



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

LUCAS COUTINHO DA SILVEIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE ROCHAS EM MINERAÇÃO DE OURO:
UM ESTUDO EM SERRITA – PE**

Recife

2024

LUCAS COUTINHO DA SILVEIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE ROCHAS EM MINERAÇÃO DE OURO:
UM ESTUDO EM SERRITA – PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador (a): Prof. Dr. Marinésio Pinheiro de Lima

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Ramos, Lucas Coutinho da Silveira.

Caracterização geomecânica de rochas em mineração de ouro: Um estudo em Serrita - PE / Lucas Coutinho da Silveira Ramos. - Recife, 2024.
39 p. : il., tab.

Orientador(a): Marinésio Pinheiro de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Minas - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Caracterização geomecânica. 2. Ensaio de Compressão Uniaxial. 3. Ensaio de esclerômetro. 4. Ensaio de Ultrassom em rochas. 5. Engenharia geotécnica. I. Lima, Marinésio Pinheiro de. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

LUCAS COUTINHO DA SILVEIRA RAMOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DE ROCHAS EM MINERAÇÃO DE OURO:
UM ESTUDO EM SERRITA – PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovada em: 01/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marinésio Pinheiro de Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Artur Angelo Alcântara de Assis (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Jorge Luiz Valença Mariz (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Em um momento de profunda gratidão, desejo expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que tornaram possível esta conquista monumental.

Primeiramente, reverencio a Deus, cuja orientação e bênçãos permearam cada passo desta jornada. Sua luz foi a bússola que guiou meu caminho e sua graça, o sustento que me impulsionou nas horas mais desafiadoras.

Àqueles que são os alicerces da minha existência, meus amados pais, Sérgio Ramos e Célia Coutinho, dedico palavras de profunda admiração e gratidão. Seu apoio inabalável e amor incondicional foram a força motriz por trás de cada conquista e o conforto nas horas de tribulação.

À minha querida esposa, Luana Acioly, que com sua presença amorosa e encorajadora, tornou-se não apenas minha parceira de vida, mas também minha inspiração mais sublime. Seu apoio incansável e sua fé inabalável em mim foram o combustível que alimentou minha determinação ao longo desta jornada.

Não posso deixar de mencionar minha irmã, Maria Luísa Coutinho, cujo apoio constante e incentivo inestimável me deram forças em momentos de dúvida e cansaço.

Aos membros veneráveis da minha família, em especial aos meus avós, cujo amor e sabedoria foram pilares de sustentação em minha vida, expresso minha mais profunda gratidão.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, em especial a Marinésio Pinheiro, meu orientador, pela dedicação, ensinamentos e por ser um exemplo inspirador de determinação e superação.

Aos meus amigos, que compartilharam risos, lágrimas e momentos de vitórias ao longo do caminho, agradeço do fundo do coração.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para este momento de celebração e realização. Ser o primeiro engenheiro da família é uma honra que compartilho com cada um de vocês, e prometo honrar este legado com integridade e dedicação.

Que este momento seja apenas o prólogo de uma história de sucesso, superação e realizações sem fim. Obrigado, do fundo do meu coração, por fazerem parte desta jornada.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo central a caracterização geomecânica da rocha encaixante do ouro, o xisto, situado na região de Serrita, PE. A compreensão aprofundada das propriedades dessa rocha é essencial para a engenharia geotécnica, especialmente em ambientes de mineração. Dividido em quatro etapas distintas, o estudo abrange desde a obtenção das amostras até a análise dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

A primeira etapa do estudo concentrou-se na obtenção cuidadosa das amostras de xisto na área de estudo, localizada entre os municípios de Salgueiro e Verdejante, com uma área total de 1284,43Ha, mas com foco específico em uma frente de pesquisa da área. Em seguida, procedeu-se à preparação meticulosa dos corpos de prova, visando garantir a representatividade e a integridade das amostras para os ensaios subsequentes.

A terceira etapa do trabalho envolveu a realização de uma série de ensaios laboratoriais, com destaque para o ensaio de ultrassom em rocha, o ensaio de esclerômetro e o ensaio de compressão uniaxial. O ensaio de ultrassom foi fundamental para determinar a velocidade com que a onda de ultrassom atravessa a rocha, fornecendo informações valiosas sobre suas propriedades elásticas. Já o ensaio de esclerômetro permitiu estimar a resistência à compressão uniaxial da rocha, enquanto o ensaio de compressão uniaxial proporcionou uma avaliação direta dessa propriedade.

Por fim, a análise dos resultados obtidos nos ensaios revelou estimativas importantes dos parâmetros geomecânicos da rocha, incluindo o módulo de elasticidade e a resistência à compressão uniaxial. Esses dados são cruciais para a engenharia geotécnica, fornecendo informações essenciais para projetos de mineração e geotecnia. Portanto, este estudo desempenha um papel significativo na caracterização do xisto de Serrita, contribuindo para uma compreensão mais profunda das propriedades geomecânicas dessa rocha e seu impacto em projetos de engenharia de minas.

Palavras-chave: Caracterização geomecânica, ensaio de compressão uniaxial, ensaio de esclerômetro, ensaio de ultrassom em rochas, engenharia geotécnica.

ABSTRACT

This study aims to characterize the geomechanical behavior of the gold-bearing rock, shale, located in the region of Serrita, PE. A thorough understanding of the properties of this rock is essential for geotechnical engineering, especially in mining environments. Divided into four distinct stages, the study covers everything from obtaining the samples to analyzing the results obtained in laboratory tests.

The first stage of the study focused on carefully obtaining shale samples from the study area, located between the municipalities of Salgueiro and Verdejante, with a total area of 1284.43 hectares, but with a specific focus on a research front in the area. Subsequently, meticulous preparation of the test specimens was carried out to ensure the representativeness and integrity of the samples for subsequent tests.

The third stage of the work involved conducting a series of laboratory tests, with emphasis on ultrasonic testing, Schmidt hammer testing, and uniaxial compression testing. The ultrasonic test was essential for determining the velocity at which the ultrasonic wave travels through the rock, providing valuable information about its elastic properties. The Schmidt hammer test allowed for the estimation of the uniaxial compressive strength of the rock, while the uniaxial compression test provided a direct assessment of this property.

Finally, the analysis of the results obtained in the tests revealed important estimates of the geomechanical parameters of the rock, including the modulus of elasticity and the uniaxial compressive strength. These data are crucial for geotechnical engineering, providing essential information for mining and geotechnical projects. Therefore, this study plays a significant role in characterizing the shale of Serrita, contributing to a deeper understanding of the geomechanical properties of this rock and its impact on mining engineering projects.

Keywords: Geomechanical characterization, uniaxial compression testing, Schmidt hammer testing, ultrasonic testing, geotechnical engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Apresentação do Ábaco de Miller que relaciona a resistência do esclerômetro com a compressão uniaxial.....	15
Figura 2: Apresentação do Ábaco de Miller adaptado que correlaciona RL e Módulo de Elasticidade.....	15
Figura 3: Localização da área de estudo.....	19
Figura 4: Frente de pesquisa da qual foram coletadas as amostras.	19
Figura 5: Xistos com presença de quartzos, onde há a ocorrência do ouro.....	20
Figura 6: Amostras coletadas in loco.....	22
Figura 7: À esquerda a extração dos corpos de prova cilíndricos; À direita, as amostras em pedaços, como resultado.....	23
Figura 8: Extração e confecção de corpos de prova cúbicos com 7cm de aresta.	23
Figura 9: Realização do ensaio de esclerômetro.	25
Figura 10: Ábaco de Miller,.....	26
Figura 11: Máquina universal de ensaio de compressão.	28
Figura 12: Registro do máximo carregamento na amostra.....	29
Figura 13: Amostras após os ensaios de compressão uniaxial.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidade de propagação de ondas em algumas rochas.	16
Tabela 2: Estimativas de resistência à compressão uniaxial e de carga pontual.	17
Tabela 3: Tabela 3: Resultados de densidade da rocha.	30
Tabela 4: Resultado dos rebotes do martelo de Schimidt.	31
Tabela 5: Resultados do módulo de elasticidade para medições com o martelo do tipo L.	32
Tabela 6: Resultados da Resistência a Compressão Uniaxial de acordo com o ábaco de Miller.	33
Tabela 7: Resultados da velocidade de onda ultrassom.	33
Tabela 8: Resultados do ensaio de compressão uniaxial.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 GERAL.....	12
1.2.2 ESPECÍFICO.....	12
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1 MECÂNICA DAS ROCHAS.....	13
2.2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO.....	13
2.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO EM ROCHAS	14
2.3.1 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO	14
2.3.2 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS	16
2.3.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL.....	17
3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	18
3.2 GEOLOGIA DA ÁREA	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS:.....	21
4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	22
4.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	24
4.3.1 ENSAIO DE DENSIDADE	24
4.3.4 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO	24
4.3.4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL ATRAVÉS DO ESCLERÔMETRO	25
4.3.4.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE ATRAVÉS DO ESCLERÔMETRO.....	26
4.3.3 ENSAIO DE ULTRASSOM	26

4.3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1 DENSIDADE	29
5.2 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO	30
5.3 ENSAIO DE ULTRASSOM	33
5.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL	34
5.5 RESUMO DOS MÉTODOS	35
6. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A caracterização geomecânica das rochas é uma etapa crucial na engenharia de minas, especialmente em áreas de exploração mineral como Serrita, PE. Nesse contexto, este trabalho visa analisar a rocha encaixante do ouro, predominantemente composta por xisto, a fim de compreender suas propriedades mecânicas e geotécnicas. A região de Serrita destaca-se por suas ocorrências minerais significativas, tornando-se um ambiente propício para estudos geotécnicos aplicados à mineração de ouro. Dividido em quatro etapas distintas, este trabalho aborda desde a obtenção das amostras até a análise dos resultados dos ensaios laboratoriais.

Na primeira etapa, buscou-se a coleta de amostras representativas da rocha encaixante em Serrita, PE, visando compreender sua composição e características iniciais. Em seguida, as amostras foram preparadas para a realização de ensaios laboratoriais, que incluíram a determinação de parâmetros como densidade, resistência à compressão uniaxial e módulo de elasticidade. Destaca-se a utilização de ensaios não destrutivos, como ultrassom e esclerômetro, para estimar esses parâmetros com precisão. Os resultados desses ensaios são fundamentais para compreender o comportamento geomecânico da rocha e sua aplicabilidade em projetos de mineração.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No contexto da engenharia de minas, a caracterização das propriedades geomecânicas das rochas desempenha um papel crucial na segurança e eficácia de uma ampla gama de projetos de engenharia. Essa importância é especialmente evidente na região de Serrita, PE, onde a atividade de mineração de ouro é significativa e a compreensão das características do xisto, a rocha encaixante predominante, é essencial. O xisto apresenta desafios únicos devido à sua composição e estrutura geológica, exigindo uma avaliação detalhada de suas propriedades para garantir a estabilidade e segurança das operações de mineração na região.

Compreender o contexto geológico da área de estudo é fundamental para identificar os desafios específicos que a engenharia de minas enfrenta na região. A composição geológica e a estruturação do xisto, juntamente com o histórico geológico local, influenciam diretamente suas propriedades geomecânicas. Essas propriedades, por

sua vez, afetam a estabilidade de taludes, a capacidade de suporte de estruturas e a viabilidade econômica das operações de mineração. Portanto, uma análise cuidadosa dessas características é essencial para o planejamento e execução bem-sucedidos de projetos de engenharia de minas na região de Serrita, PE.

Nesse contexto, o presente estudo visa realizar uma caracterização abrangente das propriedades geomecânicas do xisto em Serrita, PE. Ao analisar os métodos utilizados para investigar essas propriedades, espera-se fornecer *insights* valiosos que contribuirão para a compreensão mais profunda da geologia local e para o desenvolvimento de práticas seguras e eficientes na indústria de mineração de ouro.

1.2 1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

Realizar ensaios laboratoriais para a determinação precisa dos parâmetros de resistência das rochas. Aprofundar a classificação geomecânica dessas formações, visando contribuir para o embasamento técnico em projetos de Engenharia de Minas e atividades geotécnicas, como por exemplo na estabilidade de taludes em minerações a céu aberto.

1.2.2 ESPECÍFICO

Este estudo propõe objetivos específicos voltados para a determinação precisa de parâmetros de resistência em rochas, por meio da realização de ensaios laboratoriais divididos em duas categorias distintas: ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos. Os ensaios não destrutivos abordam tanto o ensaio de resistência com esclerômetro quanto o uso de ultrassom para a determinação da velocidade de propagação da onda.

Paralelamente, será conduzido um ensaio destrutivo de compressão uniaxial. A combinação dessas abordagens visa fornecer uma análise abrangente dos parâmetros de resistência das rochas. Especificamente, os resultados desses ensaios serão utilizados para determinar com precisão a resistência das rochas, contribuindo significativamente para sua classificação geomecânica.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MECÂNICA DAS ROCHAS

A Mecânica das Rochas é um campo de estudo essencial que se dedica à compreensão do comportamento mecânico das formações rochosas. Ela desempenha um papel fundamental na área de Engenharia de Minas, fornecendo as bases teóricas necessárias para a concepção, planejamento e execução de projetos geotécnicos em ambientes rochosos. Este ramo multidisciplinar da geologia e engenharia se concentra na análise das propriedades mecânicas das rochas, considerando fatores como resistência à compressão, resistência à tração, coesão e ângulo de atrito interno.

As aplicações da Mecânica das Rochas na Engenharia de Minas são vastas e impactam diretamente a segurança e eficiência das operações mineradoras. Com base nessa compreensão detalhada das características mecânicas das rochas, os engenheiros de minas podem otimizar o dimensionamento de escavações, túneis e galerias, garantindo a estabilidade das estruturas subterrâneas. Além disso, a Mecânica das Rochas é essencial na avaliação de riscos geotécnicos, permitindo a previsão e mitigação de instabilidades em encostas, deslizamentos de terra e outros fenômenos relacionados. Em última análise, a aplicação eficaz da Mecânica das Rochas na Engenharia de Minas contribui não apenas para a segurança operacional, mas também para a otimização dos recursos e a sustentabilidade ambiental das atividades mineradoras.

2.2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO

A caracterização e classificação geomecânica do maciço rochoso emergem como elementos-chave na Engenharia de Minas, desempenhando um papel preponderante na tomada de decisões relativas à estabilidade de taludes e no planejamento de atividades mineradoras. Conforme destacado por Serra Júnior e Ojima (1998), um maciço rochoso é concebido como um arranjo de blocos de rocha justapostos, separados por descontinuidades. A relação intrínseca entre a quantidade dessas descontinuidades e a escala da obra não apenas define a heterogeneidade do meio, mas também indica o grau de isotropia do maciço.

A importância desta caracterização torna-se evidente na Engenharia de Minas ao considerar que as propriedades físicas e mecânicas do maciço rochoso direcionam diretamente a eficácia e segurança das atividades de exploração mineral. A classificação geomecânica permite a identificação de zonas críticas, potencialmente suscetíveis a instabilidades, e contribui para o desenvolvimento de estratégias de suporte e controle de taludes. Ao compreender a configuração e distribuição das descontinuidades, os engenheiros podem tomar decisões informadas, implementando medidas de estabilização e garantindo a integridade estrutural de taludes em ambientes mineradores desafiadores. Portanto, essa caracterização do maciço rochoso não apenas respalda a segurança operacional, mas também promove a eficiência e sustentabilidade das operações de mineração.

2.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO EM ROCHAS

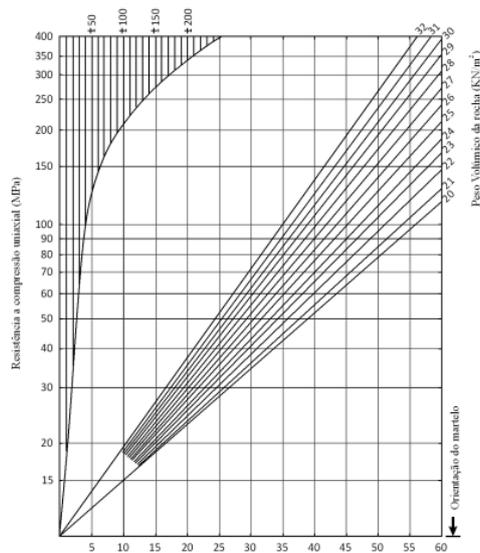
2.3.1 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO

O Esclerômetro, também conhecido como Martelo de Schmidt, representa uma ferramenta crucial na avaliação geomecânica de rochas, permitindo a estimativa da resistência à compressão uniaxial e do módulo de elasticidade. A ISRM (2009) estabeleceu diretrizes para a execução desse ensaio, onde a compressão uniaxial refere-se à carga normal aplicada axialmente ao corpo de prova, e o Módulo de Elasticidade descreve a resposta da rocha à deformação sob carregamento axial linear.

Operando com um sistema de pistão acionado por mola, o esclerômetro transfere energia à rocha ao ser pressionado contra sua superfície, deformando a mola. A recuperação do comprimento da mola após o impacto está diretamente associada à resistência da rocha, fornecendo *insights* sobre sua dureza. Existem duas variantes de esclerômetro, L e N, classificadas pela energia de impacto, com as respectivas energias de 0,735 e 2,207 Nm., sendo o tipo L mais sensível e indicado, inclusive, para rochas intemperizadas.

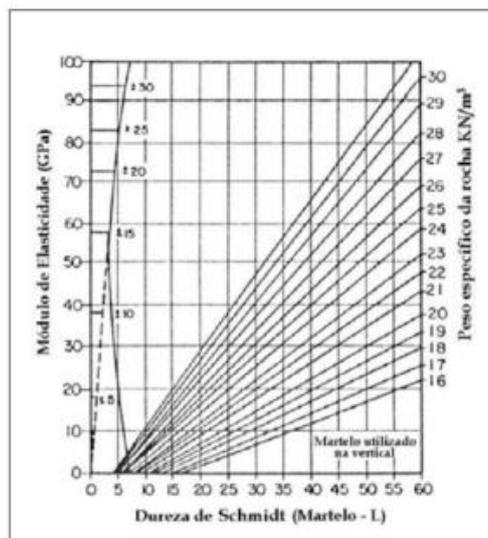
O cálculo da resistência à compressão uniaxial é realizado por meio do Método do Ábaco de Miller, indicado na figura 1, possibilitando a determinação gráfica dos dados coletados pelo esclerômetro. Esse cálculo leva em consideração a densidade média da rocha analisada.

Figura 1: Apresentação do Ábaco de Miller que relaciona a resistência do esclerômetro com a compressão uniaxial.



Fonte: Adaptado de Vallejo et al. (2002)

Figura 2: Apresentação do Ábaco de Miller adaptado que correlaciona RL e Módulo de Elasticidade.



Fonte: Oliveira (2017).

O ensaio de esclerômetro destaca-se como uma ferramenta vital na caracterização geomecânica de rochas, oferecendo informações essenciais para a Engenharia de Minas. Sua capacidade de estimar a resistência à compressão e o comportamento elástico da rocha torna-o fundamental para a análise de estabilidade em ambientes de mineração e para o desenvolvimento de estratégias eficazes em projetos geotécnicos.

2.3.2 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Vibrações nas rochas se propagam, principalmente, por meio de ondas longitudinais e transversais. Teoricamente, a velocidade com que uma onda se propaga através da rocha depende exclusivamente de suas propriedades elásticas (E , ν) e de sua densidade, γ . Na prática, o que se tem observado é que o grau de fissuramento da rocha interfere nessas medidas (a velocidade de propagação diminui com a presença de fissuras). Desse modo, a velocidade de propagação da onda pode ser usada como índice para avaliar o grau de fissuramento da rocha (GOODMAN, 1989).

De acordo com Azevedo & Marques (2006), conclui-se então que:

- a velocidade de propagação da onda diminui com o aumento da porosidade da rocha → rocha mais alterada: v diminui se n aumentar.
- a velocidade de propagação da onda se eleva com o aumento da densidade da rocha → rocha menos alterada: v aumenta se γ aumentar.
- a velocidade de propagação da onda aumenta com o nível da tensão aplicada → diminui a porosidade: v aumenta se σ aumentar (uma vez que n diminua).
- a velocidade de propagação da onda aumenta com o teor de umidade na rocha → água preenchendo os vazios: v aumenta se w aumentar.

A velocidade de propagação longitudinal (V_l) é calculada de acordo com a equação 1:

$$V_l = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Em que,

L: Comprimento do corpo-de-prova;

t: Tempo de percurso da onda (medido).

A Tabela 1 apresenta valores típicos da velocidade de propagação de ondas para alguns litotipos.

Tabela 1: Velocidade de propagação de ondas em algumas rochas.

Rocha	Velocidade (km/s)
Arenito e Quartzito	7,20
Basalto	7,20
Calcário	6,60
Dolomito	7,50
Gabro	7,45
Rochas Graníticas	7,40

Fonte: Adaptado de Azevedo & Marques (2006).

2.3.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de compressão uniaxial, também conhecido como, ensaio de compressão não confinada, representa uma prática amplamente adotada na avaliação dos parâmetros geomecânicos de materiais rochosos. Essa escolha é motivada pela praticidade e eficiência na realização e obtenção de resultados. O propósito desse teste é caracterizar e classificar a rocha com base em sua resistência, conforme indicado por Brown (1981), que propôs critérios empíricos para essa classificação e que está descrito na tabela 2.

Tabela 2: Estimativas de resistência à compressão uniaxial e de carga pontual.

Grau	Designação	Resistência (Mpa)	Análise
R0	Extremamente Branda	0,25 a 1	Pode ser marcado com a unha
R1	Muito Branda	1 a 5	Esmigalha-se com o impacto da ponta do martelo, pode ser raspada com canivete.
R2	Branda	5 a 25	Canivete corta a amostra, mas não o molda.
R3	Medianamente Resistente	25 a 50	Um golpe firme com a ponta do martelo de geólogo faz sulcos de até 5mm; o canivete consegue raspar a superfície da rocha.
R4	Resistente	50 a 100	Pedaços pequenos de rocha seguros com a mão são partidos com um único golpe de martelo.
R5	Muito Resistente	100 a 250	Requer muitos golpes de martelo para partir em pedaços de rocha.
R6	Extremamente Resistente	>250	A rocha lasca depois de sucessivos golpes de martelo e ressoa quanto é atingida.

Fonte: (Brown, 1981).

No contexto brasileiro, a condução desse teste é orientada pela norma ABNT NBR 15845/2010. Esta metodologia visa submeter a amostra a um sistema de teste de resistência por meio de uma prensa hidráulica, permitindo o registro dos dados de força aplicada até o ponto de ruptura.

A aplicação dessa análise oferece uma compreensão mais precisa das capacidades de suporte do maciço rochoso e de seus limites de resistência. Tais dados são valiosos

tanto para avaliações relacionadas à implantação de obras de engenharia quanto para análises em softwares simulações de rupturas do maciço. Ao entender os esforços que o maciço é capaz de suportar e seus pontos de fragilidade, essas informações se convertem em recursos essenciais para embasar decisões seguras em projetos geotécnicos, contribuindo significativamente para a engenharia de minas e a estabilidade de taludes.

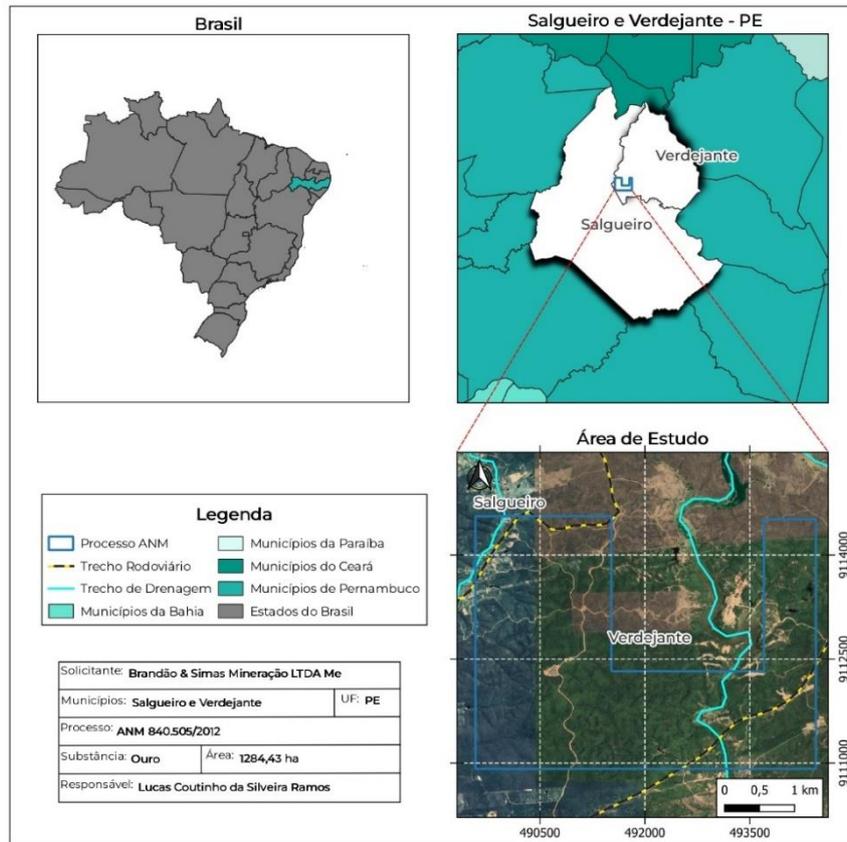
3. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo abrange uma região situada entre os municípios de Salgueiro e Verdejante, localizada em Serrita-PE, a uma distância aproximada de 515 km da capital Recife-PE. A figura 3 proporciona uma visão detalhada da área delimitada no processo da ANM e sua localização geográfica. Essa representação cartográfica auxilia na compreensão da distribuição espacial da região de estudo, fornecendo informações visuais sobre sua posição em relação aos municípios circundantes e outras características geográficas relevantes.

O território em questão, registrado no processo da Agência Nacional de Mineração, ANM 840.505/2012, abrange uma extensão total de 1284,43 hectares. No entanto, nosso foco de pesquisa concentra-se em uma frente específica dentro dessa área, onde realizamos nossas investigações detalhadas, como mostra a figura 4.

Figura 3: Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 4: Frente de pesquisa da qual foram coletadas as amostras.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

3.2 GEOLOGIA DA ÁREA

Marinho (2012) oferece uma visão detalhada das ocorrências de ouro em Serrita, remontando aos primeiros registros apresentados nos relatórios do Projeto Serrita conduzido pela CPRM na década de 80. Torres e Santos (1983) e Torres et al. (1986) destacaram veios que abrigavam teores variados de Au, Ag e Pb (galena), localizados em uma sequência de xistos inicialmente associada ao Grupo Cachoeirinha. Embora tenham sido objeto de campanhas posteriores de prospecção (Mont'Alverne et al., 1995), poucos estudos abordaram a evolução dessas ocorrências (Beurlen et al., 1997).

Analisando os mapeamentos prévios (Torres & Santos, 1983; Mont'Alverne et al., 1995), observa-se que os veios de minério estão inseridos em uma sequência de rochas xistosas e corpos intrusivos. A sequência xistosa, vinculada ao Grupo Salgueiro, apresenta predominância de quartzo-plagioclásio-sericita xistos, ocasionalmente enriquecidos com cordierita e/ou granada, intercalados com sericita xisto, sericita-quartzo xistos e quartzitos.

A configuração mineralógica dos xistos do Grupo Salgueiro é reveladora, exibindo camadas com diferentes proporções de minerais como moscovita, clorita, biotita, plagioclásio e quartzo, além de minerais acessórios. Este arranjo aponta para um protólito sedimentar, caracterizado pela alternância entre níveis de composição pelítica a semi-pelítica e níveis siltíticos com composição arcoseana a quartzosa, como mostra a figura 5. A narrativa de Marinho (2012) oferece uma base crucial para a compreensão da geologia local, fornecendo informações valiosas sobre a história e a composição mineralógica das ocorrências de ouro em Serrita.

Figura 5: Xistos com presença de quartzos, onde há a ocorrência do ouro.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Além disso, o Grupo Salgueiro, integrante desse cenário geológico, é caracterizado por uma variedade de litologias, incluindo sericita xistos, metarenitos, grafita xistos, metacherts ferruginosos e metavulcânicas ácidas, intermediárias e básicas. Sujeito a um metamorfismo fraco a médio e a três fases deformacionais, o Grupo Salgueiro está inserido no Terreno Piancó-Alto Brígida, uma parte crucial da Zona Transversal. As classificações estratigráficas propostas ao longo do tempo, como a subdivisão de Barbosa (1970) em rochas do embasamento (Grupo Uauá) e sequências supracrustais (Grupos Salgueiro e Cachoeirinha), contribuem para a compreensão abrangente do contexto geológico em que as ocorrências de ouro em Serrita estão inseridas. Essa fusão de informações é fundamental para estudos geotécnicos e exploração mineral na região, consolidando a dissertação como uma fonte abrangente e fundamentada sobre o tema.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

A obtenção das amostras constituiu uma etapa crucial neste estudo, demandando a exploração in loco da área de estudo em Serrita, Pernambuco. A coleta foi realizada mediante a busca por blocos de rochas indeformados, visando preservar ao máximo as características originais do material, representado na figura 6. A escolha de Serrita como local de coleta foi um convite da empresa Simas & Brandão Ltda, através do apoio do Eng. De Minas Jorge Valença Mariz, consultor proprietário da empresa Bergwerk Engenharia Ltda. Essa parceria estratégica proporcionou acesso privilegiado às áreas de exploração da mineradora, garantindo uma coleta de amostras mais direcionada e representativa das características geológicas específicas buscadas para análise. A colaboração estreita com a Simas e Brandão Ltda. não apenas facilitou o acesso às áreas de estudo, mas também fortaleceu a integridade e autenticidade das amostras coletadas, essenciais para a validade dos ensaios subsequentes.

Figura 6: Amostras coletadas in loco.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Com o intuito de obter corpos de prova representativos, inicialmente, foi empregada a tentativa de extrair cilindros dos blocos por meio de uma extratora. Entretanto, devido à baixa resistência de algumas amostras, o processo resultou no despedaçamento dos corpos de prova nas regiões fraturadas, como evidenciado na figura 7. Diante dessa limitação, uma abordagem alternativa foi adotada.

Figura 7: À esquerda a extração dos corpos de prova cilíndricos;
À direita, as amostras em pedaços, como resultado.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A segunda estratégia de preparação envolveu a confecção de corpos de prova cúbicos, com dimensões aproximadas de 7 cm de aresta, utilizando uma serra, conforme ilustrado na figura 8 abaixo. Essa técnica mostrou-se mais eficaz diante da heterogeneidade e fragilidade de algumas amostras, garantindo a obtenção de corpos de prova consistentes e adequados para os ensaios geomecânicos planejados.

Figura 8: Extração e confecção de corpos de prova cúbicos com 7cm de aresta.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

4.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

4.3.1 ENSAIO DE DENSIDADE

O ensaio de densidade foi conduzido nas instalações do Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para cada uma das 13 amostras, foram moldados blocos cúbicos de 3 cm de aresta, garantindo uma representação não apenas regular, mas também fiel às características heterogêneas das amostras. O procedimento teve início com a pesagem meticulosa de cada amostra, seguida pela determinação do volume através de um béquer milimetrado com água, onde ao colocar a amostra pode-se observar a diferença de volume registrado e atribuí-la ao volume de cada bloco.

A equação fundamental para a densidade ($d = m/V$) foi aplicada, onde 'd' representa a densidade, 'm' é a massa da amostra e 'V' é o volume obtido.

4.3.4 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO

O ensaio de esclerômetro foi conduzido utilizando os martelos L e N em duas amostras distintas, conforme ilustrado na figura 9. A execução do ensaio seguiu uma abordagem na qual os martelos foram aplicados em uma posição perpendicular às amostras, proporcionando uma análise abrangente da resistência das rochas. Este método não destrutivo é fundamental para a obtenção de dados valiosos sobre a dureza e a resistência superficial das amostras, contribuindo diretamente para a determinação dos parâmetros geomecânicos essenciais no contexto do presente estudo.

Figura 9: Realização do ensaio de esclerômetro.

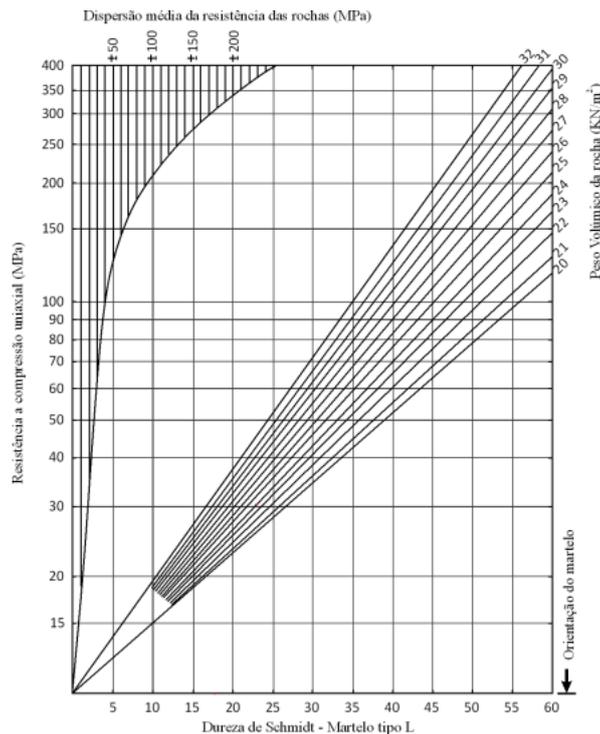


Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

4.3.4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL ATRAVÉS DO ESCLERÔMETRO

A estimativa da resistência à compressão uniaxial da rocha (σ_0) foi realizada por meio do ábaco de Miller, apresentado na figura 10, conforme proposto por Vallejo et al. (2002). Este ábaco estabelece uma relação entre a resistência à compressão, a altura de rebote do martelo e a massa específica da rocha, oferecendo uma abordagem eficaz para a avaliação dessa propriedade geomecânica.

Figura 10: Ábaco de Miller,



Fonte: Adaptado de *Vallejo et al.* (2002).

4.3.4.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE ATRAVÉS DO ESCLERÔMETRO.

Para a estimativa do módulo de elasticidade (E) a partir do ensaio de esclerômetro foi realizada através da metodologia proposta por Katz *et al* (2002). cuja correlação entre as variáveis é expressa pela equação 2, apresentada abaixo.

$$\ln(E) = -8,967 + 3091 * \ln(HR) \quad (2)$$

Onde,

E = Módulo de elasticidade, em GPa.

HR = Altura do rebote do martelo.

4.3.3 ENSAIO DE ULTRASSOM

A técnica que se utiliza da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos em materiais baseia-se na relação estabelecida por Rayleigh, a qual correlaciona a velocidade

do som em uma amostra específica com sua massa específica e características elásticas (Malhotra e Sivasundaram, 1991).

Segundo a ASTM C597-09, o ensaio para determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas em corpos de prova é essencial para avaliar a uniformidade e qualidade relativa do material, bem como para indicar a presença de vazios. As ondas longitudinais, com frequências variando de 20KHz a 150KHz, são empregadas nesse processo.

Notadamente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, em setembro de 2008, publicou a NBR 15630, que estabelece procedimentos semelhantes para determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de ondas ultrassônicas em argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Essa norma, em grande semelhança com a BS – 1881 parte 203 (1986) britânica, incorpora a equação 3 como parte integral de seus procedimentos.

$$E_d = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad (3)$$

Onde,

ρ = peso específico da rocha (kg/m³);

V = velocidade que a propagação da onda (km/s);

ν = coeficiente de Poisson. para um xisto alterado foi adotado o valor de 0,20 para o coeficiente de Poisson.

4.3.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de compressão uniaxial foi conduzido utilizando uma "máquina universal de compressão," caracterizada por sua extrema rigidez e controle manual, com incremento de carga em kilograma-força (kgf). A estrutura da prensa compreende discos ou placas de compressão de dimensões idênticas, paralelos e alinhados em um mesmo eixo, sendo o disco inferior responsável pelo avanço e compressão, como mostra a figura 11. Em conformidade com as diretrizes da ISRM (2007), foi empregada uma base cilíndrica de aço de alta resistência, com superfície superior plana e polida, para a acomodação dos corpos de prova.

Figura 11: Máquina universal de ensaio de compressão.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O procedimento do ensaio seguiu as recomendações da ISRM (2007), o primeiro passo foi a medição das dimensões dos corpos de prova, essenciais para os cálculos subsequentes da resistência à compressão. Após a preparação dos corpos de prova, estes foram centralizados na base de aço, seguindo práticas para evitar excentricidades que poderiam resultar em uma carga não uniformemente distribuída sobre a área da seção transversal da amostra. O máximo carregamento em cada amostra foi registrado pelo dispositivo indicador da máquina, expresso em quilograma-força (kgf), indicado na figura 12. Em seguida, foram realizados os cálculos necessários para registrar a resistência à compressão uniaxial em Pascal, como mostra a equação 3.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Em que,

σ_c – Resistência à compressão simples (uniaxial)

P - Carga de ruptura

A - Área da seção transversal da amostra perpendicular ao carregamento P.

Figura 12: Registro do máximo carregamento na amostra.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DENSIDADE

Os resultados obtidos em laboratórios foram organizados e registrados de maneira sistemática na tabela 3, proporcionando uma visão clara das variações de densidade entre as amostras analisadas. Este procedimento rigoroso no ensaio de densidade é fundamental para garantir a confiabilidade e a consistência dos dados coletados, especialmente considerando sua importância nos resultados do ensaio em esclerômetro, uma vez que o ábaco utilizado está relacionado à densidade das amostras.

Tabela 3: Tabela 3: Resultados de densidade da rocha.

Amostra	Massa (g)	Volume (cm³)	Densidade (g/cm³)
1	75,96	30	2,53
2	65,68	28	2,35
3	75,00	30	2,50
4	94,69	36	2,63
5	57,77	24	2,41
6	53,28	21	2,54
7	90,19	35	2,58
8	68,00	29	2,34
9	91,25	37	2,47
10	71,89	29	2,48
11	68,25	27	2,53
12	44,59	20	2,23
13	23,69	10	2,37
		Densidade Média	2,46

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

5.2 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO

Os resultados do ensaio de esclerômetro ofereceram uma perspectiva detalhada sobre as propriedades mecânicas das amostras de rocha analisadas. Na tabela 4, apresentamos as alturas de rebote registradas para os martelos de Schmidt dos tipos L e N em duas amostras distintas da rocha, e em cada uma delas foram feitas 10 medições em locais diferentes nas amostras, por se tratarem de amostras relativamente grandes:

Tabela 4: Resultado dos rebotes do martelo de Schimidt.

Amostra 1				Amostra 2			
Martelo L		Martelo N		Martelo L		Martelo N	
Medição	Altura do Rebote						
1	22	1	19,5	1	22,5	1	23
2	23,5	2	22	2	17,5	2	18
3	15,5	3	16	3	18	3	21,5
4	21	4	22	4	17,5	4	19,5
5	20	5	18	5	18,5	5	20
6	25,5	6	24,5	6	20,5	6	16,5
7	19	7	26,5	7	16,5	7	19
8	30	8	24,5	8	17	8	18,5
9	27	9	24,5	9	17	9	21,5
10	25,5	10	24	10	21	10	20,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Esses valores refletem a dureza superficial das amostras, sendo que alturas maiores indicam menor resistência. Com base nessas alturas de rebote, aplicamos a equação 1, proveniente da metodologia de Katz et al. 2000, para calcular o módulo de elasticidade através dos resultados da altura do rebote obtidos no martelo L. Os resultados desses cálculos, apresentados na tabela 5, revelam informações essenciais sobre as propriedades elásticas das rochas:

Tabela 5: Resultados do módulo de elasticidade para medições com o martelo do tipo L.

Amostra 1		Amostra 2	
Medição	Módulo de elasticidade (Gpa)	Medição	Módulo de elasticidade (Gpa)
1	1,799326	1	1,928757
2	2,206237	2	0,886976
3	0,609532	3	0,967673
4	1,558336	4	0,886976
5	1,340186	5	1,053196
6	2,839861	6	1,44648
7	1,143691	7	0,739476
8	4,693136	8	0,810959
9	3,38865	9	0,810959
10	2,839861	10	1,558336
Média	2,24188	Média	1,10898

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Além da análise direta da dureza e elasticidade, procedemos à determinação da resistência à compressão uniaxial por meio do ábaco de Miller na figura 10. Utilizando a massa específica da rocha em KN/m^3 , onde nossa densidade média foi de $2,46 \text{ g/cm}^3$, e transformando obtemos $24,6 \text{ KN/m}^3$ e a altura do rebote do martelo do tipo L, apresentados na tabela 4 como parâmetros, obteve-se os resultados conforme indicados na tabela 6.

Tabela 6: Resultados da Resistência a Compressão Uniaxial de acordo com o ábaco de Miller.

Amostra 1			Amostra 2		
Martelo L			Martelo L		
Medição	Altura do Rebote	Resistência (Mpa)	Medição	Altura do Rebote	Resistência (Mpa)
1	22	30	1	22,5	30,5
2	23,5	31	2	17,5	24
3	15,5	22	3	18	24,5
4	21	28	4	17,5	24
5	20	26,5	5	18,5	25
6	25,5	35	6	20,5	26,5
7	19	25	7	16,5	22,5
8	30	42,5	8	17	23,5
9	27	39,5	9	17	23,5
10	25,5	35	10	21	28
Média		31,45	Média		25,2

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

5.3 ENSAIO DE ULTRASSOM

O ensaio de ultrassom revelou-se fundamental para a caracterização das propriedades elásticas da rocha. A tabela 7 a seguir apresenta os resultados da velocidade da onda de ultrassom nas amostras, obtidos por meio da medição do tempo e do comprimento das amostras. Essa abordagem permitiu a análise da velocidade em paralelo ao acamamento da rocha e em uma direção perpendicular.

Tabela 7: Resultados da velocidade de onda ultrassom.

Amostra	Posição	Velocidade (km/s)	Tempo (μ s)
1	Paralelo	3,352	19,4
2	Paralelo	3,593	16,7
2	Perpendicular	1,987	31,7
3	Paralelo	2,957	18,7

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Os resultados indicam que a velocidade em paralelo ao acamamento da rocha é significativamente maior do que na direção perpendicular. Isso sugere que a onda de ultrassom percorre mais rapidamente pelos espaços vazios na direção paralela.

Com base nas médias das três medidas em paralelo, calculamos a velocidade média que foi de aproximadamente 3,3km/s. Juntamente com os valores da densidade e do

coeficiente de Poisson adotado (0,2), aplicamos a equação 1 para determinar o módulo de elasticidade.

O resultado obtido foi de 5,35 GPa, fornecendo uma valiosa métrica para compreender a resposta elástica da rocha às cargas aplicadas.

5.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de compressão uniaxial representou uma etapa crucial na análise das propriedades mecânicas das amostras de rocha. Inicialmente, realizamos testes em cinco amostras cúbicas, no entanto, uma delas, identificada como amostra número um, apresentou resultados enviesados e foi, portanto, descartada, a figura 13 representa como as amostras ficaram após o ensaio.

Figura 13: Amostras após os ensaios de compressão uniaxial.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

A tabela a seguir exhibe os dados relativos aos resultados de carga máxima em toneladas-força (tnf) obtidos a partir do ensaio. Esses resultados são fundamentais para a aplicação da Equação 2, que nos permite calcular a resistência à compressão uniaxial em megapascal (MPa). Os valores resultantes dessa análise estão apresentados na tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Resultados do ensaio de compressão uniaxial.

Amostra	Área Média da face (m ²)	Carga Máxima (tnf)	Resistência a Compressão Uniaxial (Mpa)
2	0,003769	3,8	9,886632
3	0,00322	4,19	12,75908
4	0,004246	3,89	8,984094
5	0,003542	3,92	10,85434
Média		3,95	10,62

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

Essa abordagem fornece uma visão aprofundada da capacidade das amostras de suportar cargas uniaxiais, sendo essencial para a caracterização geomecânica do material rochoso.

5.5 RESUMO DOS MÉTODOS

Na análise comparativa dos resultados dos métodos de determinação do módulo de elasticidade, provenientes do ensaio de esclerômetro e do ensaio de ultrassom, destaca-se as estimativas de 2,24 GPa e 1,11 Gpa nas amostras 1 e 2 respectivamente para o ensaio do esclerômetro e 5,35 GPa para o ensaio de ultrassom, como mostra a tabela 9.

Tabela 9: Comparativo dos resultados do módulo de elasticidade.

Módulo de Elasticidade (E)		
Ensaio de Esclerômetro		Ensaio de Ultrassom
Amostra 1	Amostra 2	Média
2,24 Gpa	1,11 Gpa	5,35 Gpa

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Na análise comparativa dos resultados dos métodos de determinação da resistência a compressão uniaxial, provenientes do ensaio de esclerômetro em conjunto com o ábaco de Miller e do ensaio de compressão uniaxial, nota-se que as médias para estes dois métodos deram valores um pouco discrepantes, para o ensaio de esclerômetro as médias de resistência para duas amostras ficaram 31,45 Mpa para a amostra 1 e 25,2 Mpa para a amostra 2. Já no ensaio de compressão uniaxial, obteve-se uma média de 10,62 Mpa, utilizando 4 amostras cúbicas para se realizar o ensaio, resultados estes que podem ser vistos na tabela 10.

Tabela 10: Comparativo dos resultados da resistência a compressão uniaxial

Resistência a compressão uniaxial		
Ensaio de Esclerômetro		Ensaio de compressão uniaxial
Amostra 1	Amostra 2	Média
31,45 MPa	25,2 MPa	10,62 Mpa

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

6. CONCLUSÃO

A caracterização geomecânica desempenha um papel crucial na engenharia de minas, oferecendo *insights* fundamentais para a estabilidade de escavações subterrâneas e a segurança em minerações a céu aberto. A compreensão das propriedades mecânicas das rochas é essencial para evitar falhas estruturais, otimizar o design de minas e garantir a eficiência operacional.

Em nosso estudo, direcionamos nosso foco para a mineração de ouro em Serrita - PE, onde a rocha encaixante é um xisto alterado. Essa escolha estratégica reflete a importância prática de analisar as características geomecânicas dessa rocha específica, uma vez que ela desempenha um papel crucial nas operações de mineração na região.

Após a realização dos ensaios, foram obtidos resultados significativos sobre as propriedades geomecânicas da rocha em estudo. Entre os ensaios não destrutivos, o ensaio de esclerômetro destacou-se ao fornecer uma estimativa média da resistência à compressão uniaxial, com valores médios de 31,45 MPa para a amostra 1 e 25,2 MPa para a amostra 2. Além disso, permitiu estimar o módulo de elasticidade médio, com valores de 2,24 GPa para a amostra 1 e aproximadamente 1,11 GPa para a amostra 2. Já o ensaio de ultrassom proporcionou uma estimativa de aproximadamente 5,35 GPa para o módulo de elasticidade.

O ensaio de compressão uniaxial, de natureza destrutiva, permitiu calcular a resistência à compressão uniaxial média da rocha, que ficou em torno de 10,62 MPa. As diferenças substanciais entre os valores obtidos pelos ensaios não destrutivos e o ensaio de compressão uniaxial podem ser atribuídas à natureza empírica e dependente de diversos fatores do ábaco de Miller, usado no ensaio de esclerômetro.

Contudo, também não observamos uma concordância notável nos valores do módulo de elasticidade, porém por se tratar de estimativas e calculadas por métodos distintos pelos ensaios não destrutivos, tem-se que os valores nos darão base para próximos estudos, como por exemplo estudos de estabilidade através de modelagem numérica.

Em síntese, nosso estudo fornece uma abordagem abrangente para a caracterização geomecânica da rocha encaixante na mineração de ouro em Serrita - PE, destacando a aplicabilidade de diferentes ensaios e a importância de considerar múltiplas fontes de dados para uma avaliação mais precisa e confiável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYDIN, Adnan; BASU, Arindam. The Schmidt hammer in rock material characterization. **Engineering geology**, v. 81, n. 1, p. 1-14, 2005.

AZEVEDO, Izabel Christina Duarte; MARQUES, Eduardo Antonio Gomes. Introdução à mecânica das rochas. **Cadernos Didáticos**, v. 85, 2002.

BARBOSA, Octavio et al. Geologia econômica de parte da região do médio São Francisco. Nordeste do Brasil. **Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim**, v. 140, p. 97, 1970.

BEURLIN, Hartmut; DA SILVA, Marcelo RR; SANTOS, Roberto B. Dos. Auriferous quartz veins from northeastern Brazil: a fluid-inclusion study. **International Geology Review**, v. 39, n. 7, p. 578-588, 1997.

EBERHARDT, Erik. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006, Resat Ulusay, John A. Hudson (Eds.). Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics. 628pp., € 25 (ISRM members), € 30 (non-members), ISBN: 978-975-93675-4-1. 2009.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. et al. Ingeniería Geológica. [s.l: s.n.].

HOEK, E. & BRAY, J. W. **Rock slope engineering, Institution of Mining and Metallurgy**, London, 358p. 1981.

ISRM - International Society of Rock Mechanics. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15 (6): p. 319-368, 1978

KATZ, Oded; RECHES, Ze'ev; ROEGIERS, J.-C. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. **International Journal of rock mechanics and mining sciences**, v. 37, n. 4, p. 723-728, 2000.

MARINHO, Marcelo de Souza et al. **Evolução estrutural e aspectos petrológicos das ocorrências auríferas de Serrita e Parnamirim, PE**. 2012. Tese de Doutorado.

MONT'ALVERNE, A. A. F. et al. Projeto Serrita-Cedro, Fase I. **Recife, DNPM, 29p**, 1995.

OLIVEIRA, J. R. **Classificação e resistência de juntas rochosas sãs e alteradas**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 149 p. 2017.

OLIVEIRA, Roberto Gusmão de; GALVÃO, Manoel Júlio da Trindade Gomes; FREIRE, Almir Gomes. **Estudo geolétrico no município de Salgueiro (PE): bacia sedimental de cedro e embasamento cristalino adjacente**. CPRM, 1999.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. **OLIVEIRA, AM; BRITO, SNA Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE**, p. 211-226, 1998.

TORRES, H. H. F. et al. Projeto Serrita–Relatório Final de Pesquisa, alvarás 3176/85, 4193/85, 4910/85 e 2750/86. **Recife, CPRM**, v. 1, 1986.

TORRES, Helton H. Falcão; SANTOS, Edilton J. dos. **Projeto Serrita: atividades desenvolvidas em 1982 e programação para 1983**. CPRM, 1983.