



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil

Curso de Graduação em Engenharia Civil



AMANDA PIOL GRASSI

**VIABILIDADE DO USO DA ÁGUA DE CHUVA NO
AMASSAMENTO DE ARGAMASSA: UMA ANÁLISE DAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS.**

Ouro Preto

2025

Amanda Piol Grassi

Viabilidade do uso da água de chuva no amassamento de argamassa: Uma análise das propriedades mecânicas

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Materiais de Construção

Orientadora: Prof. D.Sc. Ana Letícia Pilz de Castro – UFOP

Co-orientador: M.Sc. Gustavo Dias Ramos – UFOP

Ouro Preto

2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G769v Grassi, Amanda Piol.

Viabilidade do uso da água de chuva no amassamento de argamassa [manuscrito]: uma análise das propriedades mecânicas. / Amanda Piol Grassi. - 2025.

33 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Letícia Pilz de Castro.

Coorientador: Me. Gustavo Dias Ramos.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Águas pluviais. 2. Argamassa. 3. Sustentabilidade. 4. Construção Civil. 5. Normas técnicas (Engenharia) - NBR 15900. I. Castro, Ana Letícia Pilz de. II. Ramos, Gustavo Dias. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Amanda Piol Grassi

Viabilidade do uso da água de chuva no amassamento de argamassa: Uma análise das propriedades mecânicas

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil

Aprovada em 17 de março de 2025.

Membros da banca

Dra. - Ana Letícia Pilz de Castro - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Msc. - Gustavo Dias Ramos - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dra. - Bruna Silva Almada - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng. - Marlon Borges da Cruz - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Ana Letícia Pilz de Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/03/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/04/2025, às 15:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0886215** e o código CRC **575E8A3C**.

Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu irmão, à minha avó e ao Vinicius, por todo o apoio e amor incondicional que me deram ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força e sabedoria para superar cada obstáculo ao longo desta caminhada.

À minha mãe, por ser meu maior apoio e inspiração, proporcionando-me força e carinho nos momentos mais difíceis.

Ao meu pai, em memória, por tudo o que me ensinou e por estar sempre presente em meu coração.

Ao meu irmão Arthur e à minha avó Vera, pelo amor incondicional, que foi fundamental para minha perseverança.

Ao Vinicius, por sua paciência, compreensão, força e carinho ao longo deste caminho.

Aos meus orientadores, Ana Letícia e Gustavo, por todo o conhecimento, dedicação e orientação indispensáveis para a realização deste trabalho.

Agradeço também aos professores, colegas e amigos que estiveram ao meu lado, compartilhando experiências e conhecimentos que foram essenciais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Por fim, sou grata à Universidade Federal de Ouro Preto, à Fundação Gorceix, ao LCM2 – Laboratório de Materiais de Construção Civil e ao grupo de pesquisa Ative, pelo suporte técnico e acadêmico durante a execução deste projeto.

RESUMO

A crescente escassez de água tem incentivado a busca por alternativas sustentáveis, especialmente na construção civil, setor que consome grandes volumes desse recurso. Neste contexto, este estudo avalia a viabilidade do uso da água da chuva no amassamento de argamassa, considerando os critérios estabelecidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009). Foram coletadas amostras pluviais em Ouro Preto – MG e Linhares – ES, com o objetivo de verificar possíveis influências da localização geográfica na qualidade da argamassa produzida. Foram realizados ensaios laboratoriais de resistência à compressão e à tração em corpos de prova moldados com as águas coletadas, comparando-os com aqueles produzidos com água destilada. Os resultados demonstraram que as argamassas com água da chuva atingiram pelo menos 90% da resistência mecânica dos corpos de prova de referência, atendendo às exigências normativas. A análise química preliminar indicou que todas as amostras estavam dentro dos limites estabelecidos pela norma, sem impurezas que comprometessem a qualidade da mistura. Além disso, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras provenientes das diferentes localidades, sugerindo que a origem da água não influenciou de forma relevante nos resultados. Dessa forma, o estudo comprova a viabilidade técnica do uso da água da chuva no amassamento de argamassa, proporcionando uma alternativa sustentável e econômica para a construção civil. Sua aplicação pode contribuir para a redução do consumo de água potável, promovendo práticas ambientalmente responsáveis.

Palavras-chaves: Água da chuva, Argamassa, Sustentabilidade, NBR 15900, Construção Civil.

ABSTRACT

The increasing scarcity of water has encouraged the search for sustainable alternatives, especially in the construction industry, a sector that consumes large volumes of this resource. In this context, this study evaluates the feasibility of using rainwater in mixing mortar, considering the criteria established by NBR 15900 (ABNT, 2009). Rainwater samples were collected in Ouro Preto, Minas Gerais, and Linhares, Espírito Santo, with the aim of verifying possible influences of geographic location on the quality of the mortar produced. Laboratory tests of compressive and tensile strength were performed on specimens moulded with the collected water, comparing them with those produced with distilled water. The results showed that the mortars with rainwater reached at least 90% of the mechanical strength of the reference specimens, meeting the normative requirements. The preliminary chemical analysis indicated that all samples were within the limits established by the standard, with no impurities that would compromise the quality of the mixture. Furthermore, no significant differences were observed between samples from different locations, suggesting that the origin of the water did not significantly influence the results. Thus, the study proves the technical feasibility of using rainwater in mixing mortar, providing a sustainable and economical alternative for civil construction. Its application can contribute to reducing the consumption of drinking water, promoting environmentally responsible practices.

Keywords: Rainwater, Mortar, Sustainability, NBR 15900, Civil Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de Ouro Preto no estado de Minas Gerais.....	9
Figura 2 - Localização UFOP em Ouro Preto – MG.....	9
Figura 3- Localização de Linhares no estado do Espírito Santo.	10
Figura 4 - Localização residência em Linhares – ES.	11
Figura 5 - Recipiente de coleta em Linhares – ES.....	12
Figura 6 - Recipiente de coleta em Ouro Preto – MG	12
Figura 7 - Recipientes hermeticamente fechados com águas coletadas.	13
Figura 8 - Cimento utilizado no preparo da argamassa.	14
Figura 9 - Areia utilizada no preparo da argamassa.	15
Figura 10 - Aditivo plastificante utilizado no preparo da argamassa.	16
Figura 11 - Molde de corpo de prova.	20
Figura 12 - Ensaio de adensamento na Flow Table.....	20
Figura 13 - Corpos de prova desmoldados e identificados	21
Figura 14 - Ensaio a compressão.	22
Figura 15 - Ensaio a tração.....	23
Figura 16 - Resistência à compressão com 7 dias de cura	27
Figura 17 - Resistência à compressão com 28 dias de cura	27
Figura 18 - Resistência à tração com 7 dias de cura	28
Figura 19 - Resistência à tração com 28 dias de cura	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos e procedimentos de ensaio para inspeção preliminar de água destinada.....	17
Tabela 2 - Parâmetros e métodos de avaliação das amostras	17
Tabela 3 - Valores das massas dos componentes da argamassa.....	20
Tabela 4 - Resultado análise preliminar amostra de água de Ouro Preto-MG ...	24
Tabela 5 - Resultado análise preliminar amostra de água de Linhares-ES	24

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;

Deterg. – Detergente;

OG – Óleos e Gorduras;

ONU - Organização das Nações Unidas;

pH – Potencial hidrogeniônico;

ST – Sólidos Totais;

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivo	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	Revisão Bibliográfica	4
3.1	Água e Sustentabilidade	4
3.2	Aproveitamento da Água da Chuva	5
3.3	A construção civil e seu consumo de água	6
3.4	Água de amassamento	7
4	Materiais e Métodos	8
4.1	Materiais	8
4.1.1	Água: Coleta e Amostragem	8
4.1.2	Cimento Portland	13
4.1.3	Areia	14
4.1.4	Aditivo	15
4.2	Métodos	16
4.2.1	Avaliação Preliminar das amostras	16
4.2.2	Moldagem para testes a compressão e tração	18
4.2.3	Ensaio Mecânicos	22
4.3	Análise de dados	23
5	Resultados	24
5.1	Avaliação preliminar	24

5.2	Resistência à compressão	26
5.3	Resistência à tração	28
6	Conclusão	30
7	Referências	31

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel primordial na vida humana, sendo um recurso com uma ampla gama de aplicações em nosso consumo diário. Atualmente, a água potável é considerada um recurso finito, de difícil obtenção no futuro, devido ao desperdício e mal uso. Nesse contexto, mesmo não sendo a ação mais essencial para o desenvolvimento sustentável, uma alternativa viável que vem chamando atenção para reduzir a demanda dos sistemas convencionais de abastecimento de água é a utilização da água da chuva (JUNIOR, 2020). Além disso, sua aplicação em diferentes setores, incluindo a construção civil, é objeto de estudo para avaliar sua eficácia e viabilidade.

Apesar de cerca de 75% da superfície terrestre ser coberta por água, apenas uma fração mínima, aproximadamente 0,45%, está disponível para consumo humano (REBOUÇAS, 2004). Diante desse cenário, em que a água desempenha um papel indispensável no cotidiano, equilibrar a demanda dos usuários com a disponibilidade hídrica torna-se um desafio de extrema relevância na gestão dos recursos hídricos.

O conceito de reutilização e uso de águas não é recente, sendo adotado globalmente por muitos anos. Há registros da sua prática já na Grécia Antiga, onde os esgotos eram direcionados para irrigação (CUNHA, 2011). A prática de captação e armazenamento de água da chuva ganha destaque como um método cada vez mais utilizado para garantir o acesso à água potável. Isso contribuí significativamente para reduzir o número de pessoas sem acesso adequado à água para consumo e uso humano. De acordo com Rebouças (2004), países como Austrália, Japão e Alemanha já adotaram amplamente a captação de água da chuva, pois é um procedimento simples que proporciona água de qualidade para fins não potáveis.

A integração da sustentabilidade na construção civil está recebendo uma atenção crescente e destacada, refletindo-se no aumento da sua adoção e na conscientização das pessoas sobre elas (BARBOSA, 2021). Apesar de ser considerado um tema importante no cenário atual e existir uma gama de pesquisas e estudos para o aproveitamento da água em edificações residenciais, ainda há uma

carência significativa de pesquisas sobre a utilização específica para a construção civil. Isso é particularmente relevante ao considerar o grande volume de água utilizado em todo o processo construtivo, especialmente no preparo de concreto e argamassas.

Quando se fala do uso de águas subterrâneas, provenientes da coleta de chuva ou de reuso para amassamento de concreto ou argamassa é necessário que elas estejam nos padrões definidos pela norma NBR 15900 (ABNT, 2009). Os quais devem atender os padrões físico-químicos estabelecidos.

A captação de água pluvial apresenta-se como uma alternativa sustentável e economicamente viável, desde que atenda aos padrões normativos estabelecidos. Neste contexto, o presente estudo investiga a viabilidade de sua aplicação na preparação de argamassa, verificando, ainda, a influência da diferença de localização geográfica dos pontos de coleta na conformidade com os requisitos técnicos exigidos

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade do uso da água da chuva de amostras coletada nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais para o amassamento de argamassa e analisar se há influência devido a diferença de localização entre os locais de coleta no resultado.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da origem da água (de chuva ou destilada) no comportamento mecânico de argamassas;
- Avaliar a influência da localização geográfica da água de chuva coletada na resistência mecânica de argamassas;
- Comparar os resultados obtidos com os valores de referência da norma NBR 15900 (ABNT, 2009).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água e Sustentabilidade

A água desempenha um papel vital para a vida, essencial à sobrevivência de todos os seres vivos, incluindo os seres humanos, direta ou indiretamente. (TUNDISI e TUNDISI, 2011). Além de ser fundamental para a manutenção da vida, a água possui uma importância global. Seu elevado valor econômico reflete diretamente nas condições socioeconômicas, levando em consideração a empregabilidade dela no desenvolvimento das atividades industriais e agropecuárias (COSTA, 2010).

A percepção de que a água doce é abundante não corresponde à realidade. Apenas 3% da água do Planeta é doce, sendo que, desse total, cerca de 75% estão congelados em calotas polares e 10% reservados em aquíferos. Dessa forma, dos 3% de água doce disponíveis, apenas 15% do que possuímos de água doce é o suprimento global, ou 0,45% de toda a água do Planeta Terra. Segundo Tundisi *et. al* (2011), esse valor tende-se a reduzir cada vez mais com o aumento da população, consumo irresponsável, poluição, e do uso da água para diversos propósitos, associados a perda de fatores que ajudam na retenção natural da água, como desmatamento, remoção de áreas alagadas e sedimentação em rios, lagos e represas.

O Brasil é considerado privilegiado em relação ao cenário mundial quando se trata da disposição hídrica de superfície, sendo responsável por 12% do volume total das reservas mundiais de água doce. No entanto, existe um grande desequilíbrio na relação entre oferta e demanda dentro do território brasileiro. A região Norte concentra a maior porcentagem de reservas hídricas, representando 68,5% da capacidade total. Sendo que, é a segunda menor região em termos de população, abrigando apenas 7,92% da população brasileira. Em contrapartida, temos a região Sudeste abrigando a maior população, cerca de 42,61%, mas com a segunda menor disponibilidade hídrica, 6%, ficando abaixo só do Nordeste, 3,3% (TOMAZ, 2010).

Por milênios, a água foi vista como um recurso inesgotável (COSTA, 2010). Segundo Costa (2010), a aparente generosidade da natureza levava à crença em fontes abundantes e renováveis. Porém, o uso imprudente, combinado com uma demanda crescente, é motivo de preocupação para especialistas e autoridades,

devido à clara diminuição das reservas de água limpa em todo o mundo. Tendo em vista a situação preocupante de possuir água doce para consumo futuramente, alguns países de grande influência econômica como, Estados Unidos, Alemanha e Japão estão oferecendo financiamentos para ajudar na construção de meios de captação de água da chuva para fins não potáveis (TOMAZ, 2010).

3.2 Aproveitamento da Água da Chuva

O reuso de água não deve ser apenas visto como uma tecnologia, mas sim como uma filosofia para a vida, sendo reconhecido como uma prática sustentável com seu impacto positivo se estendendo além do aspecto econômico, alcançando também benefícios ambientais (TELLES, 2013). A água da chuva pode ser reutilizada para diversas finalidades no dia a dia em que não é necessário a utilização de água potável, como irrigação de jardins, descargas de vasos sanitários, limpeza de superfícies, lavagem de roupas, ou até mesmo no meio industrial em sistemas de resfriamentos (TOMAZ, 2010).

Segundo May (2004), para viabilizar a reutilização da água da chuva, é crucial realizar um dimensionamento adequado do sistema de captação e armazenamento, levando em consideração a média de precipitação da região e a área de superfície disponível para coleta. Além de enfatizar a importância da captação, estudos indicam a necessidade de descartar os primeiros minutos da água coletada, uma vez que podem conter partículas de poeira e resíduos orgânicos provenientes do telhado, os quais podem contaminar a água com compostos químicos e agentes patogênicos (MAY, 2004).

Ao discutir a reutilização da água, é fundamental evitar a conexão direta entre o sistema de distribuição de água potável da rede pública e o sistema de captação de água da chuva. Tal prática, denominada conexão cruzada, representa um alto risco de contaminação para toda a rede pública de abastecimento de água (TOMAZ, 2010). No Brasil, atualmente, está em vigor a norma NBR 15.527 (ABNT, 2019), que aborda todo o processo de aproveitamento de água de chuva de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis. Essa norma detalha todos os pontos essenciais a serem considerados na coleta, armazenamento e utilização dessa água.

3.3 A construção civil e seu consumo de água

O setor da construção civil está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento, sendo responsável pela criação de produtos únicos. No entanto, junto com essas grandes realizações, são gerados volumes significativos de resíduos decorrentes dos processos de construção e demolição, além do consumo considerável de recursos renováveis e não renováveis. Assim, o setor emerge como um consumidor proeminente de recursos hídricos (ARAÚJO, 2002).

A indústria do concreto, considerada a principal consumidora de água dentro da construção civil, por exemplo, demanda globalmente aproximadamente 3,8 trilhões de litros anualmente. Isso sem levar em consideração o grande volume utilizado na limpeza de caminhões betoneiras, bombas de concreto, equipamentos, agregados e nos processos de cura (MEYER, 2004).

Infelizmente, há uma escassez de estudos que analisem o consumo de água especificamente durante a construção de edifícios. Apesar de o custo associado ao consumo de água em uma construção represente apenas 0,7% do investimento total na obra, é importante ressaltar que se trata de um recurso cujo valor transcende o aspecto financeiro (PESSARELLO, 2008). De acordo com Pessarello (2008), o Brasil, além de possuir a maior disponibilidade de água entre os países, também se destaca como o maior consumidor per capita, utilizando até duas vezes mais a quantidade recomendada pela ONU (Organização das Nações Unidas), o que reforça a necessidade de estudos voltados para a otimização do uso desse recurso em todos os âmbitos.

Considerando a relevância do volume de água consumido na construção civil e a necessidade de implementar medidas sustentáveis e economicamente viáveis, o conceito de substituição de fontes surge como uma alternativa promissora no setor. Nesse contexto, o reuso de água pode ser viabilizado, inclusive em atividades relacionadas à produção e cura do concreto, bem como na compactação de solos (HESPANHOL, 2003).

3.4 Água de amassamento

A água desempenha um papel fundamental no preparar de matrizes cimentícias como argamassa e concreto, pois é a responsável pela reação de hidratação do cimento, além de ser essencial no processo de cura. Ela pode representar até 20% do volume total do material. Embora seu controle quantitativo, por meio da relação água/cimento na dosagem dos concretos, seja rigorosamente aplicado, o aspecto qualitativo é frequentemente negligenciado. Essa falta de controle adequado pode comprometer a durabilidade do concreto, contribuindo para o surgimento de manifestações patológicas na estrutura. (BATTAGIN; BATTAGIN, 2010)

Segundo Battagin e Battagin (2010), a qualidade da água de amassamento possui grande influência na durabilidade e nas propriedades do concreto. A presença de impurezas na água pode impactar negativamente o material, resultando em manchas e eflorescências na superfície, alteração no tempo de pega, redução da resistência mecânica e, em casos mais severos, corrosão da armadura. Dessa forma, o controle da qualidade da água utilizada no preparo do concreto é essencial para garantir sua durabilidade e desempenho adequado.

A qualidade da água utilizada no amassamento do concreto é regulamentada pela norma NBR 15900 (ABNT, 2009). De acordo com essa norma, a água destinada ao preparo do concreto deve passar por uma avaliação preliminar, conforme estabelecido na parte 3 do documento. Caso a água não atenda aos requisitos pré-estabelecidos, seu uso só será permitido se for comprovada sua adequação por meio de ensaios, de tempo de pega e resistência à compressão, e valores mínimos de cloreto, sulfato e álcalis presentes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa será fundamentada na NBR 15900 (ABNT, 2009) e outras normativas pertinentes como base inicial. Todavia, devido ao avanço das tecnologias e dos métodos de avaliação, alguns procedimentos, como a determinação do tempo de pega da pasta, foram modificados ou descartados ao longo do processo.

A norma estabelece que podem ser realizados dois tipos de testes, físicos e químicos, de forma independente para validar a qualidade da água. Os ensaios adotados neste trabalho são os físicos, que incluem ensaios de adensamento, testes de resistência à tração e compressão.

Durante o processo de pesquisa, foram coletadas amostras de água de chuva nas cidades previamente definidas e realizadas também análises preliminares das amostras de água. Abaixo, descreve-se detalhadamente cada etapa do processo.

4.1 Materiais

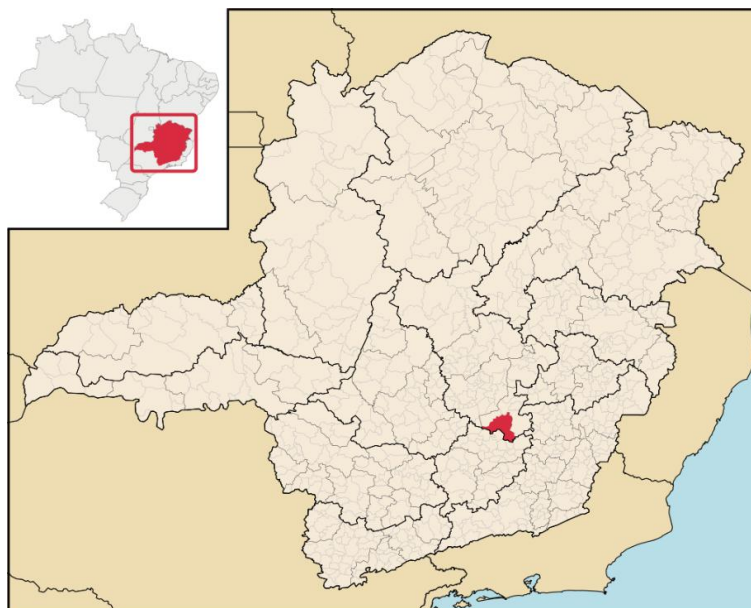
4.1.1 Água: Coleta e Amostragem

Duas amostras foram coletadas para a comparação proposta, ambas da água da chuva. A avaliação dos parâmetros normativos será realizada com água destilada, estabelecida como padrão de referência pela NBR 15900 (ABNT, 2009).

A primeira amostra foi coletada na cidade de Ouro Preto, em Minas Gerais (Figura 1), especificamente na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), campus Morro do Cruzeiro (Figura 2). Segundo o site oficial da Prefeitura de Ouro Preto, a cidade possui como dados importantes:

- Latitude: 20° 23' 28" S;
- Longitude: 43° 30' 20" W;
- Atitude sede: 1.150 metros;
- Área: 1.245,865 km²;
- Clima: Tropical de Altitude;
- Pluviosidade: 2.018 mm/ano.

Figura 1 - Localização de Ouro Preto no estado de Minas Gerais.



Fonte: Raphael Lorenzeto, 2006.

Figura 2 - Localização UFOP em Ouro Preto – MG.



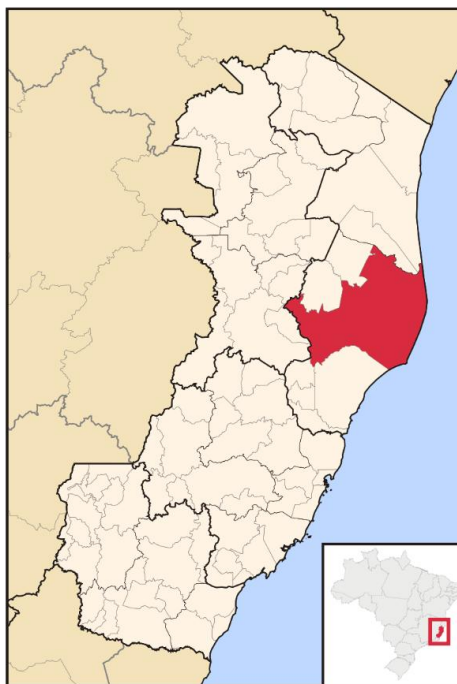
Fonte: Google Maps, 2024. Acesso em: 20 Março 2024.

O local de coleta da segunda amostra foi o município de Linhares, no Espírito Santo (Figura 3), mais precisamente em uma residência particular situada no Bairro Novo Horizonte da cidade (Figura 4). Algumas informações gerais sobre a cidade

fornechas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper):

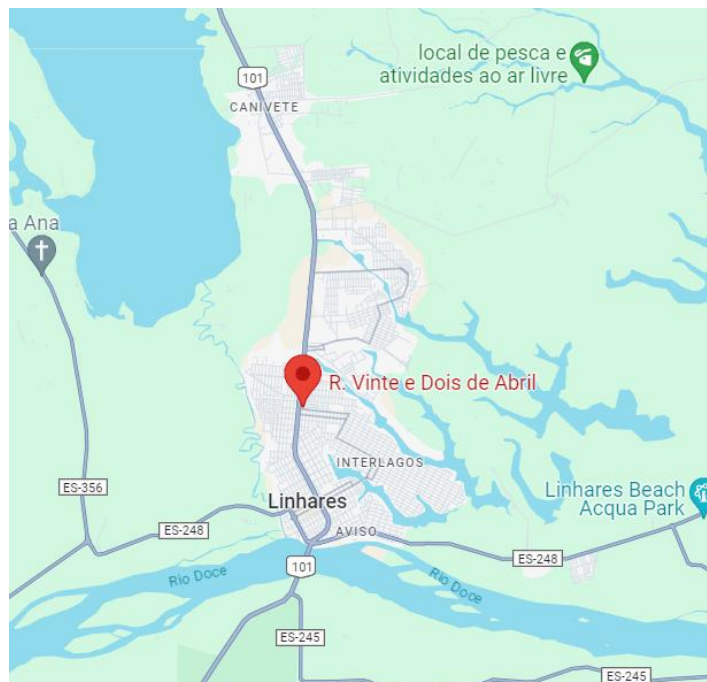
- Latitude: 19° 23' 28.00" S;
- Longitude: 40° 4' 19.99" W;
- Atitude sede: 28 metros;
- Área: 3450 km²;
- Clima: Tropical Atlântico;
- Pluviosidade: 1.278,9 mm/ano.

Figura 3- Localização de Linhares no estado do Espírito Santo.



Fonte: Raphael Lorenzeto, 2006.

Figura 4 - Localização residência em Linhares – ES.



Fonte: Google Maps, 2024. Acesso em: 20 março 2024.

A coleta nas duas cidades ocorreu em área aberta, evitando contato com superfícies que pudessem contaminar a amostra, utilizando recipientes perfeitamente limpos e enxaguados com as águas coletadas, (Figura 5) e (Figura 6). Em seguida, as amostras foram transferidas para recipientes higienizados, sem histórico de uso e previamente lavados com a própria amostra e hermeticamente fechados (Figura 7), conforme descrito na NBR 15900 – Parte 2 (ABNT, 2009).

Figura 5 - Recipiente de coleta em Linhares – ES



Fonte: Autora, 2024.

Figura 6 - Recipiente de coleta em Ouro Preto – MG



Fonte: Autora, 2024.

Figura 7 - Recipientes hermeticamente fechados com águas coletadas.



Fonte: Autora, 2024.

4.1.2 Cimento Portland

O material cimentício empregado na pesquisa foi o cimento CP V-ARI-RS, da marca Nacional, que possui como característica seu baixo teor de materiais adicionados, com um limite máximo de 10% de material carbonático, conforme estabelecido pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Esse tipo de cimento é reconhecido por sua capacidade de desenvolver elevada resistência mecânica em um curto intervalo de tempo após o início das reações de hidratação. Para preservar suas propriedades e evitar a absorção de umidade, o material foi fracionado em sacos menores (Figura 8) e armazenado dentro de uma caixa plástica, garantindo condições adequadas de conservação, evitando contato com a umidade.

Figura 8 - Cimento utilizado no preparo da argamassa.



Fonte: Autora, 2024.

4.1.3 Areia

A areia utilizada na pesquisa (Figura 9) é proveniente do município de Ouro Preto e resulta do processo natural de desagregação de rochas. Por não participar das reações químicas com os demais compostos da mistura, sendo considerado um material inerte, sua principal função é minimizar a perda de umidade, no contexto da matriz cimentícia.

Antes da sua aplicação, a areia foi previamente lavada e classificada em quatro frações granulométricas, correspondentes aos intervalos entre as peneiras de 2,4 mm e 1,2 mm; 1,2 mm e 0,6 mm; 0,6 mm e 0,3 mm; e 0,3 mm e 0,15 mm. Posteriormente, essas frações foram recombinadas em proporções predefinidas pela NBR 7215 (ABNT, 2019) para a composição da areia normal, garantindo um material com distribuição granulométrica adequada ao estudo.

Figura 9 - Areia utilizada no preparo da argamassa.



Fonte: Autora, 2024.

4.1.4 Aditivo

O superplastificante empregado na pesquisa como aditivo foi o MC-PowerFlow 3100 (Figura 10), com a finalidade de oferecer uma melhor trabalhabilidade da argamassa. A determinação da porcentagem ideal do aditivo foi realizada por meio da análise do espalhamento da mistura. De acordo com as recomendações do fabricante, sua dosagem pode variar entre 0,2% e 5%.

Esse aditivo desempenha um papel fundamental na redução da relação água/cimento, permitindo que a matriz cimentícia mantenha sua trabalhabilidade mesmo com um menor volume de água. Como resultado, o aditivo plastificante melhora o manuseio da mistura, assegurando a permanência das proporções dos componentes da argamassa.

Figura 10 - Aditivo plastificante utilizado no preparo da argamassa.



Fonte: Autora, 2024.

4.2 Métodos

4.2.1 Avaliação Preliminar das amostras

Conforme a NBR 15900 (ABNT, 2009), após a coleta, uma amostra representativa da água deve ser submetida a uma avaliação preliminar, com o objetivo de verificar sua adequação para o preparo de argamassa. Esta avaliação engloba a análise da presença de óleos e gorduras, detergentes, coloração, teor de material sólido, odor e matéria orgânica, além da medição do potencial hidrogeniônico (pH) da amostra. Os requisitos necessários estão detalhadamente descritos na Tabela 1, conforme estabelecido pela norma.

Tabela 1 - Requisitos e procedimentos de ensaio para inspeção preliminar de água destinada

Parâmetro	Requisito	Procedimento de ensaio
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis	ABNT NBR 15900-3
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 min	
Cor	A cor deve ser comparada qualitativamente com água potável devendo ser amarelo claro a incolor, exceto para a água classificada em 3.3	
Material sólido	Máximo de 50 000 mg/L	Para água de fontes classificadas em 3.3, utilizar a metodologia do Anexo A ou ABNT NBR 15900-3. Para os demais tipos de água aplica-se o Projeto ABNT NBR 15900-3
Odor	Água de fontes classificadas em 3.3 não devem apresentar cheiro, exceto um leve odor de cimento e, onde houver escória, um leve odor de sulfeto de hidrogênio após a adição de ácido clorídrico	ABNT NBR 15900-3
	Água de outras fontes deve ser inodora e sem odor de sulfeto de hidrogênio, após a adição de ácido clorídrico	
Ácidos	pH $\geq$ 5	
Matéria orgânica	A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH	

Fonte: NBR15900 (ABNT, 2009).

Na pesquisa presente foram seguidos os métodos apresentados Tabela 2 para verificação dos parâmetros exigidos:

Tabela 2 - Parâmetros e métodos de avaliação das amostras

Parâmetros	Métodos
------------	---------

Óleos e Gorduras	5520D (APHA, 2012)
Detergentes	5540C (APHA, 2012)
Cor	Colorímetro DM COR, Digimed
Material Sólido	2540B (APHA, 2012)
Odor	Análise sensorial
Ácidos	Sonda HACH HQ40D, eletrodo PCH101
Matéria Orgânica	5210B (APHA, 2012)

Fonte: Autora, 2025.

4.2.2 Moldagem para testes a compressão e tração

Após a coleta das amostras e a realização da avaliação preliminar da água, avança-se para a etapa de moldagem. As normas utilizadas na preparação, moldagem e cura dos corpos de prova foram a NBR 16541 (ABNT, 2016) e NBR 13279 (ABNT, 2005), que tratam, respectivamente, do preparo da mistura para realização de ensaios de argamassa e da determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Foram utilizados moldes corpos de prova prismáticos com dimensões de 4 x 4 x 16 cm (Figura 11), de superfície totalmente lisa e passou-se óleo mineral como desmoldante. O traço utilizado para o preparo da argamassa foi de 1 parte de cimento para 3 partes de areia, a relação água/cimento (a/c) foi de 0,48 para todos os tipos de água analisadas.

Para avaliar se a consistência e a fluidez da mistura cimentícia atendiam aos requisitos mínimos de trabalhabilidade, após o preparo da argamassa, foi realizado o ensaio de espalhamento na *Flow Table* (Figura 12). O procedimento consistiu no preenchimento de um molde tronco-cônico com a mistura de argamassa,

posicionado no centro da mesa de fluxo. Em seguida, o molde foi cuidadosamente removido, e a mesa foi elevada e solta de uma altura padronizada por 30 vezes consecutivas, induzindo a expansão da mistura.

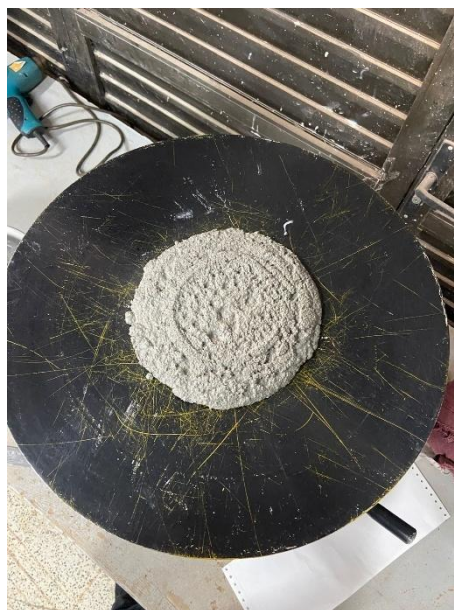
Após a realização do primeiro ensaio, verificou-se a necessidade de adição de um aditivo plastificante, a fim de melhorar a trabalhabilidade da argamassa. Dessa forma, foi adotada uma proporção de 0,5% de aditivo em relação à massa total da mistura. As respectivas massas utilizadas estão apresentadas na Tabela 3.

Figura 11 - Molde de corpo de prova.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 12 - Ensaio de adensamento na Flow Table



Fonte: Autora, 2024.

Tabela 3 - Valores das massas dos componentes da argamassa.

Material	Massa (g)
----------	-----------

Areia	2496
Cimento Portland	832
Água	400
Super Plastificante	4,16

Fonte: Autora, 2024.

A moldagem foi realizada em três camadas, com adensamento aplicado por 60 segundos a uma frequência de 80 Hz, na mesa de adensamento por vibração. Foram moldados 36 corpos de prova no total, 12 confeccionados com água coletada em Linhares/ES, 12 com água coletada em Ouro Preto/MG e 12 com água destilada, estes últimos utilizados como parâmetro de controle, conforme a NBR 15900 (ABNT, 2009). Após a moldagem os corpos de prova foram mantidos em repouso por 24 horas em uma câmara úmida, a 25°C e 90% de umidade relativa. Após esse período inicial de cura, todos os corpos de prova foram desmoldados, devidamente identificados (Figura 13) e, posteriormente, retornaram à câmara úmida, onde permaneceram até a realização dos ensaios de compressão aos 7 e 28 dias de cura.

Figura 13 - Corpos de prova desmoldados e identificados



Fonte: Autora, 2024.

4.2.3 Ensaios Mecânicos

Conforme estabelecido pela NBR 15900 (ABNT, 2009), as resistências dos corpos de prova de argamassa devem ser analisadas aos 7 e 28 dias de cura. Então, seguindo as orientações, decorridos 7 dias após a moldagem deu-se início as rupturas dos mesmos e repetidas aos 28 dias. Os ensaios de ruptura foram realizados em máquina automática de ensaio de resistência à tração na flexão e de compressão, no laboratório de materiais de construção da UFOP.

4.2.3.1 Resistência à compressão

Nos ensaios a compressão (Figura 14), os corpos de prova foram inseridos na máquina e testados com uma configuração de carga muito baixa, velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s e com uma margem de tolerância de 20%. As dimensões dos corpos de prova foram pré-definidas nas configurações da prensa como sendo de 4 x 4 x 4 cm, equivalente a uma área de 1600 mm².

Figura 14 - Ensaio a compressão.



Fonte: Autora, 2024.

4.2.3.2 Resistência à tração

Para avaliar a resistência à tração dos corpos de prova, foi empregado o ensaio de flexão em 3 pontos, que diz sobre a determinação da a tração na flexão, utilizando corpos de prova com dimensões de 4 x 4 x 16 mm e uma distância entre os apoios de 10 mm (Figura 15). Neste ensaio, foi adotada uma taxa de incremento de tensão de 0,2 MPa/s, com uma margem de tolerância de 20%.

Figura 15 - Ensaio a tração.



Fonte: Autora, 2024.

4.3 Análise de dados

Após a conclusão dos ensaios, todos os dados coletados foram submetidos a tratamento estatístico, conforme os critérios estabelecidos pela NBR 16738 (ABNT, 2019). Foram calculadas a média aritmética e o desvio padrão das medições, garantindo a representatividade dos resultados. Além disso, os valores que se encontravam fora do intervalo definido pelo desvio padrão foram descartados, visando a maior precisão e confiabilidade na análise dos dados.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação preliminar

Os resultados das análises das amostras de água coletadas em Ouro Preto-MG e Linhares-ES, são apresentadas abaixo nas Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente, e foram obtidos no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UFOP.

Tabela 4 - Resultado análise preliminar amostra de água de Ouro Preto-MG

Ouro Preto - MG						
ST	DBO	pH	Cor	OG	Deterg.	Odor
(mg/L)	(mg/L)	-	UC	-	-	-
12	0,7	6,94	10,7	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 5 - Resultado análise preliminar amostra de água de Linhares-ES

Linhares - ES						
ST	DBO	pH	Cor	OG	Deterg.	Odor
(mg/L)	(mg/L)	-	UC	-	-	-
29	0,3	6,91	0	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: Autora, 2024.

Sendo:

ST – Sólidos Totais;

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;

pH – Potencial Hidrogeniônico;

OG – Óleos e Gorduras;

Deterg. – Detergente.

Os resultados obtidos foram analisados com o objetivo de verificar a conformidade das amostras utilizadas no preparo de argamassa. Conforme estabelecido pela NBR 15900 (ABNT, 2009), a água classificada como potável pode ser utilizada na produção de argamassas sem restrições. Os parâmetros avaliados foram comparados tanto com os limites normativos quanto com os valores típicos de uma água potável, garantindo a adequação para o uso na fabricação de argamassas.

Avaliando separadamente cada parâmetro, verificou-se que os valores de sólidos totais ficaram abaixo de 50.000 mg/L, atendendo ao requisito mínimo estabelecido. No critério de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), utilizado para avaliar a presença de matéria orgânica, os valores registrados nas duas cidades analisadas também permaneceram abaixo do limite máximo de 5 mg/L, conforme os padrões estabelecidos para águas naturais destinadas ao abastecimento público (LIBÂNIO, 2008).

Os parâmetros de pH das duas cidades apresentaram valores superiores a 5, atendendo ao estipulado pela norma vigente. Quanto à coloração, a amostra proveniente de Ouro Preto/MG apresentou um valor próximo a 10 UC, sendo classificada como de difícil percepção visual e, portanto, considerada transparente (LIBÂNIO, 2008). Já a amostra coletada em Linhares/ES apresentou um valor de 0 UC, sendo igualmente considerada transparente.

Além disso, não foram identificadas visual ou olfativamente a presença de óleos e gorduras, detergentes ou odores, o que indica conformidade com os critérios necessários. Dessa forma, todos os requisitos mínimos foram atendidos, permitindo classificar a água analisada como adequada para o preparo da argamassa.

Ao verificar os dados coletados e analisar a variação dos parâmetros avaliados, não foram encontradas diferenças significativas na qualidade da água entre os dois locais de coleta que possam ser atribuídas à diferença de localização geográfica entre as cidades.

Ao comparar os resultados desta pesquisa com estudos realizados em cidades próximas aos locais de coleta, observa-se que os parâmetros de qualidade da água

das amostras analisadas apresentam valores semelhantes. Comparando-os com os dados obtidos por Karla (2005) em Vitória – ES, verifica-se que os resultados são próximos aos registrados em Linhares – ES, com variações mínimas.

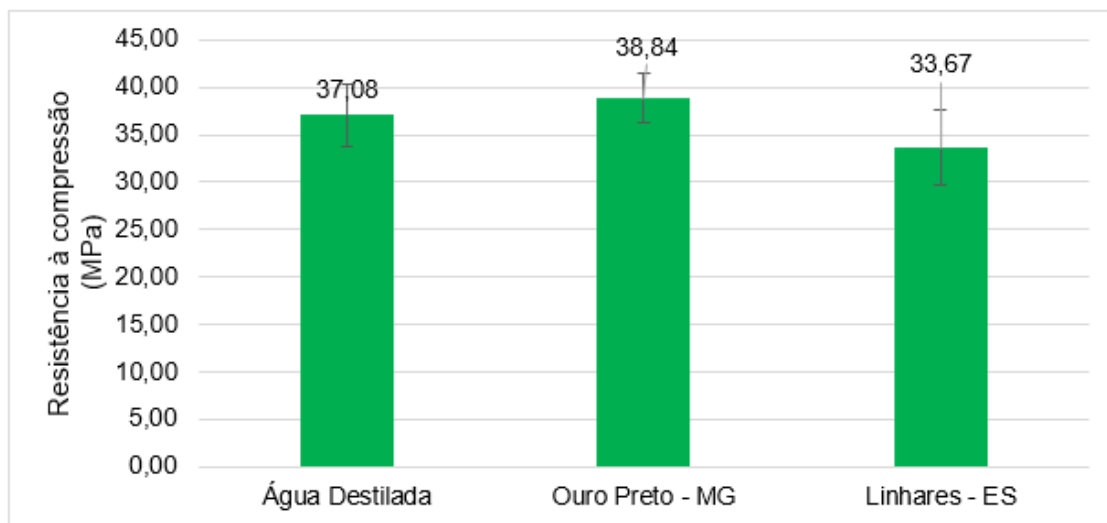
No caso de Ouro Preto – MG, a pesquisa utilizada para comparação foi a de Manuelle Prado (2009), que analisou amostras de água em Belo Horizonte – MG. Dentre os valores obtidos, destacam-se os da região da Pampulha, onde há menor influência de poluentes, sendo, portanto, mais relevantes para a presente análise. Ao comparar os dados deste estudo com os da pesquisa referida, verifica-se que os valores apresentam semelhança razoável, o que pode ser atribuído à maior concentração de poluentes na região metropolitana de Belo Horizonte em relação a Ouro Preto – MG.

Destaca-se na pesquisa a importância do descarte dos primeiros milímetros da água de chuva coletada, uma vez que essa prática contribui significativamente para a redução da contaminação por poluentes atmosféricos. No presente estudo, contudo, não houve descarte, pois a coleta foi iniciada somente após o início das precipitações.

5.2 Resistência à compressão

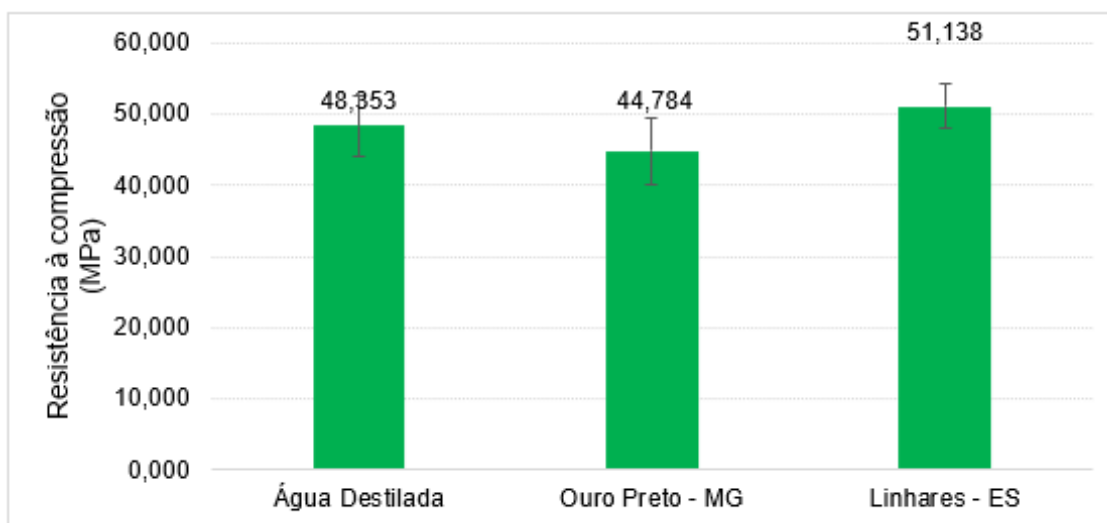
Nos gráficos abaixo são apresentados os resultados da análise dos dados coletados nos ensaios a compressão com 7 dias (Figura 16) e 28 dias (Figura 17) de cura, conforme pré-estabelecido anteriormente.

Figura 16 - Resistência à compressão com 7 dias de cura



Fonte: Autora, 2025.

Figura 17 - Resistência à compressão com 28 dias de cura



Fonte: Autora, 2025.

Os resultados das médias de resistência à compressão dos corpos de prova indicaram que aqueles moldados com água proveniente de Linhares – ES apresentaram, aos 7 dias, uma resistência inferior à dos moldados com água destilada. No entanto, esses corpos de prova atingiram 90% da resistência média dos preparados com água destilada, em conformidade com a NBR 15900 (ABNT,

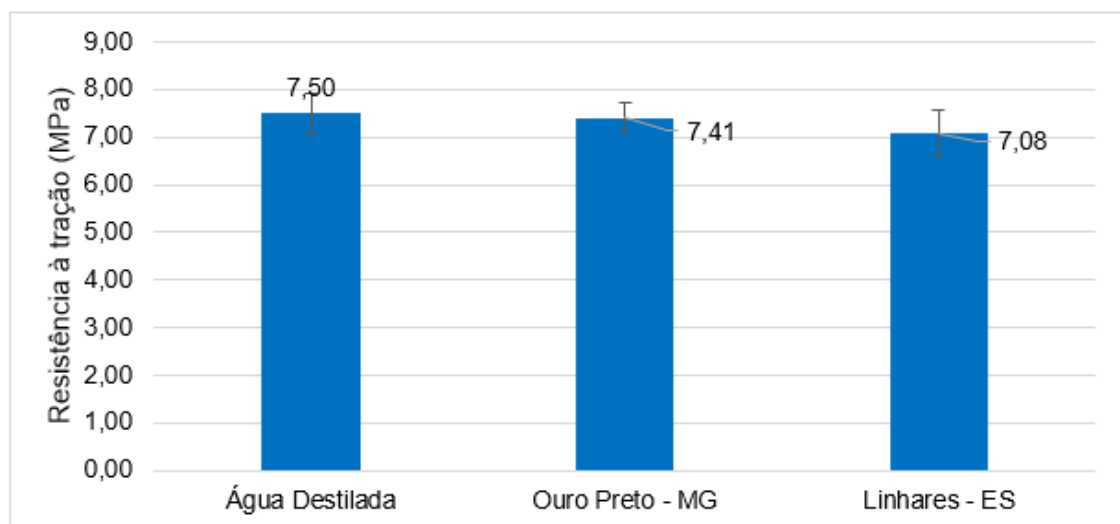
2009). Por outro lado, os corpos de prova moldados com água coletada em Ouro Preto – MG apresentaram, no mesmo período, uma resistência à compressão superior à dos moldados com água destilada.

Aos 28 dias, o comportamento das misturas apresentou uma variação significativa. Os corpos de prova moldados com água proveniente de Linhares – ES alcançaram uma resistência equivalente a 104% daquela observada nos moldados com água destilada. Em contraste, os corpos de prova confeccionados com água coletada em Ouro Preto – MG atingiram 92% da resistência registrada para os moldados com água destilada.

5.3 Resistência à tração

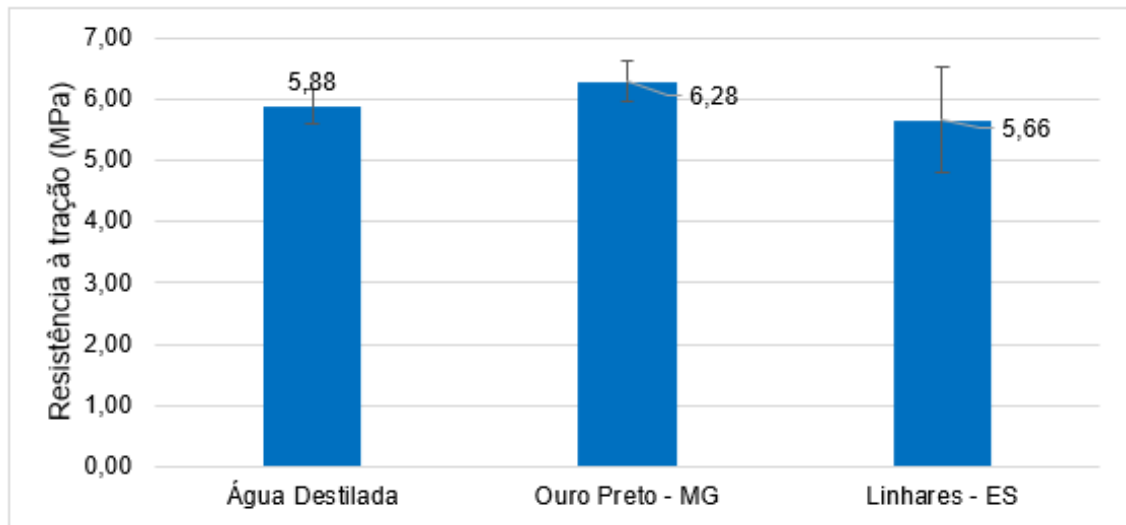
Os resultados dos ensaios de resistência à tração aos 7 e 28 dias são apresentados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

Figura 18 - Resistência à tração com 7 dias de cura



Fonte: Autora, 2025.

Figura 19 - Resistência à tração com 28 dias de cura



Fonte: Autora, 2025.

Seguindo o mesmo critério adotado nos ensaios de resistência à compressão, considerou-se como referência para comparação 90% dos valores obtidos nos corpos de prova moldados com água destilada.

Nos ensaios de resistência à tração, os valores obtidos para os corpos de prova confeccionados com a água de Linhares – ES foram inferiores tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Por outro lado, esses valores permaneceram dentro da margem de excelência estabelecida para os ensaios. Quando comparados aos resultados obtidos com água destilada, os valores atingiram aproximadamente 94% aos 7 dias e 96% aos 28 dias.

Ao analisar os resultados dos corpos de prova moldados com água proveniente de Ouro Preto – MG, verificou-se que os critérios estabelecidos também foram atendidos, alcançando aproximadamente 99% do valor de referência aos 7 dias e 106% aos 28 dias.

6 CONCLUSÃO

Todas as amostras de água analisadas atenderam aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 15900 (ABNT, 2009) para o amassamento de argamassa, sendo aprovadas na análise química preliminar. Além disso, todos corpos de prova resultaram em resistência à compressão superior ao limite mínimo de 90% em relação aos moldados com água destilada.

Observou-se que a água coletada em Linhares – ES proporcionou uma resistência à compressão, aos 28 dias, aproximadamente 14% superior à obtida com a água coletada em Ouro Preto – MG. No que se refere à resistência à tração, todos os valores ficaram acima do limite de 90% estabelecido anteriormente. Contudo, verificou-se que, após 28 dias, a média da resistência à tração dos corpos de prova moldados com a água de Ouro Preto – MG foi cerca de 10% superior à daqueles moldados com a água de Linhares – ES.

Mesmo com as variações observadas nos valores, não é possível atribuí-las, significativamente, à influência da localização geográfica das cidades, pois essas diferenças podem ter sido causadas por impurezas presentes nas amostras coletadas. Dessa forma, a realização de ensaios futuros, com uma análise química detalhada da água da chuva coletada nas cidades investigadas, poderá esclarecer as discrepâncias previamente mencionadas.

Conclui-se, portanto, que o uso de água de chuva no amassamento de argamassas é viável do ponto de vista da análise mecânica. No entanto, para garantir sua aplicação segura, é necessário avaliar os critérios estabelecidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009), que não foram considerados no presente estudo, antes de sua utilização.

7 REFERÊNCIAS

ANNECCHINI, Karla P. V. Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES). **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo**, Vitória - ES, 2005.

ARAÚJO, Alexandre F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 122. 2002.

BARBOSA, Larissa D. A. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: REUSO DA ÁGUA. **Revista Ibero- Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 7, p. 296-301, 2021.

BATTAGIN, A. F.; BATTAGIN, I. L. DA S. A Norma Brasileira de água de amassamento do concreto – uma contribuição para a sustentabilidade. In: _____ **Revista Concreto & Construção - Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON)**. 58. ed. [S.l.]: Ipsis Gráfica e Editora, 2010.

CARDOSO, Manuelle P. ABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM ZONAS URBANAS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE - MG. **Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte - MG, 2009.

COSTA, Regina H. P. G. **Reúso da Água**: Conceitos, teorias e Práticas. 2ª. ed.

CUNHA, Ananda H. N. **O REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL: A IMPORTÂNCIA DA REUTILIZAÇÃO DE**. 13. ed.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: HESPANHOL, Ivanildo **Reuso da água**. 1. ed. Barueri: Manole, v. 1, 2003. Cap. 3, p. 37-95.

INFORMAÇÕES Gerais. **Site da Prefeitura Municipal de Linhares**. Disponível em: <<https://linhares.es.gov.br/dados-gerais/>>. Acesso em: 21 Março 2024.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, Assistência T. E. E. R.-. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Proater)**. [S.l.]. 2020-2023.

JUNIOR, Jailton M. M. Reutilização da água da Chuva. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, Junho 2020. 66-90.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de tratamento e qualidade de água**. 2ª. ed.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004. (doi:10.11606/D.3.2004.tde-02082004-122332).

MEYER, Christian. **Sustainable Development and the Concrete Industry**. CIB Bulletin. [S.l.]. 2004.

PESSARELLO, REGIANE G. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores**. São Paulo , p. 114. 2008.

PREFEITURA Municipal de Ouro Preto - MG. **Informações Gerais**. Disponível em: <<https://ouopreto.mg.gov.br/informacoes-gerais>>. Acesso em: 20 Março 2024.

REBOUÇAS, Aldo D. C. **Uso Inteligente da água**. 2ª. ed.

TELLES, Dirceu D. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. 1ª. ed.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. 1ª. ed.

TUNDISI, José G.; TUNDISI, Takako M. **Recursos Hidricos no século XXI**. 1ª. ed.