massa CP seco em estufa (m ₁)	Massa CP saturado (m ₂)	Absorção de Água (A)	Absorção de Água Média
M0_100	a	4134,5	4045	5472,1	35,3	35,6
	b	4171,9	4082	5536,2	35,6	
	c	4297,9	4205,7	5712,1	35,8	
M20_80	a	4584,2	4513,7	5448	20,7	26,9
	b	4451,9	4384	5716,8	30,4	
	c	4580,7	4505,9	5837,3	29,5	
M40_60	a	4841,6	4746,9	6293,3	32,6	29,5
	b	4411,8	4284,4	5477,3	27,8	
	c	4572,8	4459,9	5707,2	28	
M60_40	a	4511,4	4422,8	5894,5	33,3	32,9
	b	4499,4	4407,8	5841,8	32,5	
	c	4506,5	4416,2	5865,4	32,8	
M80_20	a	5179,6	5113,7	6422,4	25,6	25,6
	b	5040,3	4970,4	5129,5	3,2	
	c	5168,6	5105,5	5415,8	6,1	
M100_0	a	4745,3	4689	5379,2	14,5	22,4
	b	4734,2	4671,3	5921,1	26,8	
	c	5022,6	4971	6264,4	26	

Fonte: A autora

A partir dos dados obtidos verificou-se que os adobes produzidos sem nenhuma adição do resíduo (M0_100) foram os que apresentaram valores mais altos de absorção de água. No entanto, todas as unidades ensaiadas apresentaram valores superiores, aos 20% médios e 22% individuais, preconizados pela norma (Figura 36), excetuando-se três corpos de prova das misturas com 80% e 100% de incorporação do resíduo, que durante o processo de realização do ensaio se desintegraram e perderam massa de forma significativa, fazendo com que houvesse essa discrepância.

Figura 36 - Índice de absorção de água individuais

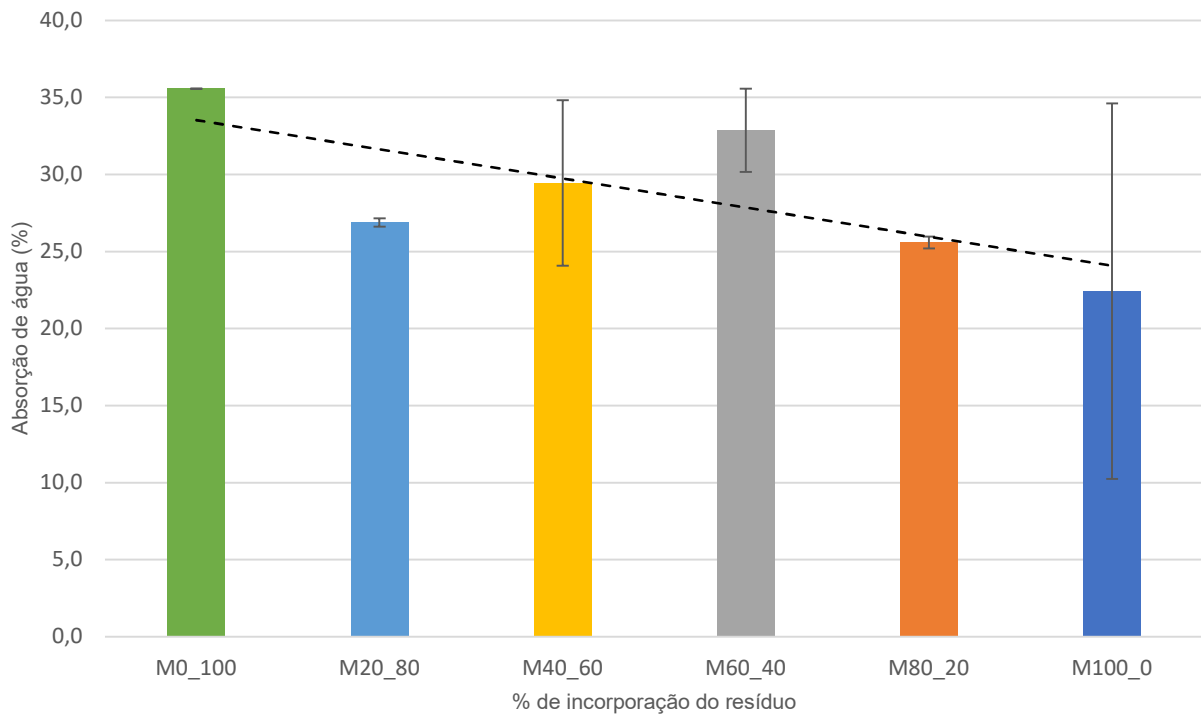


Fonte: A autora.

Transpondo os dados obtidos da absorção para o gráfico com apresentação da barra de erros, representando o desvio padrão de cada um dos percentuais de incorporação (Figura 37), visualizou-se uma tendência de queda, na medida em que foi-se incorporando mais resíduo à mistura, cabendo destacar que a taxa de 60%, destoa deste comportamento ao apresentar maior absorção do que a mistura de 40%.

Destaca-se ainda que mesmo que haja tendência de diminuição da absorção de água na medida em que se incorpora mais resíduo deve-se observar que houve considerável variação nos valores individuais das misturas com 40%, 60% e 100% de incorporação do resíduo, sendo que, apenas esta última se justifica em virtude da grande perda de material por desagregação causada por sua baixa coesão.

Figura 37 - Desvio padrão da absorção de água em função da variação do percentual de incorporação do resíduo



Fonte: A autora.

5.4. Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados após 90 dias da moldagem dos adobes, garantindo que todos estivessem completamente secos. Os adobes foram cortados com serra elétrica, na tentativa de garantir melhor acabamento aos prismas, e capeados com pasta cimentícia nas duas faces. Entretanto, os adobes produzidos com 100% de resíduo não puderam ser ensaiados uma vez que não tiveram coesão o suficiente (Figura 38).

Figura 38 - (a) Processo de corte dos prismas; (b) prismas cortados; (c) prismas cortados e capeados; (d) adobes com 100% de resíduo inviabilizados para ensaio de resistência à compressão



Fonte: A autora.

Os prismas foram submetidos ao ensaio de compressão em máquina Emic CCE600KN Figura 39. Os dados correspondentes a cada ensaio foram gerados pelo próprio equipamento, sendo apresentados (Tabela 9) segundo a sua respectiva resistência à compressão (MPa), bem como, de forma gráfica, os diagramas tensão-deformação (apêndice A), as resistências à compressão simples, individuais, por corpo de prova (Figura 40) e por grupo ensaiado (Figura 41).

Figura 39 - Ensaio de compressão

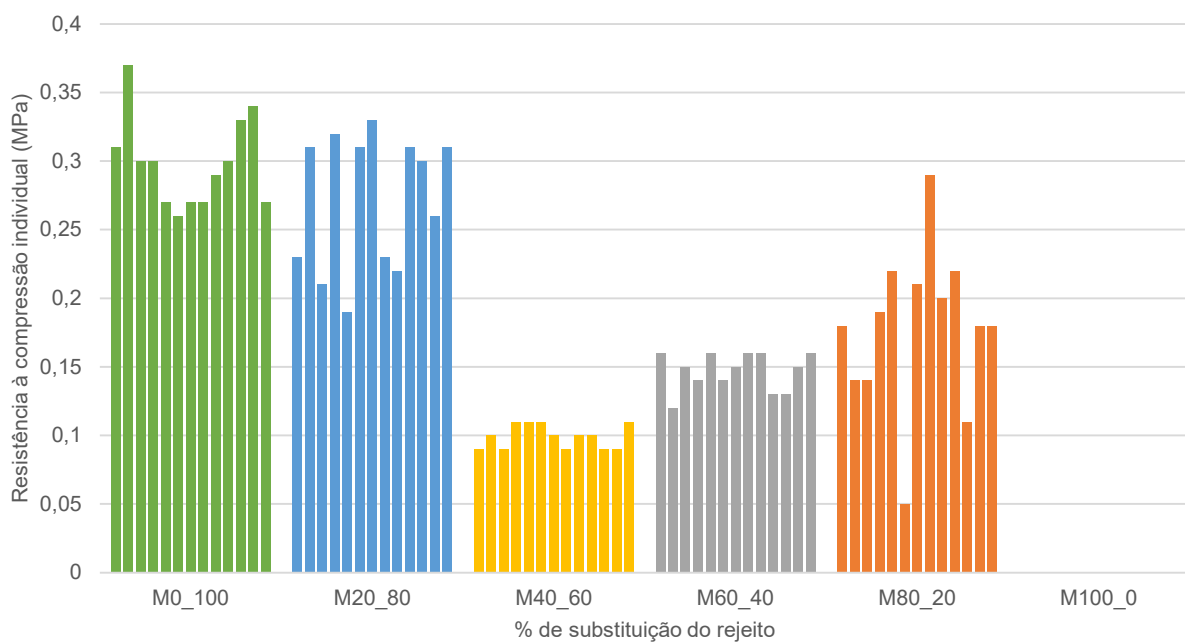


Fonte: A autora.

Tabela 9 - Resistência à compressão individual (f_{ca}) dos adobes

	M0_100	M20_80	M40_60	M60_40	M80_20	M100_0
CP 1	0,31	0,18	0,16	0,09	0,23	0
CP 2	0,37	0,14	0,12	0,1	0,31	0
CP 3	0,3	0,14	0,15	0,09	0,21	0
CP 4	0,3	0,19	0,14	0,11	0,32	0
CP 5	0,27	0,22	0,16	0,11	0,19	0
CP 6	0,26	0,05	0,14	0,11	0,31	0
CP 7	0,27	0,21	0,15	0,1	0,33	0
CP 8	0,27	0,29	0,16	0,09	0,23	0
CP 9	0,29	0,2	0,16	0,1	0,22	0
CP 10	0,3	0,22	0,13	0,1	0,31	0
CP 11	0,33	0,11	0,13	0,09	0,3	0
CP 12	0,34	0,18	0,15	0,09	0,26	0
CP 13	0,27	0,18	0,16	0,11	0,31	0
Resistência à Compressão Média, f_{cam}, (Mpa)	0,30	0,18	0,15	0,10	0,27	0,00
Desvio Padrão	0,03	0,05	0,01	0,01	0,06	0,00
Resistência Característica à compressão, f_{cak}, (MPa)	0,26	0,05	0,12	0,09	0,19	0

Fonte: A autora.

Figura 40 - Resistência à compressão das unidades ensaiadas

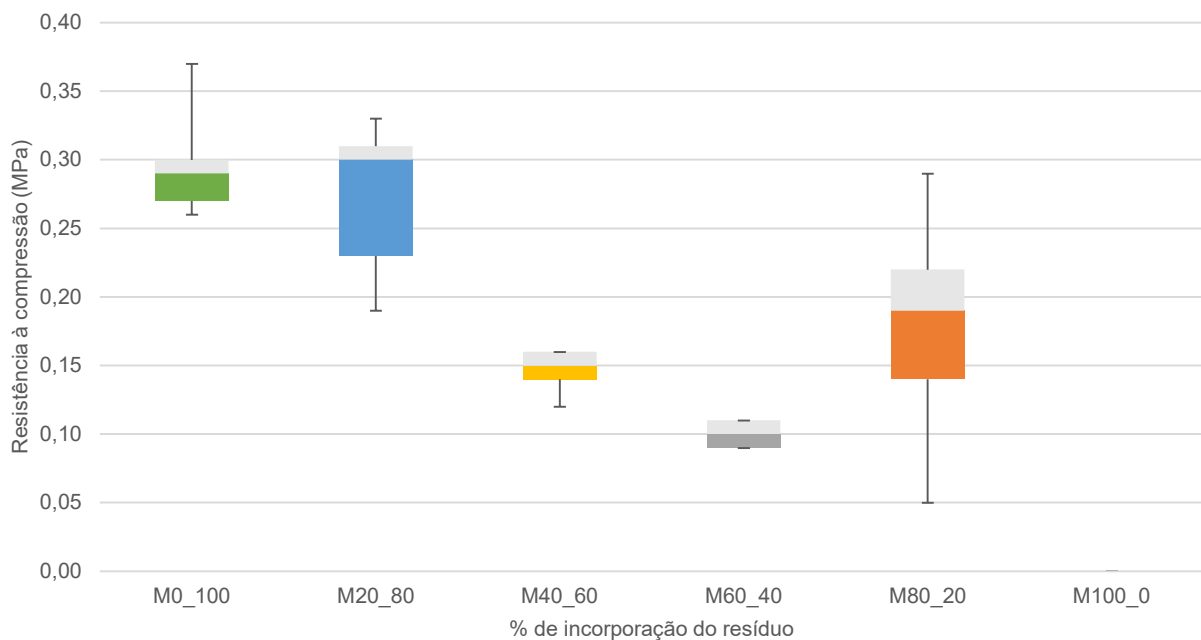
Fonte: A autora.

De imediato é possível observar (Figura 40) que os dados obtidos referentes à resistência à compressão dos adobes ficou abaixo do mínimo de 1,5 Mpa, estabelecido pela NBR 16814 (ABNT, 2020).

As resistências médias alcançadas foram consideravelmente menores do que o mínimo estabelecido pela recente normativa brasileira (ABNT, 2020), o que, no entanto, não impede a análise da influência do percentual de incorporação do resíduo no comportamento mecânico de resistência à compressão dos adobes.

Para a melhor visualização desse comportamento, os dados referentes à resistência à compressão dos adobes estão apresentados no *box plot* da Figura 41.

Figura 41 - Resistência à compressão simples em função da taxa de incorporação do resíduo



Fonte: A autora.

Analisando a Figura 41 é possível reiterar que mesmo que os adobes produzidos com 0% de incorporação do resíduo não tenham atingido a resistência mínima estabelecida pela normativa brasileira, estes ainda apresentaram o melhor desempenho

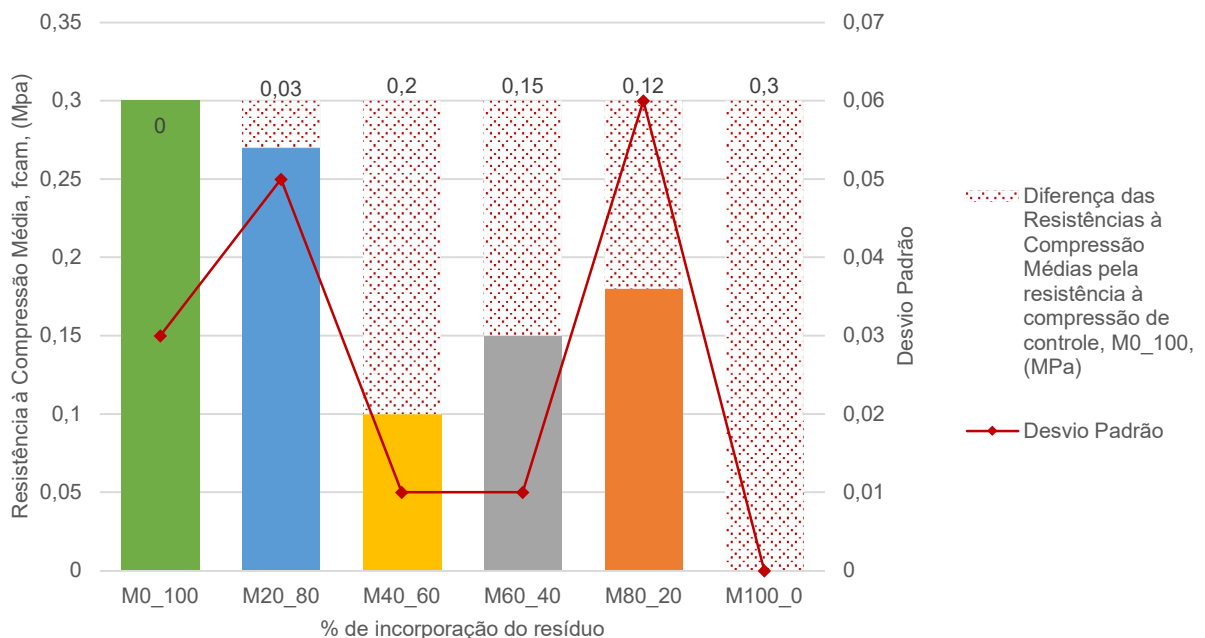
Os percentuais com 40% e 60% de incorporação do resíduo, apesar de não terem atingido resistências individuais maiores que as unidades com 20% e 80%,

apresentaram melhor comportamento no conjunto geral, uma vez que houve pouca dispersão dos valores, garantindo melhor uniformidade dos resultados.

Destaca-se ainda que mesmo com a utilização de um material oriundo de processo de extração mineral, que ao fim da sua linha de produção, apresenta resíduo bastante padronizado, do ponto de vista físico (granulometria, densidade, etc.), os adobes produzidos com diferentes teores de incorporação geraram resultados com um alto grau de dispersão. Isto corrobora com os apontamentos da literatura de que o processo de fabricação tradicional desses elementos de alvenaria tem como grande fragilidade a heterogeneidade, que acontece desde os processos de obtenção e coleta do solo até na avaliação final das propriedades técnicas, dos adobes, no estado endurecido.

Cabe salientar que ao analisar a diferença das resistências à compressão médias pela resistência à compressão de controle, M0_100 (Figura 42) confirma-se que o melhor desempenho, apesar do desvio padrão de 5%, foi da mistura com 20% do resíduo, sendo seguida pela de 80%, 40%, 60% respectivamente.

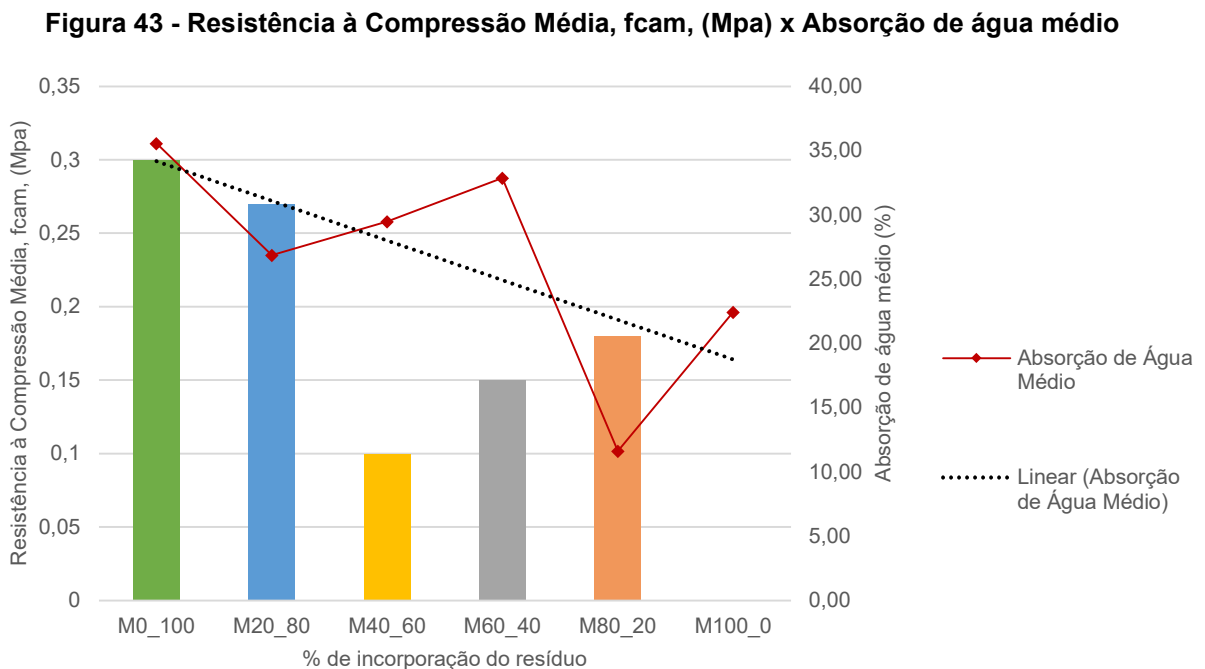
Figura 42 - Diferença das Resistências à Compressão Médias pela resistência à compressão de controle, M0_100, (MPa)



Fonte: A autora.

5.5. Correlação dos resultados

Ao analisar-se conjuntamente os resultados à compressão com os da absorção de água (Figura 43) observa-se que o melhor resultado de resistência à compressão (M0_100) apresentou o pior comportamento relacionado à absorção de água, enquanto, em contrapartida, o pior resultado, aferido, de resistência à compressão (M40_60), apesar de se encontrar em tendência descendente de absorção de água, ainda apresentou resultado consideravelmente superior ao máximo orientado pela norma (20%).



Fonte: A autora.

Ao se comparar os resultados das composições granulométricas do solo e do resíduo utilizado, com a retração linear, com os dados de absorção de água, e com a resistência à compressão, é possível inferir que a progressão de adição do resíduo fez com que as misturas fossem ficando cada vez mais arenosas. Tal fato fez com que, primeiro, na mistura com 100% do resíduo o teor de cimento incorporado fosse insuficiente para a aglomeração de todas as partículas, impossibilitando a análise

completa de tal mistura; segundo, uma vez mais arenosas as misturas passaram a absorver menos água, o que, por fim, pode ter refletido no desempenho melhorado de resistência à compressão da mistura com 80% do resíduo, corroborando a tendência de crescimento das resistências à compressão à partir da mistura de 40%.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim deste trabalho pôde-se verificar que, a utilização do resíduo da mineração de cobre e ouro para a produção de adobes demonstrou-se tecnicamente viável, do ponto de vista da moldagem, uma vez que em todas as faixas de mistura foi possível conformar os componentes na quantidade desejável.

Entretanto, nestas condições de preparo e moldagem, os adobes ensaiados não atingiram o requisito mínimo de 1,5 MPa para a resistência à compressão. Tal fato se deu principalmente devido à falta de coesão da mistura com maiores percentuais de incorporação do resíduo da mineração de cobre e ouro do município de Alto Horizonte – GO.

A falta de coesão por si só não é um empecilho para a utilização do resíduo, com a finalidade de produzir novos adobes, uma vez que esta pode ser melhorada por meio da estabilização das misturas com a aplicação de maior percentual de cimento ou até com o uso de cal e fibras vegetais ou sintéticas.

Por outro lado, a adição gradual do resíduo, ainda que tenha promovido redução na resistência à compressão dos adobes, foi um fator positivo para a observação de que as unidades produzidas com 80% e 100% tiveram bons resultados quanto à redução da absorção de água e diminuição dos efeitos nocivos da retração, durante o processo de secagem, o que faz com que seja importante a continuidade dos estudos para a determinação de estabilização, em proporções mais adequadas, para que a resistência à compressão também tenha resultados mais coerentes.

Cabe ressaltar que a literatura e as boas práticas de produção e assentamento de adobes, já preveem a possibilidade de impermeabilização dos componentes e das estruturas construídas com terra, tendo inclusive, prezado pela aplicação de impermeabilizantes naturais, como foi o caso destacado por Buson (2009) onde, com apenas 1% de adição de seiva de babosa (*aloe vera*) promoveu a redução da absorção de água em cerca de 2,6%.

Ainda sobre a absorção de água, constatou-se uma correlação diretamente proporcional aos valores de consistência ensaiados. Tal resultado pode-se mostrar como um parâmetro interessante para a estimativa da absorção dos adobes ainda no

preparo da massa. Isso quer dizer que, pensar em um ensaio que tente padronizar o procedimento de averiguação da consistência das misturas, sem a necessidade de adaptações pode ajudar a antecipar os valores de absorção de água, bem como facilitar para que os parâmetros mínimos (individuais e médios) desta absorção sejam atendidos, promovendo assim maior durabilidade das edificações construídas com estes componentes.

Por fim, cabe ressaltar que, há uma necessidade premente de apontar diferentes parâmetros mínimos de resistência à compressão para adobes cuja função será estrutural e para aqueles que terão função apenas de vedação, assim como ocorre com outros tipos de componentes de alvenaria, haja visto que do ponto de vista normativo para adobes, dá-se a entender que os parâmetros adotados seriam os mesmos uma vez que a NBR 16814 (ABNT 2020) aponta que estes não se aplicam apenas à “edificação com parede em alvenaria estrutural de adobe superior a dois pisos, assim como à execução de arcos, abóbadas e cúpulas”.

Entendendo esta imprecisão normativa para os adobes, dentro das condições analisadas, o percentual de 80% de incorporação do resíduo foi o que mais se destacou. E, mesmo não tendo apresentado resultados satisfatórios, do ponto de vista normativo, a reutilização deste resíduo em outros tipos de materiais de construção se mostra bastante promissora, uma vez que a sua caracterização e o seu comportamento se parecem com o de uma areia natural, o que contribuiria para a diminuição do acúmulo do resíduo bem como para a diminuição da extração de matéria-prima deste item tão amplamente utilizado na construção civil.

6.1. Sugestões para a continuidade da investigação em estudos futuros

Avaliando a expectativa de performance dos adobes, cabe ressaltar que há possibilidades de melhoria com: (i) a correção da quantidade de aglomerante, (ii) adição de material impermeabilizante e também com (iii) a adição de fibras que, assim como todas as possibilidades de incorporação, podem ser de caráter natural ou industrializado, e atuariam na melhoria do desempenho mecânico destes.

Sugere-se, como proposta para trabalhos futuros, analisar o comportamento dessas três variáveis, bem como as correlações entre elas, uma vez que esta avaliação não foi o foco deste trabalho.

Destaca-se ainda como fator importante para a ampliação dos estudos, desenvolvimento de novos projetos e execução de obras em adobe, a publicação da NBR 16814 (ABNT, 2020). Apesar de tal publicação ter acontecido após a qualificação desta dissertação foi documento de extrema valia para o desenvolvimento da parte experimental e da análise dos resultados em virtude de desvelar parâmetros voltados para a realidade brasileira.

Mesmo sendo esse documento relevante é mister que não se deixe de lado a perspectiva de uma análise crítica ao texto normativo com a perspectiva de contribuir para a melhor assertividade. Mesmo que os trabalhos amparados nesta orientação brasileira ainda sejam insipientes, haja vista o seu pouco tempo de vigência, já é possível tecer questionamentos, tais quais: (i) Por que não é previsto método de ensaio de absorção de água, visto que esta é uma das propriedades que deterioram consideravelmente os componentes de adobe? (ii) É possível, de fato, produzir adobes apenas com as orientações de dimensões mínimas apontadas na norma, e atender ao parâmetro de resistência, sendo que a altura proposta diverge bastante do histórico construtivo nacional? (iii) Por que não constar a possibilidade de produção de unidades com base quadrada, conforme normativas internacionais?

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. **Relatório de segurança de barragens 2019**. Brasília. 2020. Disponível em <<https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019/rsb19-v0.pdf>> Acesso em 31 mar. 2021.

Agência Nacional de Mineração - ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas** / Agência Nacional de Mineração; coordenação técnica de Marina Dalla Costa. – Brasília: ANM, 2020. Disponível em https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada2_28_09.pdf Acesso em 23 mar. 2021.

Agência Nacional de Mineração - ANM. **Anuário Mineral Estadual - Distrito Federal e Goiás**. Brasília: ANM, 2019. Disponível em < https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/goias/amest_df___go___2014_a_2017> Acesso em 23 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Informe Mineral 1º/2018**. Brasília. 2018. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe_mineral_1_2018.pdf. Acesso em: 16 jun. 2019.

ALMEIDA, Mario Sérgio de Souza; LIMA, Dario Cardoso de; CARVALHO, Carlos Alexandre Braz de; MACHADO, Carlos Cardoso; BARBOSA; Paulo Sérgio de Almeida; SILVA, Claudio Henrique de Carvalho. Correção granulométrica de solos para aplicações em estradas florestais: estudo de caso com solos da cenibra. In: **Rev. Árvore**, Viçosa , v. 34, n. 6, p. 1085-1090, Dec. 2010 . Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000600014>. Acesso em: 02 Set. 2019.

AMARAL, Cláudio Silveira; MINTO, Fernando Cesar Negrini; LELIS, Natália. **A terra como arquitetura na construção de possibilidades: aspectos, experiências e desafios da arquitetura de terra no Brasil**. arq. urb, n. 32, p. 32-41, 2021.

AMARAL, Francisco Armond do. **Blocos de Adobe: Efeitos da Adição de Fibra do Epicarpo do Babaçu**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Maranhão – UFMA, São Luís - MA. 2017. Disponível em: <http://tedebc.ufma.br:8080/ispu/bitstream/tede/1916/2/FranciscoAmaral.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

AMARAL, Francisco Armond do. **Blocos de Adobe: Efeitos da Adição de Fibra do Epicarpo do Babaçu**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Maranhão – UFMA, São Luís - MA. 2017. Disponível em: <http://tedeabc.ufma.br:8080/jspui/bitstream/tede/1916/2/FranciscoAmaral.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

ARAUJO, E.R.; OLIVIERI, R.D.; FERNANDES, F.R.C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: CHAVES, F.R.; ALAMINO, R.C.J.; ARAUJO, E.R. (Eds.). **Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos**. Rio de Janeiro: CETEM/ MCTI, 2014.

ARAYA-LETELIER, G.; CONCHA-RIEDEL, J.; ANTICO, F.C.; VALDÉS, C.; CÁCERES, G. Influence of natural fiber dosage and length on adobe mixes damage-mechanical behavior. *In Construction and Building Materials*, v. 174, p. 645–655, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP: **Construção de paredes monolíticas com solo-cimento compactado - BT-110**. 3ª ed. São Paulo. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, RJ: 2016a.

_____**NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: 2013.

_____**NBR 16606: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, RJ: 2018.

_____**NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, RJ: 2016b.

_____**NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, RJ: 2016c.

_____**NBR 6467: Agregados – Determinação do inchamento do agregado miúdo – método de ensaio.** Rio de Janeiro, RJ: 2006.

_____**NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, RJ: 2016d.

_____**NBR 7181: Solo - Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, RJ: 2016e.

_____**NBR ISO 14001: Sistemas da gestão ambiental: Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR-10.004: Resíduos sólidos – Classificação.** Brasil. (2004).

AUGUSTIN, Byron; BAILEY, Michael. **Adobe Bricks.** Social Education, v. 65, n. 5, p. S4-S4, 2001. Disponível em < <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA78916702&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00377724&p=AONE&sw=w>> Acesso em 16 fev. 2021.

BARBOSA, Paôlla de Carvalho. **Aproveitamento de Resíduo Da Concentração De Minério de Ferro na Produção de Cerâmica Vermelha.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/496>. Acesso em: 16 jun. 2019.

BERMANN, Célio. Desafios sociais e ambientais da mineração no Brasil e a sustentabilidade *In* **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios.** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. <https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2016/07/doc-7006.pdf>

BERNARDI, D.; DEJONG, J. T.; MONTOYA, B. M.; MARTINEZ, B. C. Bio-bricks: Biologically cemented sandstone bricks. *In* **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 462–469, 2014.

BRASIL. Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. **Código de Mineração.** Brasília-DF, 1967. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-

lei/Del0227compilado.htm> Acesso em 24 mar. 2021.

BRASIL. LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010. **Política Nacional de Segurança de Barragens**. Brasília-DF, 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm> Acesso em 24 mar. 2021.

CALDAS, Lucas Rosse; DE SOUZA MARTINS, Adriana Paiva; TOLEDO FILHO, Romildo Dias. **Construção com terra no Brasil: avaliação ambiental da taipa de pilão**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 12, p. e021015-e021015, 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS DO BRASIL. Comissão de Desenvolvimento Econômico, Indústria, Comércio e Serviços. **Projeto de Lei Nº 3.940, de 2015**. Dispõe sobre a destinação final e a disposição final dos resíduos sólidos e resíduos da mineração. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1592747&filename=PRL+1+CDEICS+%3D%3E+PL+3940/2015. Acesso em: 15 jun. 2019. Texto Original.

CAMPOS, André Filipe Sousa. **Desenvolvimento de uma metodologia de fabrico de blocos de terra comprimida com incorporação de materiais de mudança de fase**. 2021. Tese de Doutorado.

CANUTO, Luiz Cláudio. **Debatedores divergem sobre uso de resíduos sólidos da mineração na construção civil**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/CONSUMIDOR/546793-DEBATEDORES-DIVERGEM-SOBRE-USO-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-DAMINERACAO-NA-CONSTRUCAO-CIVIL.html>. Acesso em: 15 jun. 2019.

CHRISTENSON, M. **Viewpoint: “From the unknown to the known” Transitions in the architectural vernacular**. In: BUILDINGS & LANDSCAPES. Journal of the Vernacular Architecture Forum. V. 18, n. 1, p. 1-13, Spring 2011. Article Published by University of Minnesota Press. 2011. Disponível em: https://www.academia.edu/715354/_From_the_Unknown_to_the_Known_Transitions_in_the_Architectural_Vernacular?auto=download. Acesso em: 30 maio 2019.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS. **Sustentabilidade na Construção**. 2007. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43->

BB0C-2BA2E88BEBAE. Acesso em: 10 jun. 2019

CORDEIRO, C. C. M.; BRANDÃO, D. Q.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8651212. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8651212>. Acesso em: 14 set. 2021.

DE OLIVEIRA, Mariano Laio. Ouro *In* **ECONOMIA MINERAL DO BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM**. Brasília-DF: DNPM, 2009. Disponível em <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/5-1-ouro>> Acesso em 24 mar. 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **INFORME MINERAL**. Brasília: Julho – Dezembro de 2015. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2_2015.pdf. Acesso em: 11 jun. 2016.

DIAS, Luma de Souza. **Resíduo de Mineração de Quartzito como Agregado para Produção de Argamassa Colante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7877>. Acesso em: 15 jun. 2019.

DIAZ GONÇALVES, Teresa; GOMES, Maria Idália. (2012). **CONSTRUÇÃO DE TERRA CRUA: POTENCIALIDADES E QUESTÕES EM ABERTO**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268352912_CONSTRUCAO_DE_TERRA_C_RUA_POTENCIALIDADES_E_QUESTOES_EM_ABERTO>. Acesso em: 24 mar. 2021.

FARIA, Obede Borges. **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. 2002. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2002.

FATHY, Hassan. **Construindo com o povo: arquitetura para os pobres**. 2ª ed. Rio de Janeiro. Forense Universitária, 1982.

FERNANDES, F.R.C.; ENRIQUÉZ, M.A.R.S.; ALAMINO, R.C.J. (Eds.). **Recursos minerais e sustentabilidade territorial: Grandes minas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, v. 1, 2011. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacoes/livros/item/download/106_ef3978248f22a064938b619f015510d4>. Acesso em 27 de agosto de 2015.

FIGUEIRA, A. F. T. **O carácter vernáculo na construção com terra no panorama contemporâneo**. 2016. 280 f. Tese (Doutorado) –Curso de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

FONTES, Wanna Carvalho. **Utilização do Resíduo de Barragem de Minério de Ferro como Agregado Reciclado para Argamassas de Revestimento e Assentamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2013. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5709>. Acesso em: 15 jun. 2019.

FRANCO, Luiza Carvalho. **Concretos e argamassas sustentáveis aplicados à habitação de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6237>. Acesso em: 15 jun. 2019.

GOMES, Maria Idália; SANTOS, Tânia; PEREIRA, Cristiana; FARIA, Paulina. Construção com base em terra: contributo para a ecoeficiência na construção. *In: SGA' 19-Conferência Internacional sobre Sustentabilidade na Gestão Ambiental: Inovação e desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa*. 2019. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/83184/1/CI_Gomes_et_al_Construcao_com_terra_SGA19_IST.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.

HABIB, Ahsan; BEGUM, Sra. Razia; SALAM, Md Abdus. Efeito do pó de pedra nas propriedades mecânicas do tijolo de adobe. **IJSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**, v. 2, n. 9, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go.html>> Acesso em 24 mar. 2021.

ILLAMPAS, Rogiros; IOANNOU, Ioannis; CHARMPIS, Dimos C. Adobe bricks under

compression: experimental investigation and derivation of stress–strain equation. In **Construction and Building Materials**, v. 53, p. 83-90, 2014.

IMB – Instituto Mauro Borges de estatísticas e Estudos Sócioeconômicos. **Goiás: visão geral – overview**. 2018. Disponível em <<https://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/goias-visao-geral/goias-visao-geral.pdf>> Acesso em 24 mar. 2021.

Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Atividade Mineradora Alavanca Economia**. Brasília: 2009. Disponível em: http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=98734 Acesso em: 10 dez. 2019.

Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM. **Gestão e Manejo de Resíduos da Mineração**. Brasília: 2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf> Acesso em: 15 jun. 2019.

Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília: 2015. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2019.

Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2020. 80p. Disponível em <<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>> Acesso em 23 mar. 2021.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Guia de Boas Práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Resíduos**. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2019. Disponível em <https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2019/12/arte_gestao_barragem_ibram_web.pdf> Acesso em 23 mar. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas: Relatório de Pesquisa**. Brasília: 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814_relatorio_atividade_mineracao.pdf . Acesso em: 01 abr. 2021.

JOFFROY, T.; GUILLAUD, H.; LE TIEC, J-M. Architectures contemporaines en terre crue: sur les traces de Hassan Fathy. In: **UNESCO INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON THE CONSERVATION OF WORLD HERITAGE EARTHEN ARCHITECTURE**. 2012. Proceedings[...].Paris: CRATerre, 2013. p. 218-225. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/document/126549>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo.

MARINHO, Ana Luiza Borges. **Aglomerante Ecológico para Argamassa – Reciclagem da Escória De Forno Panela**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7554>. Acesso em: 15 jun. 2019.

MATHIAS, Heider. **PERFIL DA MINERAÇÃO DE GRANDE PORTE NO BRASIL**. 2019. Disponível em < <https://www.inthemine.com.br/site/perfil-da-mineracao-de-grande-porte-no-brasil/#:~:text=Com%20base%20nos%20dados%20preliminares,minerais%20de%20micro%20porte2>> Acesso em 24 mar. 2021.

MILLOGO, Y.; HAJJAJI, M.; OUEDRAOGO, R. Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 12, p. 2386–2392, 2008.

MINKE, Gernot. **Manual de construção com terra: uma arquitetura sustentável**. 1 ed. 228 p. São Paulo: B4, 2015

MOL, Rosana Márcia de Resende. **Desenvolvimento de placas de gesso termo isolantes aditivadas com resíduos de quartzito e fibra de vidro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7811>. Acesso em: 15 jun. 2019.

MONTEIRO, Gabriela Pontes; ROCHA, Isabel Amalia Medero. ARQUITETURA DE TERRA – UMA TECNOLOGIA ATEMPORAL *In: Anais do 4º Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil: Cultura popular e conhecimento*

científico. Fortaleza – CE. 2012. Disponível em: <<http://redeterrabrasil.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

MOORE, C. M.; MIRANDA H. M.; HAMPTON, A. P.; RITCHIE, D. G. **Technical Report on the Chapada Mine, Goiás State, Brazil**. 2019. Disponível em <https://www.lundinmining.com/site/assets/files/7957/191010_-_chapada_ni_43-101_techncial_report.pdf> Acesso em 31 mar. 2021.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa; GONÇALVES; Gabrielle Cristina; CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso.. **Tijolo de Solo-Cimento: Análise das Características Físicas e Viabilidade Econômica de Técnicas Construtivas Sustentáveis**. Belo Horizonte: Editora UniBH, 2014, v. 7, n. 1, p. 13-26. Disponível em: <http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1038/0> . Acessado em: 28 de dez de 2016

NEVES, C. M. M. FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio V. Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – Práticas De Campo. **Rede Ibero-Americana PROTERRA**, 2010.

NEVES, Célia M. Martins; FARIA, Obede Borges. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011.

NIROUMAND, H.; ZAIN, M.F.M.; JAMIL, M. Various Types of Earth Buildings *In: Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813029704>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

NOBLE, A. G. **Traditional Buildings: A Global Survey of Structural Forms and Cultural Functions** (International Library of Human Geography), 2007.

NOCITI, Denyse Meirelles. **Aproveitamento de resíduos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/94442>. Acesso em: 15 jun. 2019.

NORMA TÉCNICA DE EDIFICACION – NTE E.080 ADOBE: **Reglamento Nacional de Construcciones**. Lima, Peru, 2000.

OBAFEMI, AP Olukoya; KURT, Sevinc. Impactos ambientais do adobe como material de construção: o caso de construção tradicional de Chipre do Norte. **Estudos de caso em materiais de construção**, v. 4, p. 32-41, 2016.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, Said. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *In* **Construction and building materials**, v. 29, p. 512-519, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>

PAIVA, C. T. **Proposta de metodologia para análise de passivos ambientais da atividade minerária**. Ministério de Minas e Energia (MME), 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/RelatConsultoriaApresentaoMME_PassivosAmbientais.pdf>. Acesso em 27 de agosto de 2015.

PINEDA-PIÑÓN, Jorge; VEGA-DURÁN, J. T.; MANZANO-RAMÍREZ, A. PÉREZ-ROBLES, J. F. BALMORI-RAMÍREZ, H. HERNÁNDEZ-LANDAVERDE, M. A.. Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building Industry by the addition of polymeric agents. **Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution**, v. 42, n. 2, p. 877–883, 2007.

PINHEIRO, R. **Estudo da resistência do tijolo de adobe com adição de fibras naturais de coco verde para habitações de baixo custo**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. Não paginado. Disponível em: http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2009/Estudo%20da%20Resistencia%20do%20Tijolo%20de%20Adobe%20com%20Adicao%20de%20Fibras%20Naturais%20de%20Coco%20Verde%20para%20Habitacoes%20de%20Baixo%20Custo.pdf. Acesso em: 04 jul. 2017.

PISANI, Maria Augusta Justi. Taipas. In: COLLET, Gilda B. et al. **Relatório de Pesquisa: Promoção do Desenvolvimento Sustentável: Comunidades do Semi-Árido**. *In* MACKPESQUISA. São Paulo, 2003.

PORTELLA, Amanda de Jesus Fernandes; SILVA, Bruna Delicolli; TOSELHO, Maria Eunice Carvalho, SIMÕES, Rebeca Delatore. **ARQUITETURA DE TERRA-PROCESSO HISTÓRICO**. 2015.

PROAÑO, Mario Morán; RODRÍGUEZ, Odalys Álvarez. Comportamiento sísmico de los muros de adobe en edificaciones patrimoniales. *In Revista Cubana de Ingeniería*, v. 8, n. 2, p. 18-28, 2017.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Edição. Editora Feevale, 2013.

RIBEIRO DO VALE, Jaqueline Leite; PENIDO DE REZENDE, Marco Antônio. **Arquitetura Vernácula: uma análise do uso do adobe no distrito do Vitoriano Veeloso (Bichinho), Minas Gerais, Brasil**. *En: Arquitectura en tierra. Tecnología sostenible y reutilización patrimonial*. [online]. Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, 2018. Pp. 179-186. Disponível em: <https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2018mexico/15XIVCIATTI2017.pdf>. Acesso em: 30 maio 2019.

RODRIGUES, Antônio Fernando da Silva; FONSECA, David Siqueira. Cobre *In ECONOMIA MINERAL DO BRASIL*. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Brasília-DF: DNPM, 2009. Disponível em < <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-3-cobre>> Acesso em 24 mar. 2021.

ROXANA, Florescu Elena; MARIA, Bica Smaranda. **THERMAL PROPERTIES OF AN ADOBE BRICK WALL: ADAPTING TRADITIONAL TECHNIQUES TO CONTEMPORARY LIVING STANDARDS**. Proceedings of SOCIOINT 2019- 6th International Conference on Education, Social Sciences and Humanities. Istanbul, Turkey, June 2019

SAMEH, Sherin H. Promoting earth architecture as a sustainable construction technique *In Egypt Journal of cleaner production*, v. 65, p. 362-373, 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.046>

SANTOS, Diego Haltiery. **Substituição total do agregado natural por quartzito friável para produção de argamassas de assentamento e revestimento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto. 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6522>. Acesso em: 15 jun. 2019.

SERRANO, S.; BARRENECHE, C.; CABEZA, L. F. Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterisation. **Construction and Building Materials**, v. 108, p. 105–111, 2016.

SILVA, Ana Paula Moreira da; VIANA, João Paulo; CAVALCANTE, André Luis Brasil. **Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração**. Caderno de Diagnóstico (Versão Preliminar). Plano Nacional de Mineração 2030. Brasília, 2011. Disponível em: http://sinir.gov.br/images/cadernos_de_diagnostico/11_CADDIAG_Res_Sol_Mineracao.pdf. Acesso em: 15 jun 2019.

SILVA, Érico de Oliveira. **ARQUITETURA POPULAR DE TERRA CRUA: suportes e argamassas de revestimento para edificações em comunidades quilombolas**. 2015. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2015.

SILVA, M. **Blocos de terra compactada com e sem materiais cimentícios**. Instituto Técnico de Lisboa. Technical Note, n. 12, 2015. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090414529/Blocos%20de%20Terra%20Compactada%20com%20e%20sem%20materiais%20cimenticios%20-%20Miguel%20FCG%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.

SILVA, Pedro Paulo Damacena. **Desenvolvimento e mineração: estudo de caso do município minerador de Alto Horizonte sob a perspectiva dos direitos humanos**. 2019. Disponível em <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/9992/5/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o%20-%20Pedro%20Paulo%20Damacena%20e%20Silva%20-%202019.pdf> Acesso em 26 mar. 2021.

Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB. **Mapa Interativo**. 2017. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=69642a7709c849c7a2e7062272c4d7b8>. Acesso em: 16 jun. 2019.

SOARES, R. N.; SILVA, A. C.; PINHEIRO, J. C. **Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde: alternativa para habitação de interesse social**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco, Pôster, Fortaleza: [s.n.], 2008, p. 4-5. Disponível em: www.sober.org.br/palestra/9/741.pdf. Acesso em: 04 jul. 2017.

TIBIRIÇÁ, Luciana Gonçalves et al. **Aspectos econômicos e sociais da mineração em Goiás, com ênfase na extração de areia**. 2017. Disponível em <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/7584/5/Tese%20-%20Luciana%20Gon%c3%a7alves%20Tibiri%c3%a7%c3%a1%20-%202017.pdf>> Acesso em 25 mar. 2021.

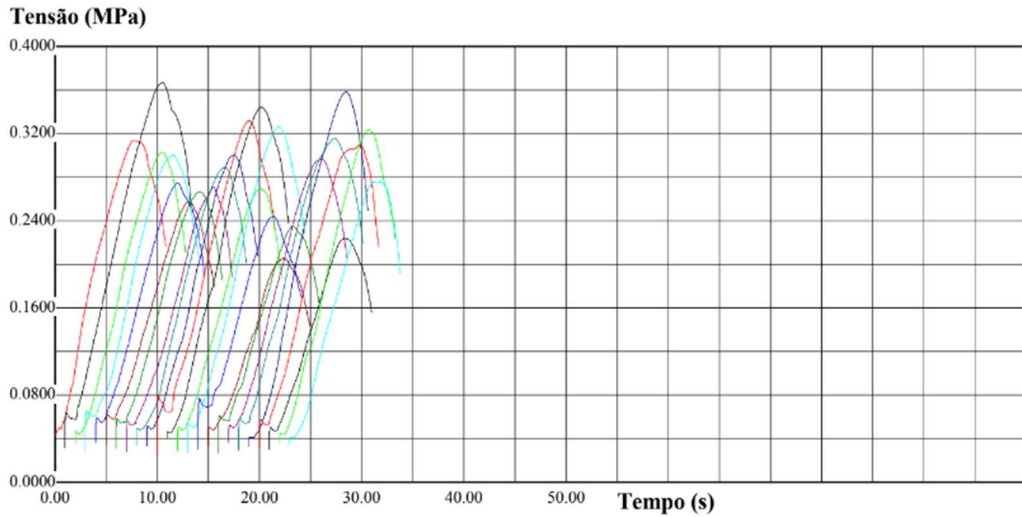
TOLLES, L. E.; KIMBRO, E. E.; GINELL, W. S. **Guías de planteamiento e ingeniería para la estabilización sismo-resistente de estructuras históricas de adobe**. Los Ángeles, USA Getty Seismic Adobe Proyect (GSAP); 2002. Disponível em: <https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/seismic_retrofitting_esp.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.

TORGAL, Fernando Pacheco; EIRES, R.; JALALI, Said. **Construção em terra**. Universidade do Minho. TecMinho, 2009.

VENDRAMI, Júlia May. **Análise de resistência à compressão de adobe a partir da caracterização do solo**. 2018.

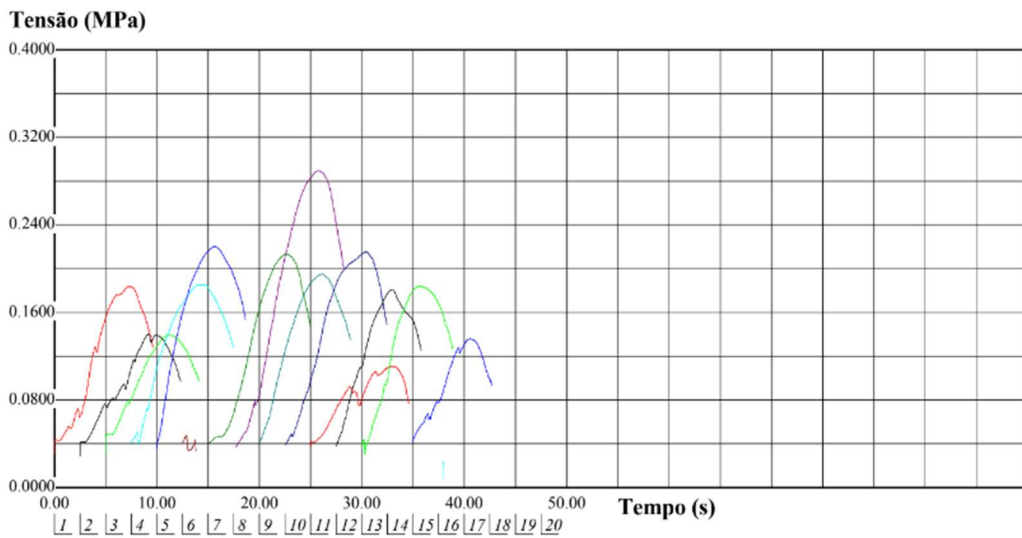
Apêndice A

Figura 44 - Gráfico tensão x deformação mistura 0_100



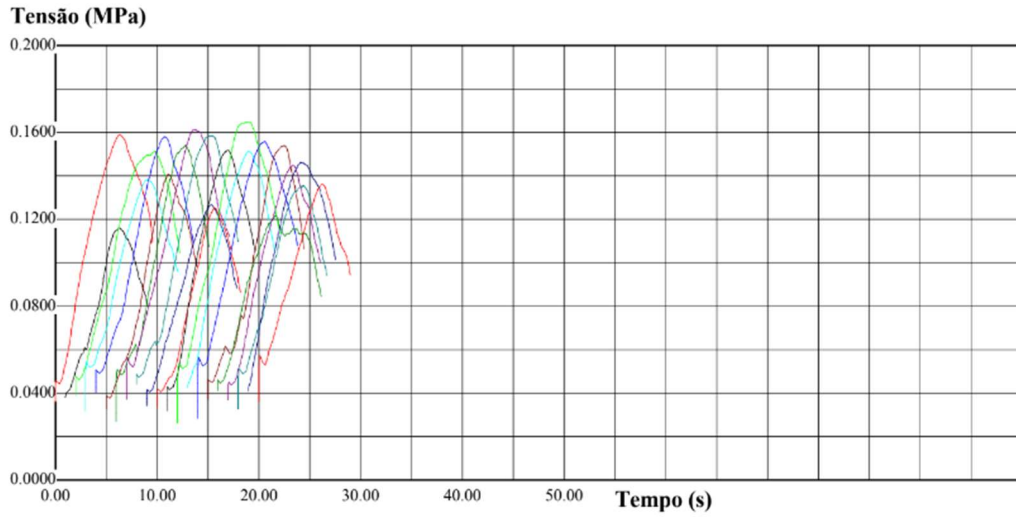
Fonte: A autora.

Figura 45 - Gráfico tensão x deformação mistura 20_80



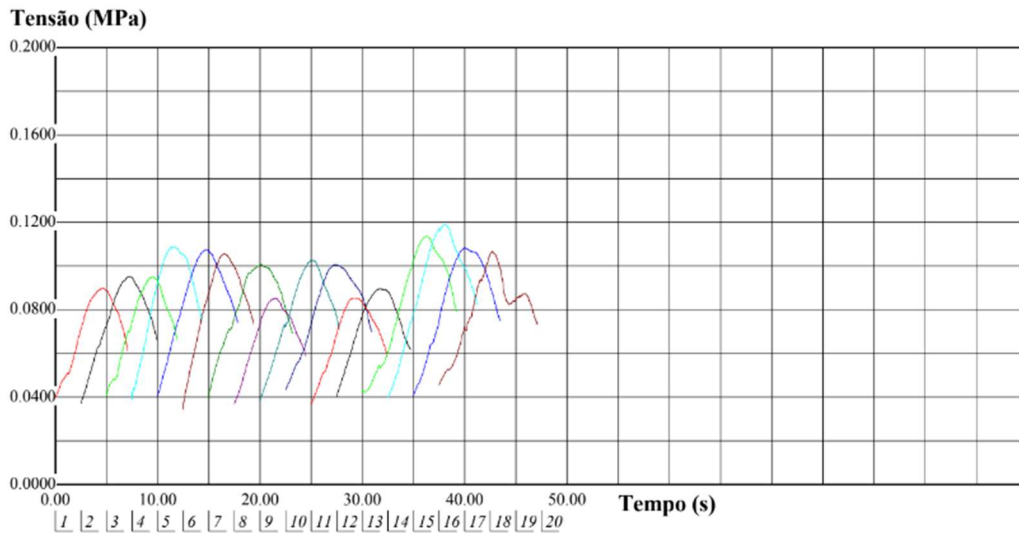
Fonte: A autora.

Figura 46 - Gráfico tensão x deformação mistura 40_60

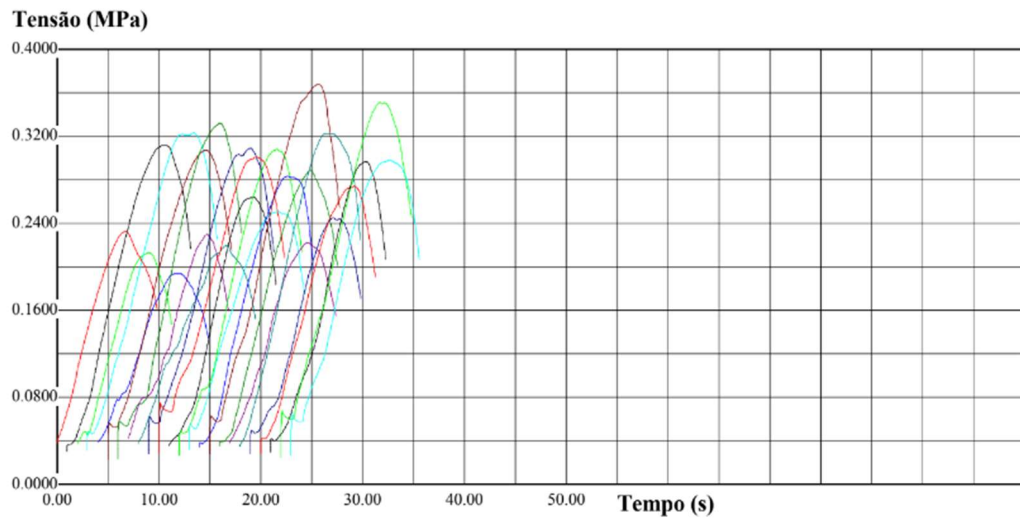


Fonte: A autora.

Figura 47 - Gráfico tensão x deformação mistura 60_40



Fonte: A autora.

Figura 48 - Gráfico tensão x deformação mistura 80_20

Fonte: A autora.