



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**ALANE TOMAZ SOARES**

**A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE DESCONTINUIDADES NA LAVRA DE  
ROCHAS ORNAMENTAIS E NA AVALIAÇÃO DE SEU IAEG: UMA ANÁLISE DE  
CASOS**

**CRATEÚS**

**2023**

ALANE TOMAZ SOARES

A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE DESCONTINUIDADES NA LAVRA DE  
ROCHAS ORNAMENTAIS E NA AVALIAÇÃO DE SEU IAEG: UMA ANÁLISE DE  
CASOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Engenharia de Minas  
do Campus Crateús da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito final à obtenção do grau  
de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Emanuel Itaquê de  
Negreiros Moreira.

Coorientador: Prof. Me. Agnaldo Francisco de  
Freitas Filho.

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S652i Soares, Alane Tomaz Soares.  
A influência das estruturas de descontinuidades na lavra de rochas ornamentais e na avaliação do seu IAEG: Uma análise de casos / Alane Tomaz Soares Soares. – 2023.  
67 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2023.  
Orientação: Prof. Me. Emanuel Itaquê de Negreiros Moreira.  
Coorientação: Prof. Me. Agnaldo Francisco de Freitas Filho.
1. Índice de Atratividade Econômico-Geológica. 2. Corte de Blocos . 3. Mineração. I. Título.  
CDD 622
-

À Deus.  
À minha mãe, Silvia, meu pai, Evaldo e minha  
irmã, Ana, pelo incentivo e por sempre estarem  
ao meu lado.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da graduação e por nunca me abandonar.

À minha mãe, Silvia, por todos os momentos que foi meu principal apoio, pelo grande esforço em me fazer alguém, pelas palavras de consolo, pelas orações, por ter vibrado comigo nas alegrias e ter chorado comigo nos momentos de angústia. Ao meu pai, Evaldo, pelo estímulo em sempre seguir em frente. À minha irmã, Ana, que sempre esteve ao meu lado sendo meu braço esquerdo e minha cúmplice. Vocês são a minha base, e sou muito grata por tê-los.

Aos meus irmãos, Bia e Dudu, pela fé que sempre tiveram em mim.

Agradeço pelos momentos de companheirismo e alegrias compartilhados aos amigos que a Universidade me deu: João Pedro, Thalia, Nathalia, Felipe, Helena, Franthesco e Harianne. Ao meu melhor amigo, Bruno, por todo o apoio, pelas palavras de incentivo e por todos os conselhos. Podem ter certeza que vocês tornaram meus dias mais leves, alegres e menos cansativos.

Aos meus orientadores Emanuel Itaquê e Agnaldo pela dedicação e pelo compartilhamento de conhecimentos, além de seu tempo e todo auxílio necessário para elaboração da pesquisa.

A todos, que contribuíram direta ou indiretamente na minha formação acadêmica.

## RESUMO

As rochas ornamentais constituem um insumo muito importante para construção civil, sendo muito utilizado como funções de revestimento, decorativas ou estruturais, se tornando um material muito produzido no Brasil. Por conta da sua alta produção, a ampla recuperação deste bem mineral é de grande interesse do minerador. É imprescindível, então, conhecer as causas que fazem este material ter baixa recuperação. Uma destas causas é a presença de descontinuidades na rocha tais como fraturas, juntas e planos de foliação. Estas estruturas geológicas estão envolvidas desde a etapa prévia de pesquisa na definição do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) à etapa de lavra, pois a presença destas estruturas pode levar a consequências como o redimensionamento dos blocos para dimensões menores, o que diminui a lucratividade da lavra, pois maiores tamanhos de bloco são mais interessantes para o mercado. O propósito desta pesquisa é definir sucintamente os tipos de descontinuidades mais comuns em maciços rochosos e seu modo de formação, além de avaliar sua influência no planejamento e extração de rochas ornamentais. Além disso, objetiva-se na segunda parte deste trabalho trazer casos em que estruturas geológicas interferiram de alguma forma em pedreiras de rochas ornamentais, indicando sua influência no IAEG de cada caso e no corte de blocos na mina. A análise de informações para cumprir tais objetivos, se deu através de revisão bibliográfica narrativa, buscando informações em trabalhos acadêmicos sobre maciços rochosos relacionados à lavra de rochas ornamentais, aplicando, posteriormente, o índice IAEG. Com isso, foi possível concluir que apesar da presença de descontinuidades em rochas ornamentais por vezes prejudicarem sua lavra, a depender das características da rocha e seu local de beneficiamento, estes podem compensar a presença de fraturamento.

**Palavras-chave:** Índice de Atratividade Econômico-Geológica. Corte de Blocos. Mineração.

## ABSTRACT

Ornamental rocks constitute a very important input for civil construction, being widely used as covering, decorative or structural functions, becoming a material widely produced in Brazil. Due to its high production, the broad recovery of this mineral asset is of great interest to the miner. It is essential, therefore, to know the causes that cause this material to have low recovery. One of these causes is the presence of discontinuities in the rock such as fractures, joints and foliation planes. These geological structures are involved from the previous research stage in defining the Economic-Geological Attractiveness Index (IAEG) to the mining stage, as the presence of these structures can lead to consequences such as the resizing of blocks to smaller dimensions, which reduces the mining profitability, as larger block sizes are more interesting for the market. The purpose of this research is to succinctly define the most common types of discontinuities in rock masses and their mode of formation, in addition to evaluating their influence on the planning and extraction of ornamental rocks. Furthermore, the aim of the second part of this work is to present cases in which geological structures interfered in some way in ornamental rock quarries, indicating their influence on the IAEG in each case and on the cutting of blocks in the mine. The analysis of information to fulfill these objectives was carried out through a narrative bibliographic review, seeking information in academic works on rock masses related to the mining of ornamental rocks, subsequently applying the IAEG index. With this, it was possible to conclude that although the presence of discontinuities in ornamental rocks sometimes harms their mining, depending on the characteristics of the rock and its processing location, these can compensate for the presence of fracturing.

**Keywords:** Economic-Geological Attractiveness Index. Block Cutting. Mining.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva tensão-deformação .....	16
Figura 2- Diferença entre um material dúctil e um material frágil.....	17
Figura 3– Teste laboratorial de formação de fraturas de cisalhamento .....	18
Figura 4- Fratura de Cisalhamento .....	19
Figura 5- a. Falha discreta e b. Zona de Falha.....	20
Figura 6 - Fratura extensional: junta.....	21
Figura 7- Fratura extensional: fissura .....	21
Figura 8- Representação esquemática de uma estratificação do tipo rítmica.....	23
Figura 9- Estratificação cíclica .....	23
Figura 10- Tipos de estratificações gradacionais .....	24
Figura 11- Diferentes tipos de acamamentos ou laminações. ....	25
Figura 12- Rotação mecânica dos grãos minerais planares ou alongados.....	27
Figura 13- Mecanismo de deformação nos grãos minerais. ....	28
Figura 14- Zona de Cisalhamento .....	29
Figura 15- Processo de elaboração da pesquisa .....	41
Figura 16- Frente de lavra Sul de onde é extraído o Preto São Marcos .....	46
Figura 17- Chapa polida do granito Dália. ....	48
Figura 18 – Frente de lavra do Maciço 1 .....	49
Figura 19 – Frente de lavra do Maciço 2.....	50
Figura 20 – Maciço 3.....	51
Figura 21 – Maciço 4.....	53
Figura 22 – Amostra de material Giallo São Francisco Real .....	54
Figura 23- Figura de alguns xenólitos e veios encontrados na mina.....	55
Figura 24– Placa polida do granito Marrom Imperial .....	57
Figura 25 – Amostra do granito Brancos Dallas .....	58
Figura 26 – Amostra do granito Juparaná Gold .....	59
Figura 27– Amostra do granito Rain Forest .....	60
Figura 28 – Amostra do granito Meruoca Clássico.....	62



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índices de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) .....	33
Quadro 2 - Aspectos principais a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais .....	35
Quadro 3 - Critérios de decisão na pesquisa de Rochas Ornamentais .....	36
Quadro 4 – Fatores adaptados para composição do IAEG .....	42
Quadro 5- Índice de Aproveitamento Econômico-Geológica obtido nas rochas .....	64
Quadro 6 - Rochas analisadas classificadas como rochas para exportação pelo seu IAEG .....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – IAEG de cada rocha analisada .....	65
Gráfico 2– Principais estados exportadores de rochas ornamentais no 1º semestre de 2023 .	75
Gráfico 3 – Exportações brasileiras de rochas ornamentais por país de destino no 1º semestre de 2023 .....	76

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Geologia Estrutural</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Descontinuidades</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Faturas</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.1</b>	<i>Faturas de cisalhamento</i> .....	<b>18</b>
<b>2.3.2</b>	<i>Faturas de extensão</i> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Estratificação</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Acamamento e laminações</i> .....	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Planos de foliação</b> .....	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Zonas de Cisalhamento</b> .....	<b>29</b>
<b>2.7</b>	<b>Fendas de tração</b> .....	<b>30</b>
<b>2.8</b>	<b>Rochas Ornamentais</b> .....	<b>31</b>
<b>2.9</b>	<b>Geologia estrutural na lavra de rochas ornamentais</b> .....	<b>32</b>
<b>2.10</b>	<b>Setor de Rochas Ornamentais no Ceará</b> .....	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Caso do granito ornamental Preto São Marcos (Casserengue-PB)</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Caso do “Granito Pegmatóide Dália”</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Maciço 1</i> .....	<b>49</b>
<b>4.2.2</b>	<i>Maciço 2</i> .....	<b>50</b>
<b>4.2.3</b>	<i>Maciço 3</i> .....	<b>51</b>

4.2.4	<i>Maciço 4</i> .....	52
4.3	<b>Caso <i>Giallo</i> São Francisco Real</b> .....	53
4.4	<b>Caso Granito Marrom Imperial</b> .....	56
4.5	<b>Caso do granito Branco Dallas</b> .....	57
4.6	<b>Caso do granito Juparaná <i>Gold</i></b> .....	58
4.7	<b>Caso do granito <i>Rain Forest</i></b> .....	60
4.8	<b>Caso do Meruoca Clássico</b> .....	61
4.9	<b>Análise dos IAEGs para os casos estudados</b> .....	62
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70
	<b>ANEXO A – GRÁFICO DOS PRINCIPAIS ESTADOS EXPORTADORES DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2023</b> .....	75
	<b>ANEXO B – GRÁFICO DOS PRINCIPAIS PAÍSES DE DESTINO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS EXPORTADAS NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2023 (POR TONELADA)</b> .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Observando o cenário do setor da mineração, vê-se que o mercado das rochas ornamentais é expressivo e tem demonstrado crescimento constante nacional e internacionalmente, estando entre os produtos mais produzidos e exportados pelo Brasil para funções de revestimento, decorativas ou estruturais (VIDAL et al., 2013; CHIODI FILHO, 2018).

O setor de rochas ornamentais brasileiro tem intensificado seu desempenho ao longo dos últimos 20 anos mediante ao mercado mundial. A evolução do segmento se dá pelo país ser considerado com grande geodiversidade mundial em rochas ornamentais, tendo uma grande variedade de matérias-primas. Além disso, a valorização do mercado brasileiro de rochas ornamentais advém da grande exportação de chapas para o mercado internacional, além de ser recorrente o encontro de materiais exóticos (SANTOS, 2022).

No primeiro semestre do ano de 2023, no comércio brasileiro de rochas ornamentais, o Ceará foi eleito como o terceiro maior exportador do Brasil ficando atrás apenas dos Estados do Espírito Santo e Minas Gerais. No Anexo A, são especificados os principais estados brasileiros exportadores de rochas naturais do 1º semestre de 2023 por dólar faturado e no Anexo B são especificadas as exportações brasileiras de rochas naturais, por país de destino no mesmo período por tonelada exportada (ABIROCHAS, 2023).

Cerca de 70% da produção mundial de rochas ornamentais é transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% são desdobrados para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% voltados para outros campos de aplicação. O mercado de rochas ornamentais envolve a comercialização de produtos acabados ou semi-acabados (SOUZA, 2008).

Durante o processo de exploração geológica de depósitos de rochas ornamentais, são levados em conta critérios de dimensão, homogeneidade e presença de descontinuidades. As descontinuidades que se fazem presentes em maciços rochosos são definidas de tal forma por interromper a continuidade física de uma formação rochosa. Estas estruturas podem surgir de forma natural, devido às rochas que constituem a crosta terrestre estarem submetidas a um grande número de forças ou de forma artificial, devido ao desmonte de rochas por explosivos. As principais descontinuidades encontradas em formações rochosas são as falhas, juntas, estratificações, planos de foliação, zonas de cisalhamento, fendas de tração e veios ou diques (FIORI, 2015).

Com efeito, nas lavras de rocha ornamental a presença destas descontinuidades influencia diretamente no tamanho dos blocos extraídos e no percentual de recuperação, pois grandes distâncias entre as descontinuidades resultam no corte de blocos de grandes dimensões. A interseção de descontinuidades leva à formação de blocos *in situ* (blocos individuais separados em uma rocha compacta). Também, se os parâmetros de distância e ângulos de mergulho das descontinuidades estiverem variando intensamente, o material extraído pode ser realocado para utilização em produtos de baixo valor (MOSCH, et al., 2011). Feições como lineação, foliação, xistosidade, afeta o desenvolvimento da lavra, pois suas orientações determinam as direções de menor resistência à partição do maciço, influenciando na extração dos blocos (GIORGIO, 2003).

Sabendo da importância deste setor, faz-se importante conhecer técnicas e formas para maior recuperação desse bem mineral. O avanço tecnológico permitiu uma evolução nas etapas de lavra e beneficiamento. Porém, muitos problemas ainda infringem as lavras relacionados a presença de descontinuidades, o que frequentemente acabam levando o minerador a ter prejuízos devido a fatores de produção de blocos menores, perda de material e passivos ambientais.

Destaca-se nesta pesquisa a definição sucinta de cada uma das descontinuidades que prejudicam a continuidade de um maciço rochoso, bem como sua origem de formação. Feita esta definição, são descritas as formas que estas estruturas geológicas afetam desde a prospecção à lavra de rocha ornamental visando auxiliar no planejamento da produção de rochas ornamentais e otimizar sua produção.

## **1.1 Justificativa**

A presença de estruturas geológicas nos maciços voltados para rochas ornamentais representa um impasse no aproveitamento da lavra. Estas estruturas influenciam na qualidade e tamanho dos blocos de rocha extraídos, na direção da extração e no método de extração.

Visto a problemática relacionada a tal influência, esta pesquisa procura mostrar as principais estruturas que acometem os maciços de rocha detalhando a forma como influenciam na lavra, buscando trazer formas de identificá-las no corpo rochoso, a fim de encontrar meios de evitar que ocorra elevado custo de lavra, geração de passivos ambientais pela presença de estéreis, menor lucro para a empresa mineradora e o provável encerramento das atividades de lavra.

## 1.1 Objetivo Geral

Definir sobre os tipos de descontinuidades mais comuns em maciços rochosos e avaliar sua influência no planejamento e extração de rochas ornamentais.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Dissertar os modos pelos quais as estruturas geológicas se formam em maciços.
- Descrever, baseado na análise da literatura, casos em que o fraturamento em maciços de rochas ornamentais influenciou ou prejudicou as atividades de lavra.
- Indicar a influência das estruturas no corte de blocos na mina.
- Classificar diferentes casos de rochas ornamentais de acordo com seu Índice de Atratividade Econômico Geológica (IAEG) e verificar a influência das descontinuidades nessa categorização.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Embora o padrão estético seja levado em consideração para o sucesso na extração nas lavras de rochas ornamentais, a intensidade de descontinuidades presentes em um maciço rochoso possui grande influência neste tipo de lavra, decidindo, em diversos casos, como ocorrerá a recuperação dos blocos extraídos (GIORGIO et al., 2003). Com base nisso, neste capítulo serão explanados conceitos de geologia estrutural, serão abordados os principais tipos de descontinuidades existentes em maciços rochosos, assim como sua origem, causas e indícios e sua influência na lavra de rocha ornamental.

### **2.1 Geologia Estrutural**

Geologia Estrutural é o ramo da geologia com enfoque no estudo de falhas, dobras e quaisquer estruturas deformacionais presentes na litosfera onde é investigado com profundidade a ocorrência e o modo de formação das mesmas. Estas estruturas podem variar de detalhes microscópicos a muitos quilômetros de extensão, podendo ocorrer por diversos contextos e variadas condições de esforço e deformação. A geologia estrutural está presente na análise da geometria, da distribuição e formação das estruturas (FOSSEN, 2017).

Ademais, as estruturas podem trazer consigo informações de suas deformações ao longo do tempo e sua interpretação, a partir da análise estrutural, auxilia no bom aproveitamento dos mais diversos recursos minerais. A análise estrutural contribui com o observador a inferir a forma original e encontrar explicações de como e porque uma rocha adquiriu determinada forma (FOSSEN, 2017).

### **2.2 Descontinuidades**

O termo descontinuidade engloba qualquer entidade que interrompa a continuidade física de uma formação geológica. Estas entidades podem surgir de forma natural, relacionadas a aspectos tectônicos, ou artificiais, devido ao desmonte de rochas por explosivos. As principais características das descontinuidades estão relacionadas a orientação, espaçamento, persistência,



rugosidade, enchimento, percolação nas descontinuidades e o estado de meteorização das paredes (FIORI, 2015).

As descontinuidades presentes em maciços rochosos são classificadas em vários tipos, como falhas, juntas, estratificações, planos de foliação, zonas de cisalhamento, fendas de tração e veios ou diques. Estas deformidades estruturais estão diretamente relacionadas à redução da resistência mecânica do maciço causada pela alteração das rochas por meio de processos magmáticos, metamórficos ou intempéricos (FIORI, 2015).

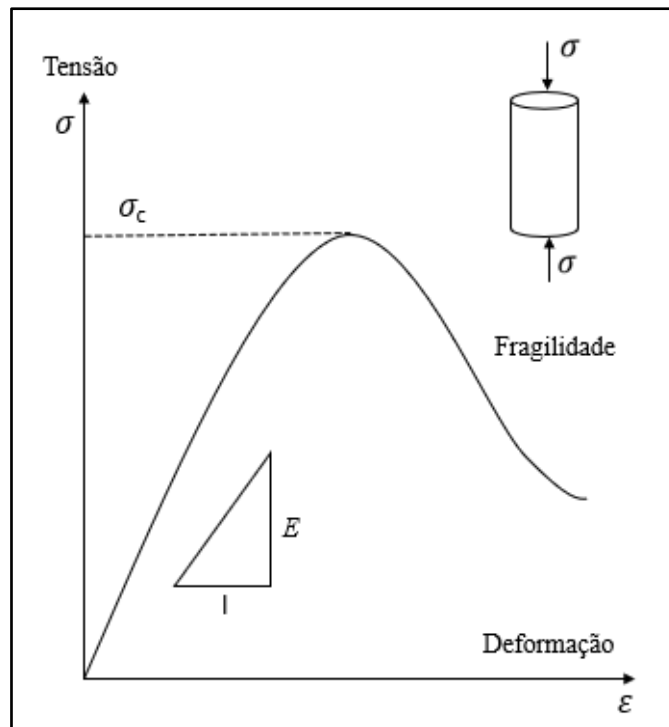
As deformações que se fazem presentes em maciços rochosos ocorrem devido à possibilidade das rochas que constituem a crosta terrestre estarem submetidas a um grande número de forças relacionadas tanto a processos exógenos, quanto endógenos. Independente da escala considerada e do tipo de força atuante, de forma geral, sempre haverá o deslocamento e a deformação destes materiais por meio destes esforços. Assim, um deslocamento ocorre quando as forças que atuam sobre o material rochoso produzem uma mudança de posição em relação a determinado ponto original, implicando que ocorre distanciamento em uma, duas ou três posições do espaço. As deformações, por sua vez, ocorrem quando uma força atua sobre o material rochoso e este muda sua forma e/ou tamanho (FOSSSEN, 2017).

### 2.3 Fraturas

As rochas, devido a sua natureza não artificial, apresentam defeitos estruturais - descontinuidades - devido a características como sua variada composição mineralógica, orientações de minerais, porosidade e microfissuração, grau de alteração, etc. Essas características se refletem nas propriedades físicas e mecânicas heterogêneas, descontínuas e anisotrópicas, que governam a resposta do maciço rochoso em relação às forças atuantes (VALLEJO et al., 2004). Suas propriedades mecânicas, assim como sua suscetibilidade à penetração de água e efeitos intempérics, podem ser afetados por eventos geológicos subsequentes (HUDSON; HARRISON, 1997).

O comportamento mecânico da rocha pode ser explicado a partir da curva tensão-deformação (*stress-strain*) em compressão uniaxial. Na figura 1, é possível identificar a curva tensão-deformação para uma amostra de rocha sendo comprimida em uma direção. Observa-se que o eixo horizontal (eixo x) sendo representado pela deformação, que é a mudança relativa no comprimento do corpo de prova, e o eixo vertical (eixo y) é a tensão, que é a carga por unidade de área (HUDSON; HARRISON, 1997).

Figura 1- Curva tensão-deformação



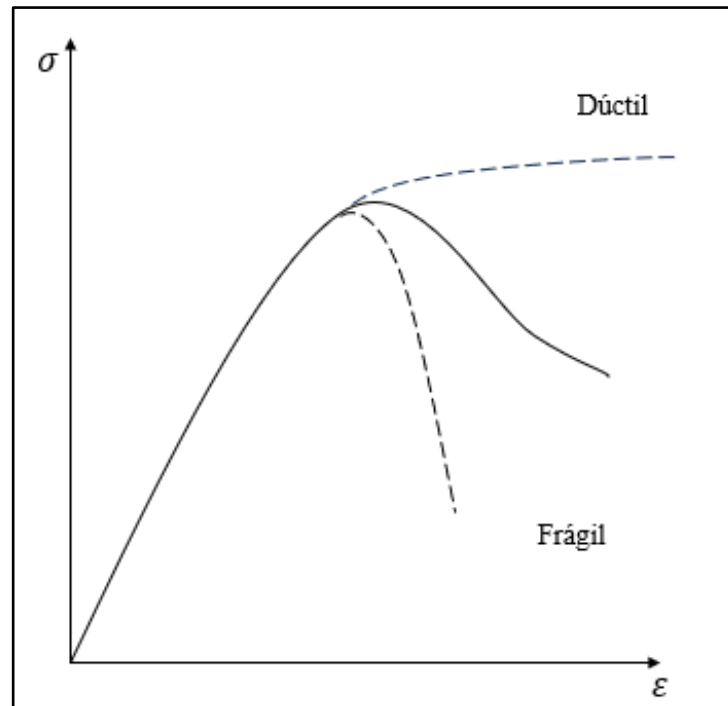
Fonte: Modificado de Hudson & Harrison (1997)

Existem várias características a serem levadas em consideração, começando pela letra  $E$  no diagrama representando o Módulo de Young da rocha. Este, por sua vez, trata-se da razão entre a tensão aplicada em um corpo (força por unidade de área) e variação relativa do mesmo (HESSEL et al., 2016). Faz referência em como o corpo se deforma e como se comporta durante a aplicação de esforços. Um alto valor deste módulo implica em um material rígido, com a parte inicial da curva íngreme; para materiais de baixo módulo, ou seja, macios, a curva será suave. Outra característica é a linha pontilhada na curva, referindo-se a resistência à compressão, sendo o máximo de estresse que o corpo pode sustentar.

A terceira característica é uma medida de fragilidade sendo a inclinação da parte descendente da curva. Conforme ilustra a Figura 2, existem 2 casos principais. O primeiro seria aquele comportamento onde, após a resistência à compressão ser atingida, esta continua no mesmo nível de tensão (um material dúctil). Outro caso ocorre quando há uma queda no nível

de tensão para zero no mesmo valor de deformação (um material frágil). A fragilidade está indicada pela inclinação da curva entre os limites tracejados.

Figura 2- Diferença entre um material dúctil e um material frágil



Fonte: Modificado de Hudson & Harrison (1997)

A forma da curva de tensão-deformação das rochas, como já mencionado, é ditado pela natureza da microestrutura (HUDSON; HARRISON, 1997).

No pré-pico da Figura 1, o material se comporta de forma aproximadamente elástica, não absorvendo energia. As rochas, em sua maioria, não apresentam essa característica. Este comportamento permite que eles reajam ao carregamento instantaneamente suportando qualquer nível de estresse. No entanto, as rochas não possuem este comportamento, e ao serem expostas a esforços, estas acarretam em sua quebra e no aparecimento do comportamento mecânico frágil. A consequência dessas quebras é dupla:

- (a) Por meio de processos naturais, a rocha in situ pode já ter sofrido fraturamento, ocasionando a formação de falhas e juntas;

- (b) O aparecimento de falhas e juntas representam ‘elos fracos’ na estrutura rochosa (HUDSON; HARRISON, 1997).

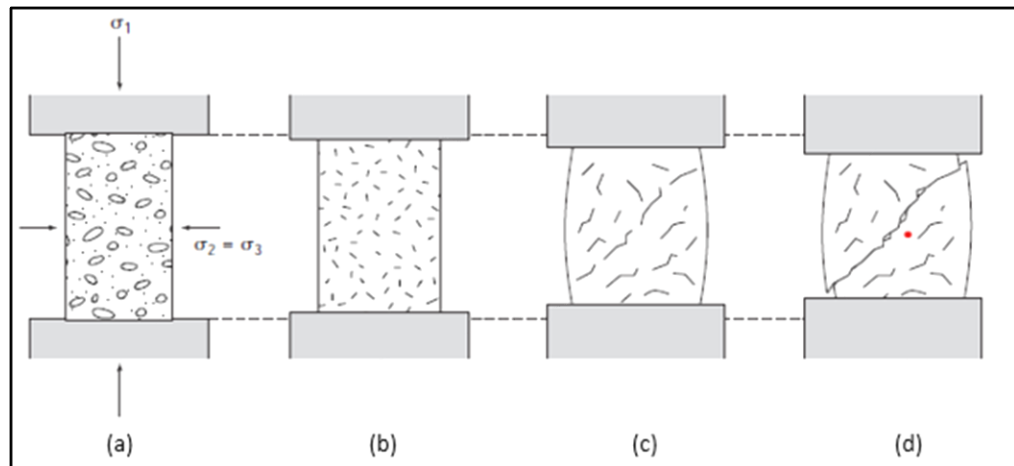
Fraturas podem ser classificadas como fraturas de cisalhamento e fraturas abertas ou de extensão. São definidas como quaisquer descontinuidades planas ou sub planas, voltadas a uma direção em relação às outras duas. Possuem características de representarem descontinuidades nas propriedades mecânicas e deslocamentos físicos no local de rompimento da rocha. As fraturas são formadas tanto por esforços externos, quanto por esforços internos no maciço rochoso, causando redução e/ou perda da coesão (FOSSSEN, 2017). A seguir, serão discutidos esses dois tipos de fraturas.

### **2.3.1 Fraturas de cisalhamento**

Fraturas de cisalhamento, ou falhas, são estruturas que ocorrem quando uma rocha perde sua continuidade, onde a tensão de cisalhamento paralela à superfície é excessivamente grande. O atrito resiste ao deslizamento durante sua formação, pois há uma componente de tensão normal atuando na superfície da fratura. Ao haver continuidade desta tensão de cisalhamento sob esta superfície, a força excede a resistência que o atrito oferece, fazendo com que a fratura cresça e o deslocamento se acumule (MARSHAK; PLUIJM, 2004).

Buscando o entendimento do processo de formação deste tipo de estrutura, pesquisadores criaram um teste laboratorial que consiste na geração de rupturas de cisalhamento durante experimento de carga axial usando um cilindro de rocha sob pressão confinante como demonstrado na Figura 3. Em 3(a) demonstra-se o estado de pré-deformação mostrando rachaduras abertas de Griffith; em 3(b) a compressão começa e o volume diminui devido ao fechamento da fissura; 3(c) ocorre a propagação e dilatação de fissuras (aumento de volume); em 3(d) a fusão de fissuras ao longo da amostra passa por fratura de cisalhamento, seguida de perda de coesão da amostra (falha mesoscópica) (MARSHAK; PLUIJM, 2004).

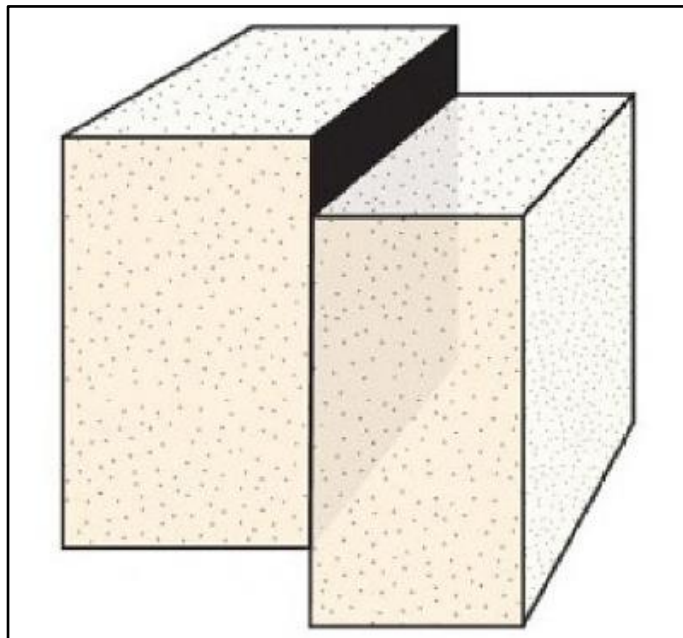
Figura 3– Teste laboratorial de formação de fraturas de cisalhamento



Fonte: Adaptado de Marshack & Pluijm (2004)

De acordo com Fossen (2017), uma falha é qualquer superfície ou faixa estreita onde é visível um deslocamento causado por cisalhamento paralelo à sua superfície, como é possível ver na Figura 4. Este tipo de estrutura geológica se apresenta como estruturas mais bem desenvolvidas, com 1 metro ou mais de extensão.

Figura 4- Fratura de Cisalhamento

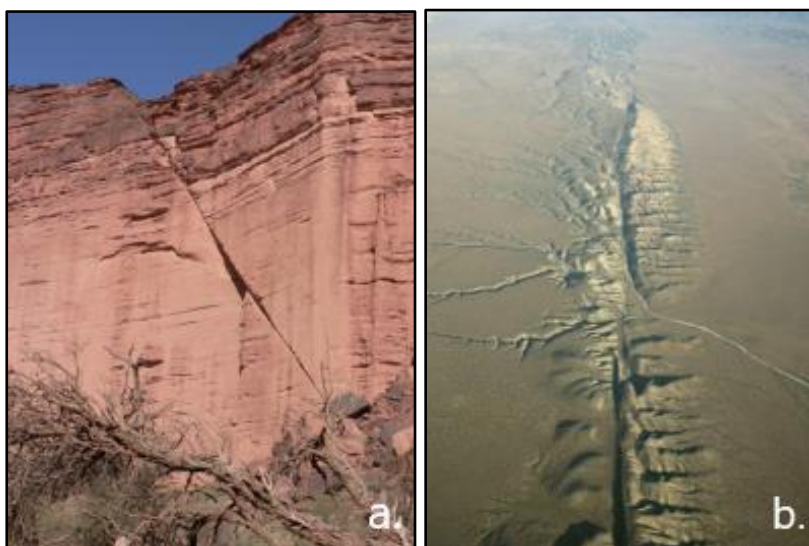


Fonte: Fossen (2017)

Como alguns profissionais usam a mesma definição para fraturas de cisalhamento, estas são redefinidas como microfalhas por atingir estruturas de pequeno porte de escala milimétrica e até mesmo centimétrica. Geralmente, ocorrem em rochas que apresentam comportamento

frágil e ao serem sujeitas a ação de uma força, se esta aplicar-se de forma extrema, a estrutura pode vir a fraturar. Estas deformações podem ocorrer como superfícies discretas (Figura 5.a) ou como zonas de falha (Figura 5.b) com várias superfícies conjuntas, geralmente subparalelas.

Figura 5- a. Falha discreta e b. Zona de Falha



Fonte: Maxwell, [s.d.]

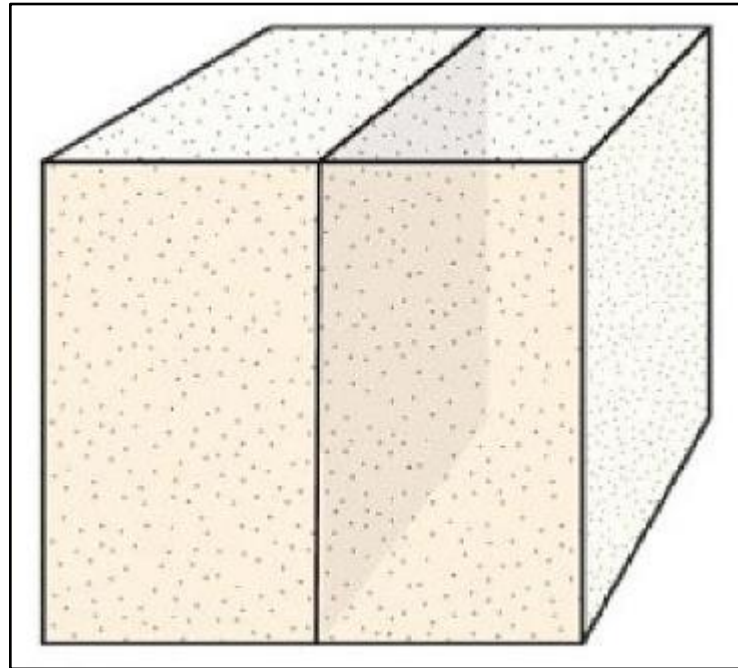
É possível fazer o reconhecimento de falhas através de alguns critérios como deslocamento de unidades estratigráficas ou geológicas, formação de texturas e estruturas lineadas que surgem do atrito do deslocamento entre as superfícies da falha (TWISS; MOORES, 1992).

### 2.3.2 *Fraturas de extensão*

Segundo Fossen (2017), fraturas de extensão são fraturas que apresentam deslocamento perpendicular às paredes. Podem ser preenchidas com água, magma, minerais, gases ou hidrocarbonetos. Estas estruturas são classificadas como juntas e fissuras.

As juntas, também denominadas de diáclases, são fraturas que apresentam uma abertura perpendicular quase imperceptível às suas paredes, com nenhuma quantidade de rejeito de cisalhamento ou com rejeito desprezível. A maioria das juntas (Figura 6) possuem pequenos deslocamentos através de sua superfície, sendo classificadas como fraturas extensionais estreitas. Caracterizam-se pela pequena magnitude de deformação (FOSSSEN, 2017).

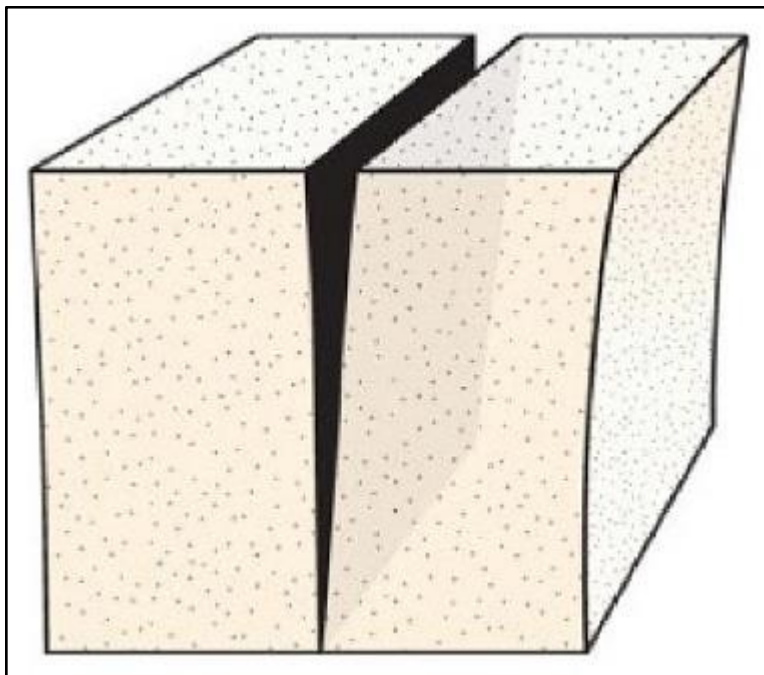
Figura 6 - Fratura extensional: junta



Fonte: Fossen (2017)

As fissuras (Figura 7), são fraturas extensionais abertas com profundidade de até centenas de metros e quilômetros de extensão. Estas caracterizam-se por serem preenchidas por fluidos como água, ar e hidrocarbonetos (FOSSSEN, 2017).

Figura 7- Fratura extensional: fissura



Fonte: Fossen (2017)

As fraturas extensionais contém esforços principais máximo e intermediário sob condições de tração e de modo paralelo ao eixo de compressão. São típicas de deformação sob baixíssima pressão confinante, formadas sob pequeno esforço diferencial. Outros tipos de fraturas são os veios e diques ou *sills* que são fraturas extensionais, respectivamente, preenchidas por minerais e por magma (FOSSSEN, 2017).

Veios são fraturas preenchidas com cristais minerais que precipitam uma solução aquosa. Quartzo ou calcita formam o enchimento dos veios, porém outros minerais podem ocorrer, incluindo minerais de minério, zeólitas e clorita. Alguns veios iniciam-se como juntas, outros como falhas ou fissuras adjacentes a falhas. Os veios são encontrados em diversas dimensões, desde a mais estreitos e curtos a metros de diâmetro e dezenas de metros de comprimento (MARSHACK; PLUIJM, 2004).

## 2.4 Estratificação

O conceito de estratificação está relacionado à espessura de sedimentos depositados sob condições físicas constantes. Não sendo esta, uma estrutura exclusiva de rochas sedimentares, podendo ocorrer, também, em rochas magmáticas como o basalto (SUGUIO, 2003).

O material depositado pode ser caracterizado pela distribuição de suas características sedimentares deposicionais, sendo homogêneos ou variáveis seguindo um padrão. Assim como,

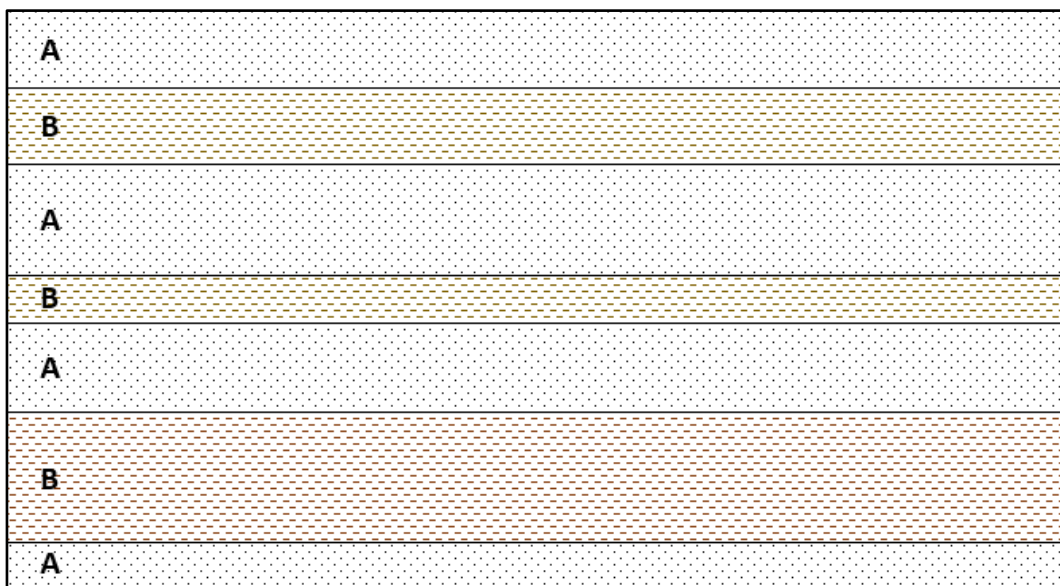


pela presença de superfícies limitantes que podem ser de origem primária deposicional ou erosiva.

O material que possui padrão sedimentológico organizado são classificados em rítmicos (Figura 8), quando existe alternância entre dois tipos de litologia (do tipo ABAB...); cíclicos (Figura 9), quando há alternância de mais de duas litologias (do tipo ABCBA...). Também podem ser classificados como gradados (Figura 10: (A) estratificação simples com gradação contínua e boa separação; (B) gradação pouco conspícua com separação pobre; (C) gradação descontínua (interrompida) com mistura de termos finos; (D) gradação descontínua com parte de granulação média (E) gradação múltipla ou recorrente; (F) gradação simétrica normal (parte inferior com gradação inversa); (G) gradação simétrica invertida e (H) gradação múltipla com unidade simétrica normal na base, em que apresentam mudança gradual de granulometria.) (TEIXEIRA et al., 2001).

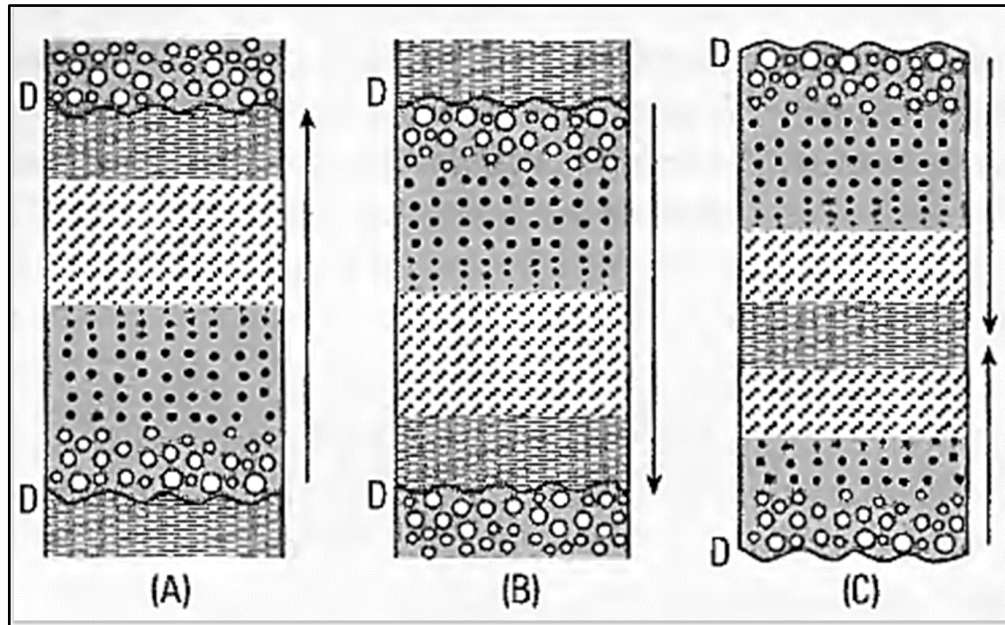
As alternâncias do tipo cíclicas classificam-se como positiva (Figura 9-A) quando um componente litológico passa de uma granulometria grossa para a fina da base para o topo, quando ocorre o contrário classifica-se como negativa (Figura 9-B) e quando as sequências negativas e positivas (ou vice-versa) forem seguidas (Figura 9-C), são classificadas como simétricas (SUGUIO, 2003).

Figura 8- Representação esquemática de uma estratificação do tipo rítmica



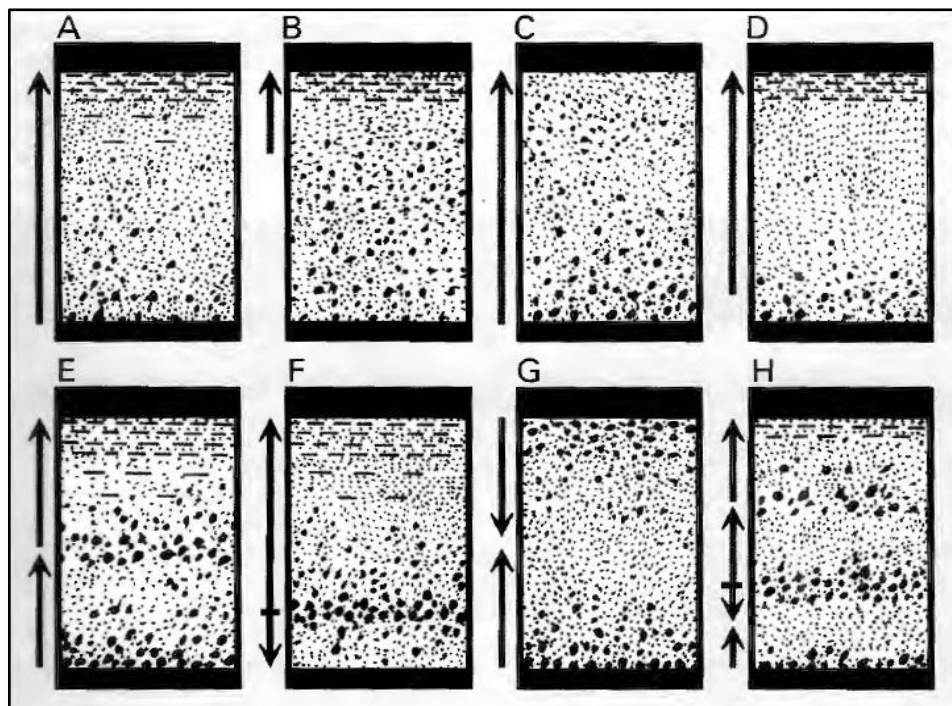
Fonte: Autoria própria

Figura 9- Estratificação cíclica



Fonte: Suguio (2003)

Figura 10- Tipos de estratificações gradacionais



Fonte: Suguio (2003)

Este tipo de estrutura pode originar-se de duas maneiras diferentes: no primeiro caso, a partir da pausa na deposição sedimentar ligada a mudanças nas condições de deposição como energia e aporte, formando-se num só tempo. No segundo caso de formação, a estratificação é diácrona, onde ocorre a seleção de grãos de diferentes tamanhos sob constância na energia e

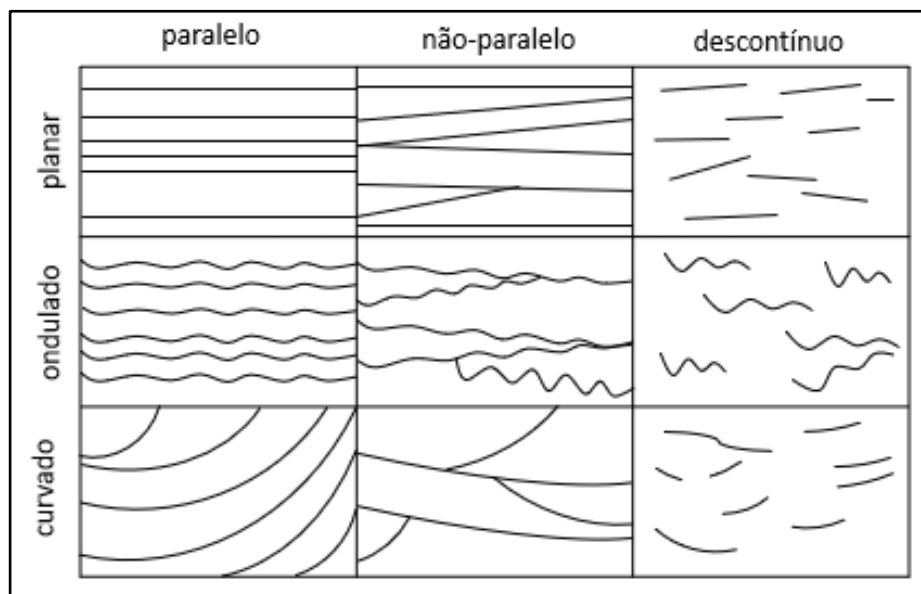
aporte (TEIXEIRA et al., 2001). As estratificações fazem parte do grupo das estruturas deposicionais (TUCKER, 2003).

#### 2.4.1 Acamamento e laminações

A estratificação (camada) pode variar de espessura, medindo desde milímetros até dezenas de metros, todavia é mais comum medir centímetros. Em casos em que as camadas são homogêneas, com escala de centímetros, são denominadas de acamamentos. Em outros casos, quando as camadas são milimétricas, com unidades menores, são denominadas de lâminas ou laminações (SUGUIO, 2003).

Estas estruturas são caracterizadas por suas mudanças no padrão de sedimentação, no tamanho do grão do sedimento, cor ou mineralogia. Como ilustrado na Fig. 11, variam sua forma em planos, ondulados e curvos, podendo ser paralelos entre si, não paralelos ou descontínuos (TUCKER, 2003). Quando há uma superposição de duas ou mais camadas de naturezas semelhantes ou diferentes, então, ali existe uma sequência de camadas. Estas sequências podem ser classificadas de acordo com a composição de cada camada; quando constituídas de duas ou mais camadas semelhantes são definidas como simples, e quando se constituem de duas ou mais camadas de natureza diferente, se definem como compostas.

Figura 11- Diferentes tipos de acamamentos ou laminações.



Fonte: Modificado de Tucker (2003)

A ocorrência de estratificações é determinada por diversos fatores que envolvem mudanças de granulação, de composição, de morfometria das partículas, orientação de partículas e intercalação de lâminas argilosas. Em relação à mudança de granulação do sedimento, essas variações estão, em geral, ligadas às flutuações nas velocidades das correntes eólicas ou aquosas ou às características da fonte dos sedimentos. A diferença entre a granulação dos estratos, por vezes, é tão pequena que só podem ser detectadas microscopicamente. A causa mais óbvia da existência de estratificação é a mudança de composição mineralógica, podendo estar relacionada às variações das correntes eólicas ou nas propriedades da fonte do estrato. A mudança de morfometria das partículas é a diferença das formas destas que podem apresentar diferentes graus de arredondamento.

A orientação das partículas também é um importante fator a ser observado, pois em casos que a orientação é caótica a estratificação não é considerada. Em algumas rochas, tais como arenitos e calcários, a estratificação é atribuída às intercalações de lâminas argilosas acumuladas durante a ausência de correntes. A maioria das camadas são depositadas originalmente na posição horizontal (SUGUIO, 2003).

## **2.5 Planos de foliação**

Conforme Tarbuck e Lutgens (2005), foliação refere-se a qualquer arranjo plano (ou quase plano) dos grãos minerais ou características estruturais dentro de uma rocha. Mesmo sendo uma estrutura que pode ser encontrada em alguns tipos de rochas sedimentares e até mesmo em rochas ígneas, este tipo de característica ocorre fundamentalmente em rochas que já passaram por metamorfismo regional em unidades de rochas que já foram dobradas e muito deformadas. A foliação é causada, em ambientes metamórficos, através de tensões compressivas que encurtam os maciços rochosos, fazendo com que os minerais e as rochas pré-existentes desenvolvam alinhamentos paralelos ou quase paralelos.

Para tais estruturas, podem ser citados exemplos como: o alinhamento dos minerais de hábito planar e/ou alongadas de forma paralela; o alinhamento paralelo de minerais e bordas achatadas; aparência laminar de bandas composicionais de minerais escuros e claros; e por fim, a ardósia quando em superfícies paralelas as rochas são separadas facilmente em camadas finas e tabulares (TARBUCK; LUTGENS, 2005).

Os diferentes tipos de foliação podem ser formados de diversas maneiras, como:

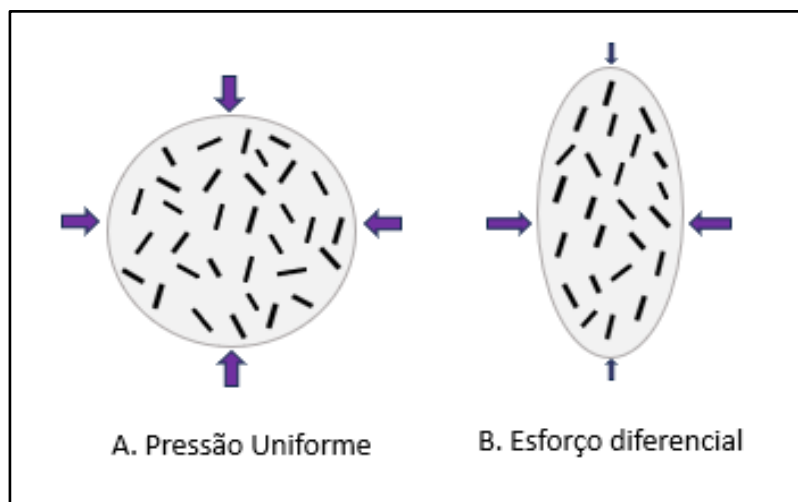
1. Ocorrendo a rotação dos grãos minerais de hábito planar ou alongados para nova orientação.

2. Recristalização de minerais com formação de novos grãos na direção da orientação preferencial.
3. Alinhamento em uma orientação preferencial com as mudanças de forma em grãos equidimensionais a formas alongadas.

Na Figura 12 são ilustrados os mecanismos pelos quais os minerais giram de forma alongada ou planar. Em “A.” Os grãos minerais mantêm sua forma se a força é aplicada de forma uniforme. Em “B.”, como a tensão diferencial faz com que a rocha seja esmagada, os grãos minerais rotacionam em direção ao plano de achatamento.

Nota-se que o novo alinhamento é mais ou menos perpendicular em direção ao máximo encurtamento. Os mecanismos que modificam as formas dos minerais são importantes para o desenvolvimento da orientação rochosa que contém minerais como quartzo, calcita e olivina.

Figura 12- Rotação mecânica dos grãos minerais planares ou alongados



Fonte: Modificado de Tarbuck & Lutgens (2005)

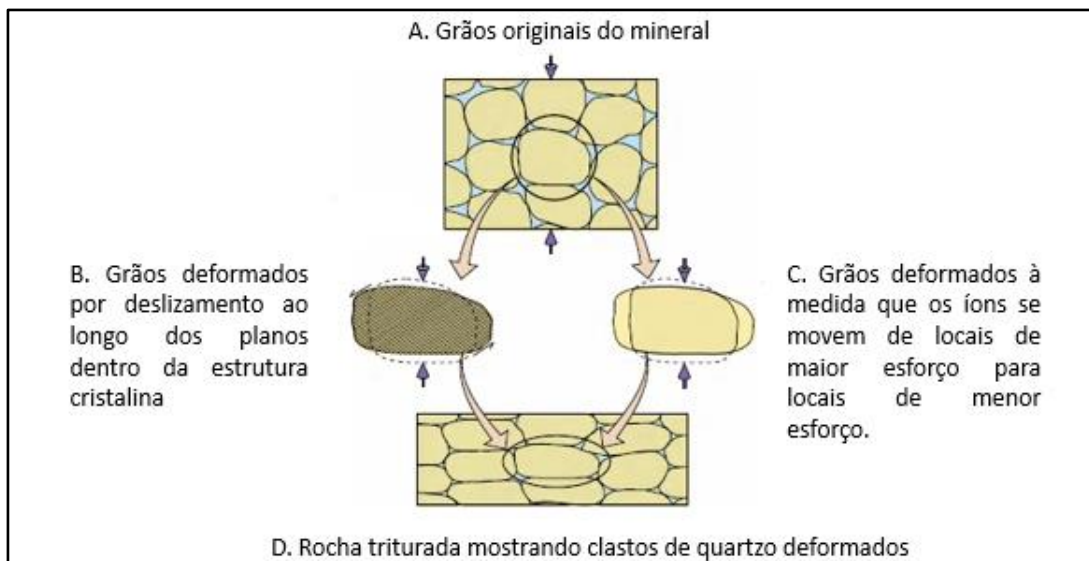
A pressão atuante sobre os minerais desenvolve grãos alongados que se alinham a uma direção paralela ao esmagamento máximo. Este tipo de deformação ocorre em ambientes de alta temperatura em que se predomina a deformação dúctil, oposta a fratura rúptil.

A deformação dúctil (esmagamento) dos grãos minerais mais ou menos equidimensionais ocorre de duas maneiras. O primeiro mecanismo é um fluxo plástico de estado sólido que envolve deslizamento intercrystalino de unidades individuais dentro de cada grão. O

segundo mecanismo envolve a dissolução do material de áreas de esforço levantado e a deposição desse material em locais de baixa esforço. Ambos os mecanismos mudam a forma dos grãos, mas o volume e composição de cada grão permanece, em essência, o mesmo. Tais mecanismos de deformação são demonstrados na Figura 13. Essas deformações ocorrem em ambientes de elevada temperatura em que se predomina a deformação dúctil.

A forma dos grãos minerais pode mudar através do deslizamento de unidades de estrutura cristalina em relação a outros ao longo de planos específicos, como mostrado na Figura 13B. Estes deslizamentos alteram a rede cristalina do mineral à medida que as posições mudam de átomos ou íons. Ademais, a forma de um mineral pode mudar à medida que os íons se movem de um ponto com grande pressão para um ponto do grão com menor pressão (Figura 13C). A deformação ocorre devido a transferência de massa de um lugar para outro (TARBUCK; LUTGENS, 2005).

Figura 13- Mecanismo de deformação nos grãos minerais.



Fonte: Modificado de Tarbuck & Lutgens (2005)

Ainda de acordo com Tarbuck e Lutgens (2005), existem diversos tipos de foliação dependendo do grau de metamorfismo e da mineralogia da rocha original, sendo as principais: ardósiana, xistosidade e bandamento gnáissico. O tipo de foliação ardósiana refere-se a superfícies planas compactas em que as rochas ao serem atingidas por martelo, se separam em finas camadas tabulares. Em um ambiente metamórfico de baixo grau, forma-se quando os

estratos passam por metamorfismo e dobramentos para formar uma superfície plana. A xistosidade é formada através de elevadíssima pressão e temperatura onde pequenos grãos de mica e clorita iniciam processo de crescimento de forma a serem observados a olho nu, exibindo estrutura planar ou lamelar, dando origem a rochas denominadas xistos.

Em um ambiente metamórfico de alto grau ocorre a formação de bandamentos gnáissicos, com as migrações iônicas, onde é causada a segregação de minerais em que os cristais escuros de biotita e silicatos leves como quartzo e feldspato são separados, o que dá a rocha a aparência bandada; rochas com esta textura são denominadas de gnaisses, sendo caracterizadas por não se separarem em planos.

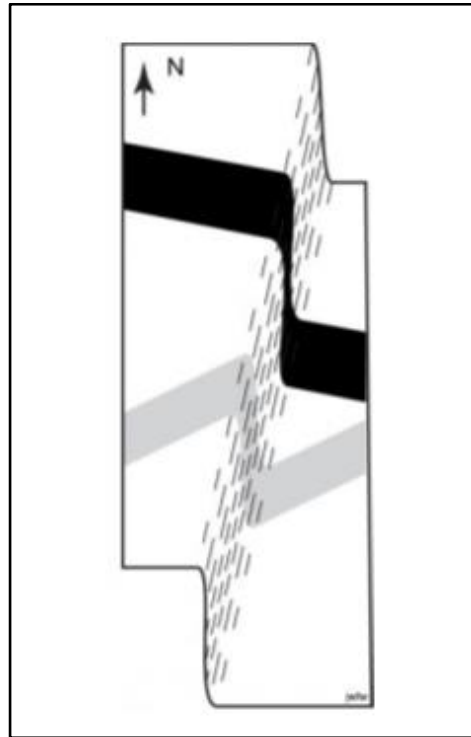
## 2.6 Zonas de Cisalhamento

Geralmente as deformações nas rochas não são distribuídas de forma homogênea. A concentração de deformações em zonas planas que movimentam blocos de rocha relativamente rígidos é um dos padrões mais comuns das deformações heterogêneas. As deformações em tais zonas de alta tensão refletem o deslocamento lateral da parede rochosa em relação aos outros através do componente de rotação, quando este existir. Estas zonas de alta deformação são denominadas como zonas de cisalhamento (Figura 14).

As deformações nestas zonas causam o desenvolvimento de características estruturais e na assembleia mineral, refletindo as condições de pressão e temperatura, tipo de fluxo, movimentação e a história da deformação na zona de cisalhamento (PASSCHIER; TROUW, 2005). Nas zonas de cisalhamento, a natureza das deformações varia com a profundidade, a temperatura, tipo de rocha e diversos outros fatores (TROUW; PASSCHIER; WIERSMA, 2010).

As zonas de cisalhamento são subdivididas em zonas frágeis ou falhas, e em zonas de cisalhamento dúcteis. Sendo, em geral, as zonas dúcteis ativas em condições metamórficas mais altas do que as de cisalhamento frágil. Estas podem formar-se em mármore em condições metamórficas em que os quartzitos se deformam pela presença de falhas (PASSCHIER; TROUW, 2005).

Figura 14- Zona de Cisalhamento



Fonte: Waldron e Snyder (2020)

As principais zonas de cisalhamento, por vezes, podem estar ativas por consideráveis períodos de tempo, podendo então, o material no local da zona ser transportado para cima ou para baixo na crosta. Como consequência da movimentação, as rochas mostram evidências dos diversos estágios de atividade em diferentes condições metamórficas. No entanto, zonas menores também podem apresentar evidências de movimentações, pois mesmo pequenas, uma vez formadas, são ativadas facilmente (PASSCHIER; TROUW, 2005).

Para rochas deformadas em zonas de cisalhamento parcialmente independente de sua litologia, é usada uma terminologia especial em que são referidas como rochas de falha, mesmo formando-se em zonas de cisalhamento dúctil. Os tipos mais comuns de rochas de falha são os milonitos e os gnaisses (PASSCHIER; TROUW, 2005).

## 2.7 Fendas de tração

Segundo Fiori (2015), as fendas de tração são feições que têm como características principais o seu período de formação recente e sua localização nas partes superiores dos taludes. Este tipo de estrutura é uma feição de instabilidade que age como grande indicador do iminente deslizamento de massa rochosa ou de solo de um talude (BRASIL, 2007).



Fenda de tração é uma das descontinuidades comuns que causam rupturas planares e consequentemente o deslizamento de blocos de rocha em taludes. Tais rupturas ocorrem em situações em que as famílias de descontinuidades ali presentes possuem mergulho paralelo na direção da face do talude. O deslizamento ocorrerá quando a estruturas forem aflorantes e possuírem inclinação com ângulo maior que o ângulo de atrito interno da descontinuidade e menor que o mergulho da face livre do talude (CAMPOS, 2020).

## 2.8 Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais são materiais rochosos utilizados como materiais de revestimento, decorativos ou estruturais, depois de beneficiados (VIDAL et al., 2013). Com o desenvolvimento tecnológico nas operações de lavra e beneficiamento, se fez possível realizar o desdobramento de grandes blocos de rocha até chapas de 20 mm, sendo passíveis de, ao serem serradas e polidas, poderem ser utilizadas na construção civil como revestimento de paredes, pisos, confecção de pias e outros objetos semelhantes (FERREIRA, 2004).

As rochas para ornamentação representam um exemplo de produto natural, enquadrado como produto comercial, caracterizado, principalmente, pelos seus atributos estéticos diferenciados, a partir da combinação de estruturas, texturas e padrões cromáticos (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

Comercialmente, a grande variedade e os diversos tipos de rochas são agrupados em duas categorias:

- “Granitos”: esta designação abrange as rochas silicáticas, tais como ígneas e metamórficas, independentemente da cor e tipificação.
- “Mármore”: engloba quaisquer rochas passíveis de polimento, tais quais as rochas carbonáticas de origem sedimentar como os calcários ou metamórficas (mármore) (VIDAL et al., 2013).

Com o passar do tempo, o uso, as variedades dos materiais pétreos e as tecnologias associadas evoluíram e as designações citadas se ampliaram englobando agora quartzitos, arenitos, calcários, travertinos e ardósias, cada qual objeto de normalização e especificações próprias (VIDAL et al., 2013).

Chiodi Filho e Rodrigues (2009) subdividem as rochas ornamentais em silicáticas (que engloba granitos e similares), carbonáticas (mármore, travertinos e calcários), silicosas (quartzitos, *cherts* e similares), siltico-argilosas foliadas (ardósias), e ultramáficas

(serpentinitos, pedra-sabão e pedra-talco), as siltico-argilosas foliadas e as silicáticas poderiam se encaixar no mesmo grupo.

A extração de rochas ornamentais se realiza por meio de lavra, constituindo de um conjunto de técnicas para remoção de material utilizável ou economicamente vantajoso. Tem como resultado a produção de blocos retangulares com dimensões variando entre 10 m<sup>3</sup> e 12 m<sup>3</sup> e pesando de 30 a 35 toneladas. Nesta etapa, busca-se a maximização do rendimento do material e da utilização da capacidade produtiva nas etapas de beneficiamento (BAYLÃO, 2022).

Na lavra de rochas ornamentais utilizam-se métodos e técnicas que possibilitam a obtenção de resultados satisfatórios em relação a termos custo/benefício, podendo, estas, ocorrerem em maciços rochosos e em matacões. Os métodos de lavra consistem em um conjunto específico de trabalhos de planejamento, dimensionamento e execução de tarefas, devendo existir - a fim de se obter êxito nos trabalhos - harmonia entre as tarefas executadas e os equipamentos dimensionados (REIS; SOUSA, 2003).

## **2.9 Geologia estrutural na lavra de rochas ornamentais**

De acordo com Brandão et al. (1995 apud FERREIRA, 2004), os principais aspectos levados em consideração no aproveitamento das rochas ornamentais são os estéticos, técnicos, econômicos e mercadológicos. Os fatores estéticos relacionam-se diretamente a aspectos da rocha como textura, estrutura, cor e gênese. Os fatores técnicos determinam o método de lavra e a viabilidade econômica da jazida, sendo estes: resistência ao desgaste, resistência ao impacto, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, módulo de deformação estático, dilatação térmica, alterabilidade.

O planejamento da lavra inclui a etapa de individualização de blocos com dimensões adequadas à seguinte etapa da cadeia produtiva, representada pelo desdobramento dos blocos em chapas. Durante a fase de planejamento é importante realizar a verificação se o maciço rochoso ou matacão possui características adequadas para serem lavradas, como a existência de impurezas, estruturas, alterações, topografia local, etc. Um planejamento bem elaborado fornece resultados satisfatórios a partir do dimensionamento dos equipamentos e instalações,

cálculo de custos, sequência de atividades, implicações econômicas do impacto ambiental e análise das condições hidrológicas (REIS; SOUSA, 2003).

A qualidade de um depósito de rochas ornamentais está relacionada a fatores como cor, tonalidade, textura, formação estrutural, a estética da rocha e o aparecimento de feições indesejáveis nas operações de lavra. Então, levando em conta os fatores citados, a fim de avaliar a qualidade e o valor de mercado das rochas ornamentais na etapa de pesquisa, foi criado o conceito de Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) que consiste na hierarquização dos tipos de rochas selecionadas em mapas com potencial para fins ornamentais mediante a notas atribuídas a um conjunto de fatores. O IAEG visa caracterizar e identificar jazimentos e potencialidades dos corpos de rochas para fins ornamentais (VIDAL et al., 2013).

A soma dos pesos dos fatores a seguir: cor da rocha (FC), textura (FT), homogeneidade (FH), dureza (FD), nobreza (FN), infraestrutura (FI), estrutura (FE) e modo de ocorrência (FM) é a base deste índice. Deste modo, quanto maior o IAEG, mais atrativa será a rocha para o mercado (VIDAL et al., 2013).

Quadro 1 - Índices de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG)

<b>Fator Cor – FC (cores predominantes)</b>	<b>Valores do FC</b>
Azul	17
Branca a Amarela	14
Verde ou Marrom	14
Rochas Movimentadas de Cores Vermelhas e Rosa	10
Salmão	7
Vermelha	6
Rosa	6
<b>Fator Textura – FT (texturas predominantes)</b>	<b>Valores do FT</b>
Equigranular e Porfírica	0 a 10
Porfírica Serial a Equigranular e Lamelar	0 a 10
<b>Fator de Homogeneidade – FH (Veios, Xenólitos, Oxidações)</b>	<b>Valores do FH</b>
Alta	0 a 10
Média	0 a 10
Baixa	0 a 10
<b>Fator Fraturamento – FF (Densidade do fraturamento)</b>	<b>Valores do FF</b>
Densidade Baixa (extração de blocos p/teares)	10
Densidade Média (extração de blocos p/talha bloco)	8

Densidade Alta	5
Muito Alta	4
Altíssima	0
<b>Fator Modo de Ocorrência - FM (modo de ocorrência)</b>	<b>Valores do FM</b>
Maciço + Matacões	10
Maciço + Matacões	6 a 8
Matacões Grandes	5
Matacões Menores	4
<b>Fator Estrutura - FE (estruturas predominantes)</b>	<b>Valores de FE</b>
Dobradas ou Movimentadas	10
Orientada ou Foliada	5
Maciça	0
<b>Fator de Nobreza - FN (posicionamento da rocha no mercado)</b>	<b>Valores do FN</b>
Mercado externo, sob a forma de blocos, chapas e padronizados	20
Mercado externo, sob a forma de blocos	18
Mercado interno, por vezes externo, sob a forma de blocos, chapas e padronizado	14 a 15
Mercado interno na forma de chapas e padronizados	10 a 12
Mercado interno de padronizados	0 a 5
<b>Fator Dureza - FD (dureza relativa)</b>	<b>Valores do FD</b>
Mármore (dureza baixa)	7
Sienitoide (dureza média)	6
Granitoide (dureza alta)	5
Quartzito (dureza muito alta)	2
<b>Fator Infraestrutura - FI (infraestrutura disponível)</b>	<b>Valores do FI</b>
Distância menor que 10km e dispondo de toda infraestrutura	8
Distância igual ou maior do que 10km	6
Distância maior do que 20km	5
<b>IAEG= FC+FT+FH+FM+FR+FN+FD+FI</b>	

Fonte: VIDAL et al. (2013)

As rochas são avaliadas qualitativa e quantitativamente a partir dos seguintes intervalos do IAEG:

- Quando entre 80 e 100, o índice é classificado como “muito alto”;
- Quando entre 70 e 80, o índice é classificado como “alto”;
- Quando entre 60 e 70, o índice é classificado como “médio”;
- Quando entre 40 e 60, o índice é classificado como “baixo”.

Ao adotar o índice, a tabela de notas da rocha catalogada deve acompanhar nota explicativa contida na margem esquerda do mapa de atratividade econômico-geológica, além de haver a necessidade da elaboração de uma legenda elucidativa que descreva a unidade geológica e o tipo de rocha ornamental associada. A adoção deste método faz com que seja de fácil compreensão e manuseio pelo setor comercial (VIDAL et al., 2013).

Os fatores do IAEG são reforçados pelo Quadro 2 em que, adaptada com propostas de diversos autores, Carvalho (2008) lista os critérios considerados nas etapas de avaliação de uma jazida de rochas ornamentais, desde as etapas iniciais até o projeto de exploração. O quadro reúne critérios a serem considerados na lavra de rochas ornamentais. Porém, assumem papel secundário, pois, em nível individual, não são fatores de exclusão. São essenciais como qualificações básicas exigidas para o uso final e avaliação comercial das rochas, mas não comprometem a adequação das rochas como rochas ornamentais.

Quadro 2 - Aspectos principais a considerar na prospecção de Rochas Ornamentais

Morfologia	- Limites
	- Espessuras e Variações de Espessura
	- Variações de fácies
	- Carsificação
Estrutura	- Estratificação, clivagens, xistosidades, lineamentos, etc.
	- Falhas e fraturas
	- Dobramentos
Fraturação	- Famílias direcionais
	- Espaçamento entre famílias
	- Densidade de fraturação
	- Tipo

Metamorfismo	- Zonação
	- Mineralogia
Características Litológicas	- Composição mineralógica e química
	- Cor
	- Granulometria
	- Textura
	- Recristalização, encraves, fosseis, etc.
	- Homogeneização (cor, textura, fósseis e outras descontinuidades)
	- Oxidações e outras alterações
	- Propriedades físico-mecânicas (absorção de água, peso específico, resistência a compressão e a flexão, etc.)
Explorabilidade	- Reservas
	- Acessibilidade (topografia, acessos, distancia aos centros consumidores, zonas de defesa e proteção ambiental)
	- Espessura de camada de alteração e dos depósitos de cobertura
	- Impacto ambiental
	- Infraestrutura industriais
	- Atividade extrativa instalada
	- Aceitação no mercado

Fonte: Carvalho (2008)

Carvalho et al. (2008) demonstra que na produção de rochas ornamentais os fatores decisivos para a viabilidade de um maciço rochoso estão relacionados exclusivamente com a homogeneidade das unidades geológicas, com o seu dimensionamento e com o seu estado de fraturamento, como demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Critérios de decisão na pesquisa de Rochas Ornamentais

<b>Dimensionamento</b>	<b>Homogeneidade</b>	<b>Estado de Fraturação</b>
- Espessura das unidades produtivas (bancada sedimentar, fácies)	- Cor	- Direções preferenciais

metamórficas, etc.).		
-Volume total do depósito	- Textura	- Frequência
- Disposição espacial	- Descontinuidades	- Densidade
		- Intensidade
		- Tipo e morfologia das fraturas

Fonte: Carvalho (2008)

Para a avaliação dos critérios de decisão é necessário usar duas ferramentas básicas durante a avaliação dos depósitos e prospecção geológica como a cartografia geológica e o levantamento do estado de fraturamento (CARVALHO, 2011).

A cartografia geológica permite obter informações acerca do dimensionamento e homogeneidade dos depósitos, além de se ater à identificação, delimitação e caracterização de áreas com aptidão para rocha ornamental. Na área da pesquisa em que será aplicada a cartografia geológica, deverá contar com a existência de uma ou mais unidades geológicas, com características de homogeneidade, espessura e volume em que se permita obter blocos com dimensões comercializáveis por determinado tempo. A cartografia fará uso de conceitos e terminologias clássicas, levando em conta os aspectos de escala, litologia, estruturas geológicas e terminologia se usar para que seja fácil a caracterização e identificação das áreas de maior interesse (CARVALHO, 2011).

O levantamento dos dados de fraturas permite saber o estado do fraturamento deste depósito. Para tal, inicialmente, usa-se métodos indiretos de detecção remota por imagens de satélites e fotografias aéreas. Ambas técnicas combinadas permitem uma delimitação mais detalhada das áreas mais ou menos fraturadas e a definição de padrões de fraturação. Na etapa de detecção de descontinuidades maiores, entra a importância de aplicação dos métodos geofísicos, que se aplicam a investigações mais avançadas. Estes métodos não substituem os métodos diretos que se constituem num inventário de todas as fraturas englobadas em uma área circular ou quadrangular ou intersectadas por uma linha de amostragem (*scanline*) (CARVALHO, 2011).

De acordo com Koppe (1992 apud Giorgio, 2003), o arranjo estrutural da rocha, as estruturas e a presença de descontinuidades no maciço são fatores geológicos de destaque que controlam as técnicas de lavra de rocha ornamental.

Na lavra de rochas ornamentais, a presença de estruturas é o principal problema. O tamanho dos blocos extraídos e o percentual de recuperação dependem da geometria das

fraturas. Depende também, desta estrutura, a qualidade tecnológica do material, pois facilita a percolação de fluidos que geram a alteração da rocha. Além desta, o tipo de descontinuidade que mais prejudica a atividade de lavra é aquele do tipo rúptil, classificadas como falhas, juntas e zonas de cisalhamento. Feições do tipo dúctil como lineação, foliação, xistosidade, afeta o desenvolvimento da lavra pois suas orientações influem na extração dos blocos, visto que determina as direções de menor resistência à partição do maciço (GIORGIO, 2003).

Assim, é necessário potencializar estudos geológicos detalhados na etapa de prospecção mineral a fim de evitar o aparecimento de problemas tais como: posicionamento inadequado da frente de lavra, elevado grau de fraturamento, aparecimento de estruturas (veios, xenólitos e encraves) a poucos metros de profundidade e aparecimento de material com qualidade inferior em bancadas subjacentes (CARMONA, 2002).

Os principais fatores que aumentam a lucratividade de uma pedreira de rocha ornamental é a otimização do tamanho do bloco e foco em produzir matérias primas de alta qualidade, além de evitar desperdícios e sobrecarga desnecessários. Uma previsão inicial dos tamanhos relativos das peças ajudará a otimizar a produção. Deste modo, as juntas e fraturas estão entre as estruturas mais importantes, e uma das mais essenciais tarefas durante a exploração e extração no processo é sua avaliação (MOSCH et al., 2011).

Ferreira (2004) considera que o aspecto econômico mais importante na avaliação geológica de uma jazida de rochas ornamentais, é o volume de recuperação dos blocos com qualidade econômica. Sendo assim, considerou parâmetros que implicam diretamente na recuperação em uma jazida de rocha:

1. Distribuição dos padrões de fraturamento (espaçamento, frequência);
2. Grau de homogeneidade da rocha (estrutura e textura);
3. A rocha deve manter constante a forma e tamanho dos grãos;
4. Possuir um padrão constante de cor;

As descontinuidades como falhas, juntas, fraturas, fissuras ou planos de estratificação devem ser levadas em consideração. A intersecção destas descontinuidades está ligada intimamente à formação de blocos individuais separados em uma rocha compacta, os chamados blocos *in situ*. Veios de quartzo ou calcita, características intrínsecas da estrutura, também devem ser considerados uma vez que podem prejudicar o processamento e a estética dos blocos. Grandes distâncias entre as descontinuidades resultam em blocos de grandes dimensões (MOSCH et al., 2011).



Quando a situação geológica e tectônica do maciço resulta em blocos irregulares ou agudos, os blocos devem ser redimensionados para dimensões gerenciáveis de processamento, fazendo com que o processo seja mais custoso e demorado. Se os parâmetros de distância e ângulos de mergulho estiverem variando intensamente, o material extraído pode ser realocado para utilização em produtos de baixo valor como brita cascalho ou pedra tosca (MOSCH et al., 2011).

A carência de pesquisa mineral aprofundada é refletida na baixa produtividade da lavra, o que resulta em elevado custo nesta etapa, geração de passivo ambiental e consequentemente menor lucro para a empresa mineradora. A caracterização do maciço rochoso é essencial no planejamento de lavra, visto que o grau de fraturamento do maciço é inversamente proporcional à probabilidade de viabilidade do empreendimento. Ademais, as lavras de rochas ornamentais geram um expressivo montante de estéril e um melhor entendimento da disposição espacial das fraturas pode contribuir para a diminuição de passivos ambientais e elevação dos lucros (MAZZALI, 2014).

Nem sempre a presença de descontinuidades é um ponto totalmente negativo e, a partir disso, o minerador pode fazer proveito da mesma e recuperar o material da melhor forma. Este é o caso de algumas rochas foliadas, em que são produzidos materiais com superfícies naturais em peças não calibradas, extraídos diretamente por delaminação mecânica de chapas na pedreira. Estas recebem a designação de rochas processadas simples. No Estado do Piauí, pode-se citar o exemplo do quartzito foliado em que é produzida a Pedra Castelo/Morisca (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009).

## 2.10 Setor de Rochas Ornamentais no Ceará

O comércio de rochas ornamentais movimentava anualmente cifras bilionárias. O Brasil é um país reconhecido mundialmente pela sua diversidade mineral, onde fornece esse material a países como os Estados Unidos, China, Itália, México, Reino Unido, Canadá e outros (CHIODI FILHO, 2007). No período entre janeiro e novembro do ano de 2022, segundo a Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), o Brasil exportou a quantia de US\$1.223,1 milhões, correspondendo a 6% da produção global.

O Estado do Ceará ocupa um território de aproximadamente 146.000 km<sup>2</sup>, onde um equivalente a 74% do território é constituído por rochas ígneas e metamórficas, que recebem uma denominação genérica de rochas cristalinas (BRANDÃO; FREITAS, 2014). De acordo com Vidal et al. (2005), este embasamento cristalino presente no Ceará, oferece condições favoráveis à ocorrência de granitos, calcários, mármore, rochas vulcânicas alcalinas e conglomerados, com características ornamentais e revestimentos. No entanto, a partir de 2015 o mercado passou a possuir uma maior demanda por quartzitos, o que foi acatado prontamente pela indústria do Estado (DIOGENES, 2023).

No período atual, o Ceará se destaca como o terceiro maior exportador de rochas ornamentais do Brasil, com cerca de R\$200 milhões (US\$40 milhões) exportados em 2022, sobretudo em blocos para a Itália e China e chapas polidas para os EUA. Além disso, o Estado também fornece matéria prima bruta para o Espírito Santo (principal exportador brasileiro) com volumes de aproximadamente R\$250 milhões anualmente (MARCELO, 2023).

No interior do Estado, destacam-se as cidades de Uruoca, Santa Quitéria, Itaitinga, Massapê, Santana do Acaraú, São Gonçalo, Sobral, Coreaú, Morrinhos, Banabuiú, Mombaça, Aiuaba, Canindé e Granja como grandes produtoras, gerando empregos e renda (MARCELO, 2023).

As importações minerais no Ceará, voltadas às rochas ornamentais, ocorrem em menor quantidade em comparação com as exportações, onde até 2021, se encontrava restrita a cidade de Fortaleza e sua região metropolitana. Estas importações são realizadas, em sua maioria, pelo mercado da construção civil com importações de mármore de luxo, rochas calcárias e semimanufaturadas (DIOGENES, 2023).

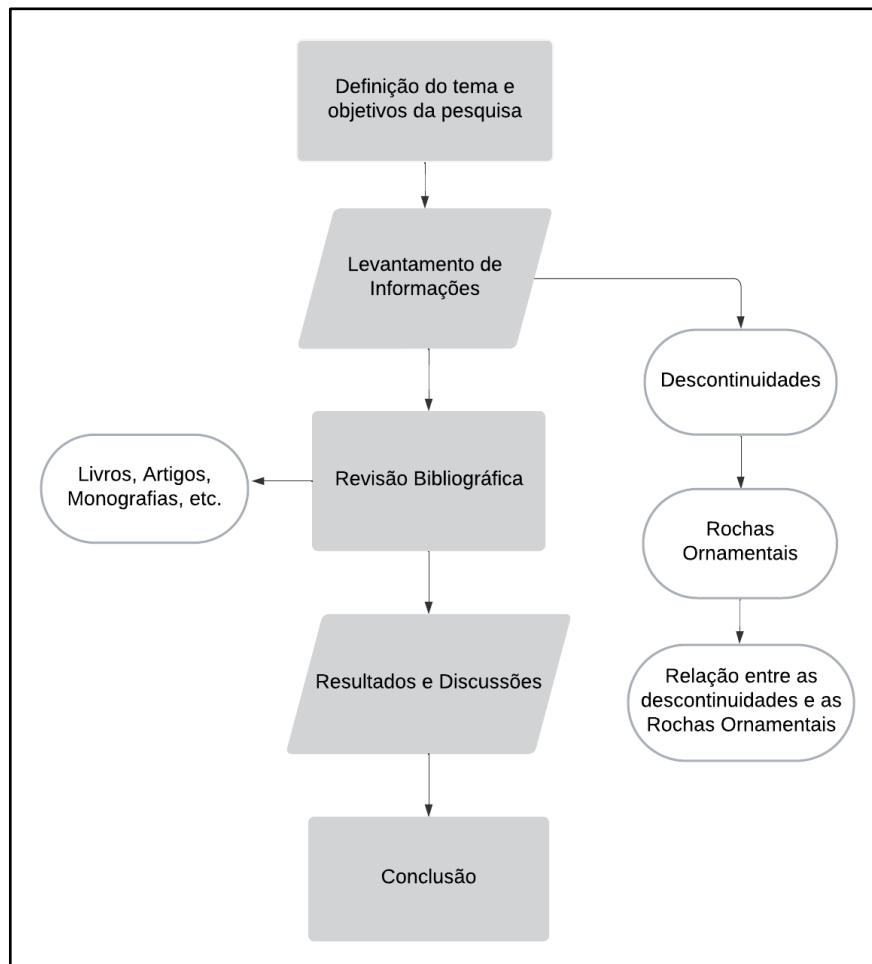
O mercado mineral do Ceará mostra-se em contínuo crescimento, seja pelo seu desenvolvimento recente ou rica diversidade, o setor das rochas ornamentais recebe grande destaque pelas suas perspectivas de crescimento. Além do Estado acumular aumento em relação

a números de exportação, ainda recebe destaque pelo fornecimento de materiais de luxo, como granitos exóticos e quartzitos (DIOGENES, 2023).

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como finalidade a realização de um estudo que objetiva compreender a influência das estruturas geológicas presentes em corpos rochosos voltados para a lavra ornamental. O fluxograma (Figura 15) abaixo especifica a metodologia seguida para a pesquisa.

Figura 15- Processo de elaboração da pesquisa



Fonte: Autoria própria

Neste sentido, para a construção deste, o primeiro procedimento realizado foi a definição do tema e objetivos da pesquisa, seguido pela descrição das principais estruturas ou

descontinuidades presentes em maciços rochosos, sobre seus processos de formação e indicadores de presença.

Em seguida, serão descritas as características acerca das rochas ornamentais e a influência da presença destas estruturas nas rochas ornamentais. O procedimento de coleta dessas informações deu-se a partir de pesquisa bibliográfica.

A terceira parte da pesquisa se dará com uma revisão bibliográfica narrativa a fim de identificar casos reais em que minerações de rocha ornamental foram influenciadas de certa forma pela presença das estruturas descritas e como estas intervêm na identificação do seu IAEG. O critério adotado para seleção destes casos foi baseado a partir das relações entre as descontinuidades e a lavra dos casos citados, além da quantidade de informações disponíveis para obtenção do IAEG de cada rocha. Este IAEG foi calculado parcialmente a partir de informações como cor, fraturamento, estruturas presentes na rocha e a distância entre a lavra e o polo de beneficiamento mais próximo. Todos os dados obtidos para cálculo do IAEG, foram estimados através de teses, monografias, dissertações, artigos, sites da empresa mineradora.

Para a análise do IAEG dos casos abordados neste trabalho, será feito o uso do quadro (Quadro 4) de Índice de Atratividade Econômica Geológica (IAEG) adaptado por Vieira et al. (2021) que realizou mudanças nas pontuações de alguns fatores de acordo com a atratividade do mercado de rochas ornamentais da atualidade, tendo em vista a ordem de importância e atratividade mercadológica.

Quadro 4 – Fatores adaptados para composição do IAEG

<b>FATOR COR (FC) – Cores Predominantes</b>	<b>Valores do FC</b>
Branca	20
Amarela	18
Verde	16
Preta	14
Marrom	12
Vermelha	10
Rosa ou Bege	8

Cinza	6
<b>FATOR TEXTURA (FT) – Texturas Predominantes</b>	<b>Valores do FT</b>
Porfirítica	10
Hipidiomórfica Granular - Xenomórfica Granular	8
Granoblástica - Lepidoblástica - Porfiroclástica - Porfiroblástica	6
Equigranular - Granular Preservada - Inequigranular Porfirítica	4
Protomilonítica - Milonítica	0 - 2
<b>FATOR DE HOMOGENEIDADE - (FH) - Veios, Xenólitos, Oxidações</b>	<b>Valores do FH</b>
Alta	$10 > FH > 9$
Média	$9 > FH > 3$
Baixa	$3 > FH > 0$
<b>FATOR FRATURAMENTO - (FF) - Densidade do fraturamento</b>	<b>Valores do FF</b>
Baixa	10
Média	8
Alta	6
Muito Alta	4
Altíssima	0 - 2
<b>FATOR DE MODO DE OCORRÊNCIA - (FM)</b>	<b>Valores do FM</b>
Maciço + Matacões	10
Maciço	8
Matacões Grandes	6
Matacões Pequenos	4

<b>FATOR ESTRUTURA - FE - estruturas predominantes</b>	<b>Valores do FE</b>
Dobradas ou Movimentadas	10
Orientada	5
Maciça	0
<b>FATOR NOBREZA - FN - Posicionamento da rocha no mercado</b>	<b>Valores do FN</b>
Nobres (Preto - Verde - Marrom - Branco - Amarelo)	20
Exóticos (Pegmatitos - Quartzitos - Gnaisses - Calcissilicática)	15
Comuns (Cinzas - Cinzas Esbranquiçado - Ôcre)	5
<b>FATOR DUREZA - FD - Dureza relativa</b>	<b>Valores do FD</b>
Mármore (Dureza baixa)	7
Gnaisse Kinzigítico	6
Granitoide - Ortognaisse - Charnockito - Granito - Gabro - Norito (Dureza alta)	5
Matações Menores	2
<b>FATOR INFRA-ESTRUTURA - FI - Distância em relação ao polo de beneficiamento</b>	<b>Valores do FI</b>
Distância menor que 100 km	8
Distância igual ou maior que 100 km	6
Distância maior que 200 km	5
<b>IAEG = FC+FT+FH+FF+FM+FE+FN+FD+FI</b>	-

Fonte: Vieira et al. (2021)

Nesta análise parcial, propõe-se classificar as unidades em três grupos: rochas ornamentais tipo exportação - nobres com IAEG > 70, rochas para mercado interno e

eventualmente externo, sendo  $60 < \text{IAEG} \leq 70$  e rochas ornamentais exclusivamente pra mercado interno sendo  $\text{IAEG} \leq 60$  (VIEIRA et al., 2021).

É dado que a análise do IAEG para os casos citados é uma análise parcial pois em casos usuais, os dados de cada rocha ornamental que se deseja classificar são coletados em campo, diferente do que ocorre neste trabalho, onde os dados são reunidos através de revisão bibliográfica em livros, artigos e monografias.

Por fim, através dos resultados obtidos com o IAEG de cada caso, fez-se uma relação entre a presença de descontinuidades e os fatores que mais fizeram a rocha ser valorizada apesar da presença destas descontinuidades.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados casos em que as discontinuidades presentes em uma lavra afetaram seu desempenho, e até mesmo o resultado do seu IAEG.

### 4.1 Caso do granito ornamental Preto São Marcos (Casserengue-PB)

O granito Preto São Marcos (PSM), aflora em forma de matacões e maciços no Maciço São José do Campestre, na área do Sítio Pedrinha D'água, no município de Casserengue, no Estado da Paraíba, localizado a 64 km de Campina Grande. A área é lavrada pela empresa GRANFUJI (LIMA et al., 2007).

A área de estudo é situada na parte sul da unidade geotectônica “Maciço São José do Campestre” da Província Estrutural Borborema, localizada na Região de Dobramentos Nordeste. A região inclui unidades lito-estratigráficas com embasamento arqueano composto de complexos gnáissicos migmatíticos; faixas supracrustais de rochas metassedimentares de idade proterozóica; e mais de uma suíte de granitóides intrusivos de idade Brasiliana. Falhas e zonas de cisalhamento transcorrentes de idade Brasiliana são feições estruturais mais importantes da região (LIMA et al., 2007).

Figura 16- Frente de lavra Sul de onde é extraído o Preto São Marcos



Fonte: Lima et al., (2007)



O granito PSM não apresenta estruturas como foliações ou lineações. As estruturas mais comuns são fraturas preenchidas (veios) e zonas de cisalhamento (LIMA et al., 2007). Em afloramentos, o granito apresenta aspecto quase homogêneo na cor e textura, sendo descrito como uma rocha ígnea melanocrática, de granulometria média a grossa e textura hipidiomórfica a porfirítica. Este granito é classificado como piroxênio-biotita diorito (LIMA et al., 2007 apud Lima et al., 2001).

As fraturas apresentam extensões métricas e seu espaçamento varia de dezenas de centímetros a mais de um metro. Os veios (fraturas preenchidas) são de quartzo ou quartzo-feldspato. A densidade das fraturas não é uniforme na área de afloramento do granito (LIMA et al., 2007).

O corpo do granito é cortado por várias famílias de fraturas, zonas de cisalhamento e veios de quartzo e quartzo-feldspato. A presença de fraturas subhorizontais é aproveitada para que sejam o plano de base das bancadas. No entanto, nas áreas em que o espaçamento das fraturas é estreito e que a densidade das fraturas é alta, a extração de blocos é inviabilizada, pois há exigência de dimensões padrão. Os veios e as zonas de cisalhamento orientados diagonalmente ao comprimento de matacão causam perda na etapa de esquadrejamento e resulta em blocos de menores dimensões. No entanto, com o objetivo de reduzir perdas, as furações na etapa de esquadrejamento são feitas paralelas às zonas de cisalhamento e veios (LIMA et al., 2007).

A qualidade das rochas ornamentais, além de variar em função de características geológicas básicas tais como composição mineralógica, cor, brilho, textura, macro e microestrutura, susceptibilidade ao intemperismo, resistência físico-mecânica etc, também dependem de fatores como a presença de descontinuidades. Estas características determinam a viabilidade econômica de exploração de uma jazida de rocha ornamental (LIMA et al., 2007).

No tocante à qualidade das rochas ornamentais e às características da rocha disponíveis, é possível obter parcialmente seu Índice de Atratividade Econômica-Geológica (IAEG) que visa obter a potencialidade de corpos rochosos para fins ornamentais a partir da determinação de pontuações pelas suas características (VIEIRA et al., 2021). Para a análise do IAEG do granito Pedro São Marcos, será feito o uso da tabela adaptada por Vieira et al. (2021) utilizando as características já mencionadas da rocha.

De acordo com as características da rocha e os parâmetros do IAEG, o granito Preto São Marcos é classificado como rocha ornamental do tipo exportação nobre com IAEG igual a

84. Apesar das feições estruturais presentes no granito PSM, sua exploração é viável devido a seu valor comercial superar os efeitos negativos que as estruturas provocam.

#### 4.2 Caso do “Granito Pegmatóide Dália”

O granito Dália, como é denominado comercialmente, – granito pegmatóide “Dália” - é classificado como uma rocha pegmatítica homogênea, que ocorre na forma de diques intrusivos intercalados por rochas metamórficas, denominadas regionalmente por Micaxistos Seridó (ARAÚJO, 2015).

Figura 17- Chapa polida do granito Dália.



Fonte: Araújo (2015)

Esta rocha ornamental apresenta cores que variam do branco ao cinza claro, é constituída basicamente por quartzos, feldspatos (albita e microclina), micas (muscovita e biotita), afrisita, granadas (grossulária), hornblenda entre outros. Suas feições são alongadas, aflorantes e de volume expressivo (ARAÚJO, 2015).

A jazida do granito Dália está localizada no município de Parelhas, Estado do Rio Grande do Norte. Para estudo, foram escolhidos 4 locais de ocorrência na jazida do granito Dália onde se tentou produção. Os alvos foram denominados de maciços 1, 2, 3 e 4, onde possuem características estruturais diferentes uma da outra.

Para a determinação parcial do IAEG de cada um dos maciços, determinados fatores do granito serão considerados os mesmos. Porém, características das fraturas, entre outros, mudarão de maciço para maciço.

#### 4.2.1 Maciço 1

O maciço 1, por sua baixa frequência de fraturas - concentradas apenas nas extremidades - é considerado o mais indicado para exploração, sendo a frente de lavra mais explorada. esta frente é caracterizada por seu arranjo estrutural harmonioso entre os minerais de micas e plagioclásios e pouco conteúdo em quartzo, o que resulta em um menor fissuramento do maciço (ARAÚJO, 2016).

Figura 18 – Frente de lavra do Maciço 1



Fonte: Araújo (2015)

O xisto encaixante presente no maciço 1 é (também) pouco fraturado, com frequência de fraturas de cerca de 3/m e com mergulho fraco na direção sudoeste. Este tipo de mergulho é favorável, pois resulta em proteção adicional para a rocha ornamental graças à maior dispersão do impacto (ARAÚJO, 2016). Segundo Fiori (2015), frequência de fraturas se refere ao número de fraturas presentes a cada metro analisado em uma rocha

Ademais, o pegmatito se encaixa discordantemente no xisto encaixante, o que resulta em duas famílias de fraturas verticais e horizontais com frequência de 4/m. As estruturas verticais auxiliarão na orientação otimizada da face livre enquanto que as de orientação mais suave farão interferência no piso da bancada e acessos (ARAÚJO, 2016).

De acordo com as características já dispostas, uma análise parcial do IAEG para o maciço 1 será realizada. Dadas as características do Maciço 1 do granito pegmatóide Dália e os parâmetros do Índice de Atratividade Econômica-Geológica, o granito é classificado como rochas para mercado interno e eventualmente externo, com IAEG igual a 70.

#### 4.2.2 Maciço 2

O segundo maciço alvo objetivo deste estudo, denominado de maciço 2, diferentemente do maciço 1, apresenta características de fraturamento mais prejudiciais à lavra, onde o fraturamento apresenta frequência variável de 6 (com espaçamento > 6 cm) a 8 fraturas por metro (com espaçamento > 3 cm) (ARAÚJO, 2016). Segundo Fiori (2015), o espaçamento entre fraturas/descontinuidades se dá pela distância média entre as descontinuidades.

Figura 19 – Frente de lavra do Maciço 2



Fonte: Araújo (2015)

Além da presença um pouco maior de fraturas no maciço, este é afetado pela dificuldade de acesso e pela indisponibilidade de tecnologia para extração e produção de blocos compatíveis com a condição da lavra, o que deixa clara a baixa perspectiva para aproveitamento a curto prazo. Esta condição é reforçada pelo destaque topográfico da frente, que no passado foi cortado com fio diamantado e face livre transversal à orientação do pegmatito, o que fez com que houvesse o surgimento de fraturas de alívio (ARAÚJO, 2016).

O ideal seria que o corte da face livre aproveitasse a anisotropia do maciço seguindo sua direção. No entanto, o corte feito de forma errada no passado traz consequências até o tempo atual, causando um menor aproveitamento quantitativo à produção de blocos (ARAÚJO, 2016). Abaixo será obtido IAEG do maciço 2 de acordo com suas características citadas anteriormente.

Com a análise das características do Maciço 2 do granito pegmatóide Dália e os parâmetros do Índice de Atratividade Econômica-Geológica, o granito é classificado como rocha ornamental do tipo para mercado interno e eventualmente externo com IAEG igual a 66.

#### **4.2.3 Maciço 3**

O maciço 3, localizado 11 metros abaixo do primeiro maciço, é suscetível a fraturas de alívio devido a abertura de novas bancadas caracterizadas por estarem em situação de confinamento.

Figura 20 – Maciço 3



Fonte: Araújo (2015)

No local, é visível o contato do xisto com o pegmatito. O pegmatito é concordante por estar em paralelo com a xistosidade. A qualidade do pegmatito como rocha ornamental é bem comprometida devido à natureza bastante fraturada e pela presença de enclaves xistosos. O maciço também revela fraturas variando de 2 (com espaçamento > 40 cm) a 3 por metro (com espaçamento > 20 cm). Abaixo, com os dados obtidos do granito pegmatóide Dália e com sua mudança nos padrões de fraturamento, é possível obter seu IAEG.

Com as características do Maciço 3 do granito pegmatóide Dália, o granito é classificado como rocha ornamental do tipo rochas para mercado interno e eventualmente externo com IAEG igual a 70.

#### **4.2.4 Maciço 4**

O maciço 4 revela forma de dique quase verticalizado com mergulho de 70° e padrão textural com pouca atratividade estético decorativa. A direção do corpo em contato com o xisto está para leste; o corpo contém duas famílias de fraturas que variam de 2/m (com espaçamentos de 40 cm) a 3/m (com espaçamento de 15 centímetros).

A frequência de fraturas neste maciço, é menor do que nos maciços 1 e 2, no entanto, a presença de superfícies alongantes e trincantes dificultam a produção de pranchas e blocos.

Figura 21 – Maciço 4



Fonte: Araújo (2015)

Pela soma das notas atribuídas a cada característica do maciço 4, seu IAEG totaliza em 70, sendo então classificado como rochas para mercado interno e eventualmente externo, sendo  $60 < \text{IAEG} \leq 70$ .

Todos os maciços foram classificados como rochas ornamentais para mercado interno e eventualmente externo, sendo  $60 < \text{IAEG} \leq 70$ . Alguns maciços não estão aptos para exploração devido a suas condições de topografia ou confinamento, tais como o Maciço 2 que possui grau elevado de fraturamento além da dificuldade de acesso ao local e o Maciço 3 que se localiza em uma zona confinada, o que certamente resultará na geração de fraturas de alívio. O Maciço 4 é de difícil exploração devido a diagonalidade entre as superfícies. Logo, o Maciço 1 é o mais indicado para exploração devido a sua baixa frequência de fraturas, localização em uma zona de baixo confinamento e facilidade de acesso.

#### **4.3 Caso *Giallo* São Francisco Real**

Os granitos denominados comercialmente como *Giallo* São Francisco Real e *Giallo* Ornamental estão localizados no município de Barra de São Francisco, região noroeste do

estado do Espírito Santo. A extração deste granito é caracterizada por ser realizada em maciços rochosos de topos aguçados e/ou colinas de topos convexos (SAAR, 2013).

Figura 22 – Amostra de material Giallo São Francisco Real



Fonte: Saar (2013)

Na mina, é possível realizar a exploração das duas variedades do granito *Giallo*, onde a quantificação mineralógica de cada um sofre alterações a partir do posicionamento (paralelo ou perpendicular) de corte das faces das chapas (BOLONINI, 2015).

O quadro estrutural-metamórfico identificado nas unidades litológicas é composto por 3 fases de deformação ( $D_n$ ,  $D_{n+1}$ ,  $D_{n+2}$ ) atribuídas a eventos deformacionais neoproterozóicos (SAAR, 2013), onde a fase  $D_n$  caracteriza-se pela formação de dobras reclinadas marcadas por uma foliação plano-axial  $S_n$  que se encontra associada ao ápice metamórfico definindo localmente as feições migmatíticas e atingindo as fácies sillimanita anfíbolito a granulito (BOLONINI, 2015).

A fase  $D_{n+1}$  que define a foliação  $S_{n+1}$ , é a mais penetrativa, onde destrói grande parte das feições construídas pela fase  $D_n$ , sendo caracterizada por um forte bandamento gnáissico, a partir da reorientação das estruturas migmatíticas, com a formação de uma foliação plano axial, paralelizada ao bandamento tectônico. A fase  $D_{n+2}$  caracteriza-se por um evento transcorrente/transpressivo em que, assume um caráter regional dúctil com formação de dobras abertas do bandamento tectônico gerando ondulações suaves a abertas, com a mesma orientação e com desenvolvimento de uma tênue foliação subvertical e marcada por uma fraca clivagem

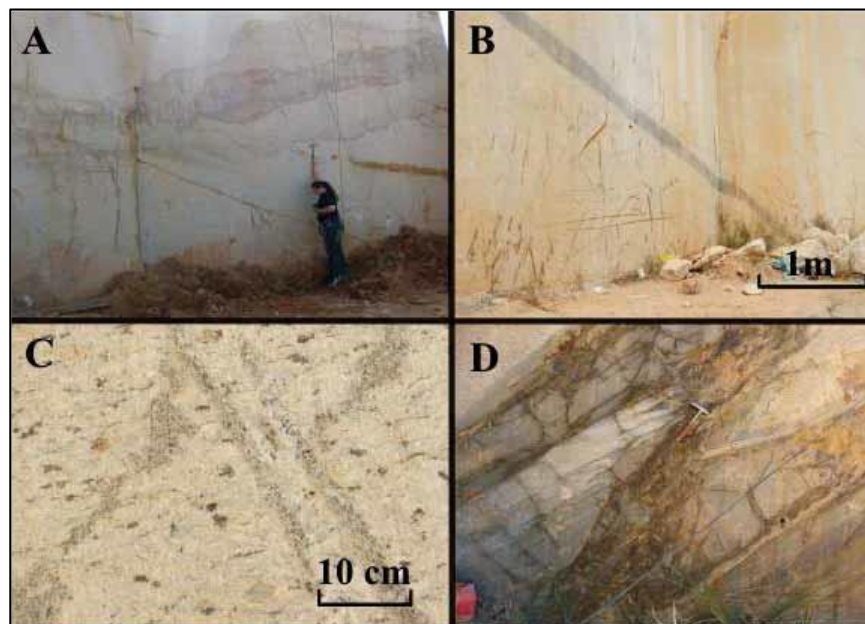


de crenulação, preservando as foliações anteriores ao distanciar-se das zonas de cisalhamento (BOLONINI, 2015).

Nas rochas da mina, o quadro estrutural propicia a extração de material comercializável em duas direções distintas bastando orientar os cortes realizados no isolamento dos volumes do maciço para a obtenção dos blocos, o que permite a produção subsequente de chapas onde as faces polidas não apresentam “movimento” - designação dada pelo setor às rochas que apresentam faces com deformações dúcteis ou estruturas de fluxo magmático que dão a ideia de movimentação - e faces movimentadas. Os cortes em suas totalidades são realizados em direções oblíquas às foliações medidas (BOLONINI, 2015).

Nos locais de exploração deste granito, podem ser encontradas esporadicamente feições particulares como diques boudinados e veios máficos concordantes e/ou cortando a estruturação gnáissica da rocha. Além destas feições, foram evidenciadas no flanco esquerdo da mina, xenólitos migmatíticos das rochas encaixantes onde porções gnáissicas ricas em biotita gradam para metatexitos com a fase neossomática bastante restrita e onde observa-se ausência de estruturas migmatíticas difusas e dando lugar a estrutura fortemente gnáissica, imposta por uma deformação penetrativa tardia (SAAR, 2013). Algumas destas feições podem ser observadas na Figura 24 - (A) Diques *boudinados*; B, C) Veios máficos; D) Xenólitos migmatíticos das rochas encaixantes.)

Figura 23- Figura de alguns xenólitos e veios encontrados na mina.



Fonte: Saar (2013)

Através de análise petrográfica, é possível identificar que o granito *Giallo* possui coloração amarelada, estrutura gnáissica, textura granoblástica, granulação de média a grossa, média geral de minerais com 24% de quartzo, 43% microclínio, 22% plagioclásio, 5% biotita, 2% granada, 1% sillimanita e 3% de minerais acessórios (SAAR, 2013).

Através dos dados dispostos acerca das duas variedades do granito *Giallo* é possível definir um IAEG parcial desta rocha, assim como avaliar sobre como as estruturas presentes afetam sua exploração.

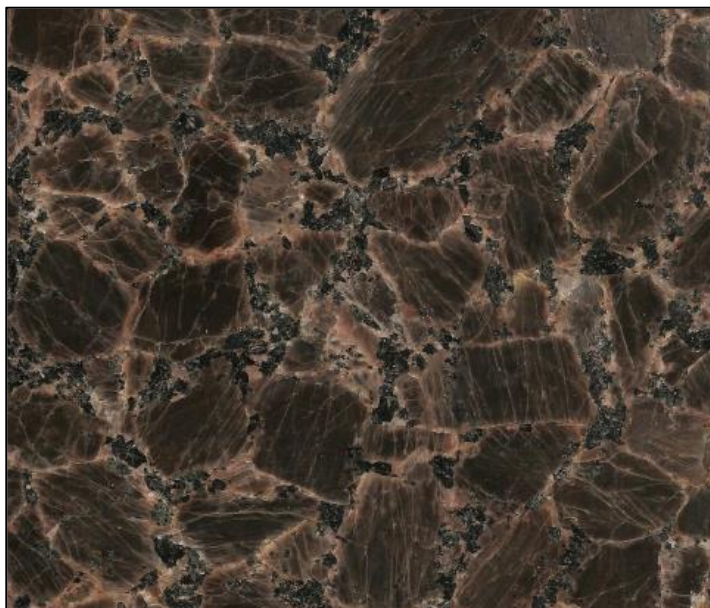
Com a soma de todos os valores associados às características da rocha, o IAEG parcial resultou em 87,5 pontos, sendo classificada como uma rocha do tipo para exportação - nobres com IAEG > 70. Destaca-se neste maciço sua cor amarela devido sua grande procura e valor nos mercados nacional e internacional. Além disso, destaca-se também a pouca presença de fraturas abertas na rocha o que aumenta o nível da extração devido a baixa perda de material durante a transformação em chapas.

#### **4.4 Caso Granito Marrom Imperial**

A área do estudo situa-se no Estado de Pernambuco, distrito de Umari, próximo ao Sítio Pau Santo, no município de João Alfredo. A área de interesse possui 150 hectares de superfície e tem característica positiva de possuir boas vias de acesso, o que permite o tráfego de veículos pesados durante o ano todo (FEITOSA, 2016).

O granito Marrom Imperial, possui características de granulação variando de fina a média, estrutura maciça e textura inequigranular. A região que se localiza a pedreira faz parte de um corpo plutônico com dimensões de um “batólito”, onde o corpo é considerado um melasienito grosso, nos quais os megacristais de feldspato potássico e cor marrom escura dispõem-se em uma matriz rica em anfibólio, biotita e plagioclásio, além de auréolas de microclina rósea que circundam os megacristais de K-feldspato. Sua cor marrom se deve a grande presença (80%) de plagioclásio marrom (ortoclásio) (FEITOSA, 2016).

Figura 24– Placa polida do granito Marrom Imperial



Fonte: Feitosa (2016)

O maciço é caracterizado por conter fraturas de cisalhamento e fraturas de alívio geradas quando o corpo rochoso em profundidade sofre alívio de carga causado pela retirada do capeamento rochoso que a comprimia, provocando aparecimento de fraturas paralelas à superfície do relevo (FEITOSA, 2016).

Realizando o somatório de todas as pontuações das características relacionadas ao granito Marrom Imperial, obtém-se o valor de 69, o que classifica a rocha como do tipo rochas para mercado interno e eventualmente externo, sendo  $60 < \text{IAEG} \leq 70$ .

#### **4.5 Caso do granito Branco Dallas**

O maciço do granito Branco Dallas, assim como maciço do granito *Giallo* São Francisco Real, fica localizado na região noroeste do estado do Espírito Santo, no município de Barra de São Francisco, Folha de Mantena (SE-24-A-VI). Além da localização, estes granitos se assemelham pela característica de extração ser realizada em maciços rochosos de topos aguçados e/ou colinas de topos convexos (SAAR, 2013).

O granito Branco Dallas possui cor esbranquiçada, estruturação gnáissica, textura hipidiomórfica granular e granulação variando de média a grossa. A rocha tem composição sienogranítica com bandas de composição quartzo-feldspática e cristais isolados de biotita e granada. A rocha mostra granulação predominantemente grossa (0,3 a 2,6 cm), com cristais centimétricos de feldspato (BOLONINI, 2015).

Figura 25 – Amostra do granito Brancos Dallas



Fonte: Saar (2013)

A extração do granito é desenvolvida pelo método de lavra a céu aberto utilizando sistema de bancadas, onde são realizados cortes com fio diamantado e perfuração com martetele a ar comprimido ou perfuratriz pneumática (ou hidráulica) e cordéis deflagrantes. A etapa de individualização dos volumes de rocha varia de acordo com o quadro geológico-estrutural, com a morfologia da mina, com o método de extração empregado e até mesmo características como dureza e abrasividade (SAAR, 2013).

Na mina do granito Branco Dallas, o capeamento de rochas varia com espessura entre centímetros a alguns metros, sendo limitados pela presença de fraturas de alívio com conseqüente deslocamento. Devido a diferença de altura entre a base e o topo do maciço rochoso (150 metros), a extração de blocos na mina é feita de forma ascendente (SAAR, 2013).

O maciço conta com a presença de foliação milonítica anastomosada e materializada pela orientação de biotita e estiramento de quartzo. Identifica-se também na mina o contato tectônico com as rochas migmatíticas encaixantes, zonas de cisalhamento e diques de quartzo boudinados (SAAR, 2013). Estando dispostas as características do granito Brancos Dallas, é possível a inferência do seu IAEG.

Com IAEG total de 78,5, a rocha é classificada como do tipo para exportação - nobres com IAEG > 70.

#### **4.6 Caso do granito Juparaná Gold**

A jazida do granito Juparaná *Gold*, se localiza no município de Massapê, na Serra da Meruoca, no Estado do Ceará. Com autorização de lavra pertencente ao grupo GRANOS.

Figura 26 – Amostra do granito Juparaná *Gold*

Fonte: Andrade (2014)

Compreendida no batólito granítico (com área de cerca de 400 km<sup>2</sup>) do município de Meruoca, de onde tem sido extraídos granitos de cores verde, branca, amarela, vermelha e cinza (MOURA & MATTOS, 2021), o granito Juparaná *Gold* é representada pela presença de rochas granítico-migmatíticas, possui uma coloração amarelada, granulação variando de média a grossa, textura inequigranular, formada por feldspatos, biotitas e minerais ferromagnesianos em degradação, com liberação de oxi-hidróxido de ferro (ANDRADE, 2014). A presença de óxido de ferro na rocha, gera alteração na cor da rocha o que dá um aspecto amarelado a olho nu (MATTOS, 2007).

Esta rocha está inserida no Batólito Meruoca, caracterizado por haver descontinuidades dos mais diversos tipos variando entre diques, veios, fraturas, falhas, juntas de baixa penetrabilidade (o que não significa grandes problemas para a extração), fissuras de pequeno porte e fraturas de alívio (ANDRADE, 2014).

A exploração do granito ocorre em zona de meia encosta, em uma área de topografia rebaixada, em relevo pediplanado, com altitude variando de 50 a 150 metros. Sua forma de ocorrência é na forma de matacões soltos e empilhados de tamanhos variados e também em grandes maciços rochosos (ANDRADE, 2014). Inicialmente, a lavra do granito Juparaná *Gold* era realizada somente nos matacões empilhados presentes nas partes mais baixas da área, por não se conhecer tanto os processos de corte e pelos custos elevados. Este método levou a uma grande degradação da paisagem, devido a quantidade de volume de material descartado (rejeitos

e blocos com imperfeições) que estão dispostas de maneira aleatória por toda a área (ANDRADE, 2014).

A pedreira do granito ornamental Juparaná *Gold* apresenta volumes muito grandes de rejeitos e blocos somente com imperfeições, que se deve a tecnologia de corte utilizada inicialmente, com lavra em matacões, e da opção por beneficiar somente blocos sem descontinuidades como veios e minerais máficos e/ou félsicos mesmo que tivessem medidas adequadas à comercialização (ANDRADE, 2014).

Realizando o somatório de todas as pontuações das características relacionadas ao granito Juparaná *Gold*, obtém-se o valor de IAEG de 79,5, o que classifica a rocha como para rocha ornamental do tipo exportação - nobres.

#### **4.7 Caso do granito *Rain Forest***

A pedreira do granito *Rain Forest* fica localizada no Sítio São Mateus, no distrito de Mato Grosso, a 7 km da cidade de Meruoca no Ceará.

Este maciço apresenta coloração cinza esverdeada. Trata-se basicamente de rocha com textura equigranular grosseira, sem sinais de deformação, composta essencialmente por minerais de feldspato de potássio, quartzo, plagioclásio e biotita. A área se apresenta como massa intrusiva com influência de falhamentos, que reflete na presença de encostas ravinadas e vales em “V” (ANDRADE, 2014).

Figura 27– Amostra do granito *Rain Forest*



Fonte: Andrade (2014)

A área desta pedreira se encontra em região de serra com altitudes que variam de 650 a 900 metros, num relevo constituído tipicamente por rochas graníticas. É caracterizado pela presença de camadas de fraco mergulho, submetidas a dobramentos, áreas de contato e juntas e fraturas.

A extração deste granito ocorre por meio de lavra a céu aberto, com sistema de bancadas escalonadas no maciço rochoso e em matacões para transformação de blocos. Este método escolhido, levou em consideração a morfologia do maciço rochoso, as especificidades do minério, os sistemas de fraturamento da rocha e o posicionamento geográfico da área.

No caso do granito ornamental *Rain Forest*, houve um estudo técnico em que permitiu conhecer a direção preferencial das fraturas presentes no maciço, o que fez com que houvesse uma boa decisão sobre a tecnologia de corte a ser adotada, o que contribuiu para um maior aproveitamento do bem mineral, com a geração de menor volume de rejeitos.

Com IAEG total de 71,5, a rocha é classificada como do tipo para exportação - nobres com IAEG > 70.

#### **4.8 Caso do Meruoca Clássico**

O caso do granito Meruoca Clássico se diferencia dos outros casos por sua extração encontrar-se paralisada, pois de acordo com funcionários da empresa extratora (GRANOS S/A), atualmente o mercado mostra preferência a produtos não-granitóides. Logo, prioriza-se a produção de outros tipos de rocha para comercialização.

A pedreira deste granito fica a aproximadamente 1,3 km da localidade de Pé de Serra no município de Meruoca no Ceará. Enquanto extraído, a lavra deu-se exclusivamente em meio maciço.

Figura 28 – Amostra do granito Meruoca Clássico



Fonte: Andrade (2014)

Esta rocha está inserida no Batólito Meruoca, caracterizado por haver descontinuidades dos mais diversos tipos variando entre diques, veios, fraturas, falhas, juntas de baixa penetrabilidade (o que não significa grandes problemas para a extração), fissuras de pequeno porte e fraturas de alívio (ANDRADE, 2014).

O granito Meruoca Clássico trata-se de rocha com textura equigranular, isotrópica, com coloração verde clara, com estrutura maciça homogênea. Apresenta granulação variando de média a grossa, onde se destacam feldspatos, quartzo e minerais máficos (biotita, anfibólios e opacos), altamente resistentes ao intemperismo físico-químico e mecânico (ANDRADE, 2014).

A rocha pode ser classificada então como para mercado interno e eventualmente externo, sendo  $60 < \text{IAEG} \leq 70$ , com IAEG de 67,5.

#### **4.9 Análise dos IAEGs para os casos estudados**

Diante dos casos expostos, os valores de cada pontuação das características dos casos estão inseridos no Quadro 5, assim como sua soma final. Em cada rocha, foram observadas principalmente características como cor, presença de fraturas na rocha, presença de veios, xenólitos e oxidações, modo de ocorrência do maciço e distância entre a lavra e a usina



de beneficiamento e a cada uma destas características foram atribuídas pontuações, a fim de se obter seu IAEG.

Quadro 5- Índice de Aproveitamento Econômico-Geológica obtido nas rochas

<b>Rochas Analisadas</b>	<b>FC</b>	<b>FT</b>	<b>FH</b>	<b>FF</b>	<b>FM</b>	<b>FE</b>	<b>FN</b>	<b>FD</b>	<b>FI</b>	<b>IAEG = FC+FT+FH+FF+FM+FE+FN+FD+FI<sup>1</sup></b>
Preto São Marcos	14	10	9 > FH > 3	6	10	5	20	5	8	84
Pegmatóide Dália - Maciço 1	20	10	9 > FH > 3	10	8	0	5	5	6	70
Pegmatóide Dália - Maciço 2	20	10	9 > FH > 3	6	8	0	5	5	6	66
Pegmatóide Dália - Maciço 3	20	10	9 > FH > 3	10	8	0	5	5	6	70
Pegmatóide Dália - Maciço 4	20	10	9 > FH > 3	10	8	0	5	5	6	70
<i>Giallo</i> São Francisco Real	18	6	10 > FH > 9	8	8	5	20	5	8	87,5
Marrom Imperial	12	4	9 > FH > 3	8	8	0	20	5	6	69
Branco Dallas	20	8	3 > FH > 0	8	8	0	20	5	8	78,5
Juparaná <i>Gold</i>	18	4	10 > FH > 9	8	10	0	20	5	5	79,5
<i>Rain Forest</i>	16	4	3 > FH > 0	10	10	0	20	5	5	71,5
Meruoca Clássico	16	4	3 > FH > 0	8	8	0	20	5	5	67,5

Fonte: Vieira et al. (2021)

<sup>1</sup>Legenda:

FC - Fator cor – cores predominantes

FT - Fator textura – texturas predominantes

FH - Fator de homogeneidade - veios, xenólitos, oxidações

FF - Fator fraturamento - densidade do fraturamento

FM - Fator de modo de ocorrência

FE - Fator estrutura - estruturas predominantes

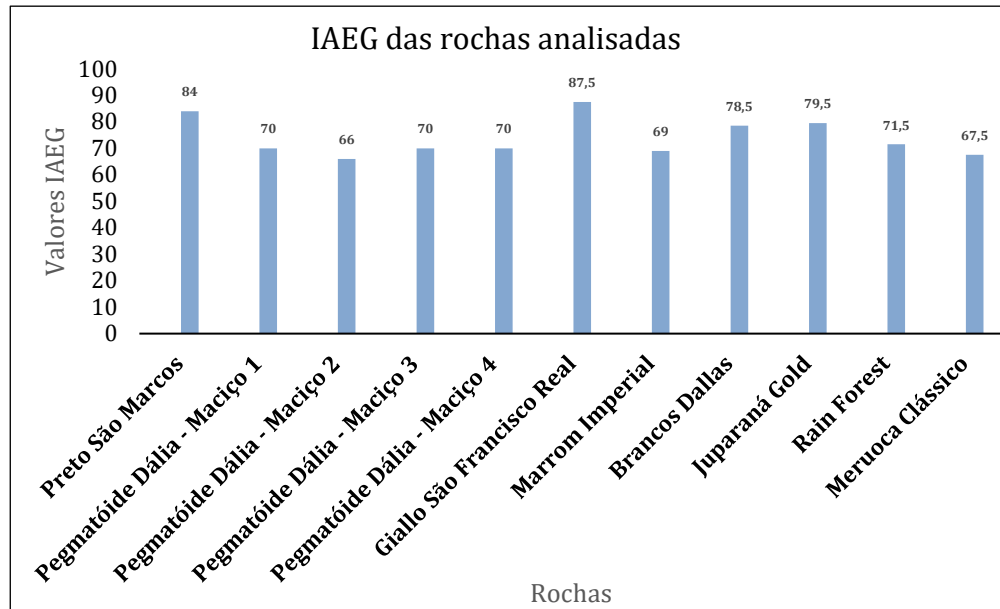
FN - Fator nobreza - posicionamento da rocha no mercado

FD - Fator dureza - dureza relativa

FI - Fator infraestrutura - distância em relação ao polo de beneficiamento

No gráfico 1, é possível visualizar o resultado do IAEG de cada uma das rochas apresentadas.

Gráfico 1 – IAEG de cada rocha analisada



Fonte: Autoria própria.

É perceptível com os dados do Gráfico 1 que, de acordo com as classificações antes traçadas (rochas ornamentais tipo exportação - nobres com  $IAEG > 70$ , rochas para mercado interno e eventualmente externo, sendo  $60 < IAEG \leq 70$  e rochas ornamentais exclusivamente pra mercado interno sendo  $IAEG \leq 60$ ), dos 11 (onze) casos analisados, somente 5 (cinco) se encaixam na classificação de rochas ornamentais tipo exportação, 6 (seis) se classificam como rochas para mercado interno e eventualmente externo e 0 (zero) classificam-se como rochas ornamentais exclusivamente para mercado interno.

Com a análise de cada uma das características das rochas aqui apresentadas, apesar de algumas rochas apresentarem maciços muito fraturados ou apresentarem alta presença de descontinuidades, 5 (cinco) se encaixam na classificação de rochas ornamentais tipo exportação, tais como os maciços Preto São Marcos, *Giallo* São Francisco Real, Branco Dallas, Juparaná *Gold* e *Rain Forest*. Entre estes maciços, é possível perceber três características em comum como suas cores clássicas ou excepcionais, padrão de fraturamento e distância entre sua lavra e o ponto de beneficiamento. Um melhor detalhamento destas características é possível de ser visualizada no Quadro 6.

As cores de cada rocha analisada com IAEG mais alto, se classificadas por seu Padrão Cromático - atributo considerado para qualificação comercial de uma rocha - podem ser classificadas como clássicos ou excepcionais. Os materiais clássicos não sofrem influência de modismos, nos quais se incluem granitos brancos, verdes e pretos. Os materiais excepcionais são normalmente utilizados para peças isoladas e pequenos revestimentos, incluindo granitos amarelos (CHIODI FILHO; RODRIGUES, 2009). As rochas excepcionais têm como principal atributo a diferenciação de produtos, além de serem caras e atender a nichos de mercado (SPÍNOLA et al., 2004).

Realizando a análise das características em comum, é possível perceber que todas as cores dos maciços são as que se destacam no mercado por serem clássicas ou excepcionais, como as cores preto, amarelo, branco e verde. Das 5 rochas analisadas, 3 possuem distância do polo de beneficiamento menor que 100 km, o que de certa forma, compensa possuírem fraturamento variando de médio a alto.

Quadro 6 - Rochas analisadas classificadas como rochas para exportação pelo seu IAEG

<b>Rochas</b>	<b>Características</b>
Granito Preto São Marcos	Cor Preta
	Fraturamento Alto
	Distância em relação ao polo de beneficiamento menor que 100 km
Granito Giallo São Francisco Real	Cor Amarela
	Fraturamento Médio
	Distância em relação ao polo de beneficiamento menor que 100 km
Granito Branco Dallas	Cor Branca
	Fraturamento Médio
	Distância em relação ao polo de beneficiamento menor que 100 km
Granito Juparaná Gold	Cor Amarela
	Fraturamento Médio
	Distância em relação ao polo de beneficiamento maior que 200 km
Granito Rain Forest	Cor Verde
	Fraturamento Baixo

	Distância em relação ao polo de beneficiamento maior que 200 km
--	---

Fonte: Autoria própria

Dos casos classificados como rochas para mercado interno e eventualmente externo, é possível perceber características em comum como a presença de grande fraturamento e distância entre sua frente de lavra e polo de beneficiamento. Em alguns casos há a ocorrência de uma destas características, em outros, a combinação de ambas. Estas características evidenciam uma problemática que se relaciona ao baixo rendimento de uma mina, visto que provoca, de certa forma, desinteresse por parte de compradores e até por parte da produção, visto que blocos fraturados ou não, custam o mesmo valor para beneficiamento e transporte, porém fraturados não valem o mesmo que rochas homogêneas (ANDRADE, 2014).

Os maciços que apresentaram fraturamento extenso, mas apresentam também alto IAEG, sendo classificadas como rochas ornamentais tipo exportação, tiveram essa presença de descontinuidades nas rochas compensadas principalmente pela sua cor (preto, branco, amarelo) e até a mesmo a pouca distância entre a lavra e polo de beneficiamento.

Nas rochas ornamentais, além das cores estarem associadas à sua identificação, também são parâmetros essenciais para qualificação de rochas ornamentais, pois embora seja variável para um mesmo tipo de rocha, em alguns casos atua como propriedade diferenciadora e em outros valoriza o material comercialmente (VIDAL et al., 2014). Além disso, visto que as empresas mineradoras buscam maximizar lucros minimizando custos, é justificável priorizar beneficiamentos em locais mais próximos da lavra, evitando altos custos de transporte.

Segundo Giorgio (2003), na lavra de rochas ornamentais, a presença de estruturas de descontinuidades influencia negativamente sua viabilidade. O tamanho dos blocos extraídos e o percentual de recuperação dependem da geometria das fraturas. Os tipos de descontinuidades que mais prejudicam a atividade de lavra são do tipo rúptil, classificadas como falhas, juntas e zonas de cisalhamento. As feições do tipo dúctil como lineação, foliação, xistosidade, afetam o desenvolvimento da lavra pois suas orientações influem na extração dos blocos, visto que determina as direções de menor resistência à partição do maciço.

De acordo com Brandão et al. (1995 apud FERREIRA, 2004), os principais aspectos levados em consideração no aproveitamento das rochas ornamentais são os estéticos, técnicos, econômicos e mercadológicos. Os fatores estéticos relacionam-se diretamente a aspectos da rocha como textura, estrutura, cor e gênese.

A presença de fraturas nos maciços de rochas ornamentais controla diretamente sua capacidade de fornecer matéria-prima de qualidade. Logo, o valor comercial do material

extraído é considerado para determinar o grau de prejuízo provocado pela intensidade de fraturamento do maciço rochoso. De certa forma, se o valor comercial da rocha for satisfatório, pode compensar, então, blocos pequenos e baixo rendimento da pedreira (SOUSA; PIRES, 1998).

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados nesta pesquisa, foi possível perceber que a presença de fraturas em maciços de rocha ornamental causa problemas para a sua lavra, levando a consequente diminuição da produtividade e rendimento da mina, ocasionando danos ao meio ambiente devido a perda de blocos e em certas vezes, até ao encerramento de suas atividades, sendo um real problema enfrentado por diversas pedreiras.

Ao trazer casos de diversas pedreiras de rochas ornamentais - Granito ornamental Preto São Marcos, Granito Pegmatóide Dália, Granito *Giallo* São Francisco Real, Granito Marrom Imperial, Granito Branco Dallas, Granito Juparaná *Gold*, Granito *Rain Forest*, Granito Meruoca Clássico - com diferentes características (coletadas através de revisão bibliográfica, pesquisas e análises de monografias), buscou-se usar cada uma delas para obter seu Índice de Atratividade Econômica Geológica (IAEG) parcial e assim categorizá-las como rochas ornamentais tipo exportação - nobres, rochas para mercado interno e eventualmente externo e rochas ornamentais exclusivamente para mercado interno.

Em determinadas lavras de rochas ornamentais, a presença de descontinuidades, principalmente fraturas, a depender de seus espaçamentos e frequência, pode prejudicar a recuperação na lavra, causando quebra de blocos, criando passivos ambientais com os rejeitos gerados, e ainda, podem fazer com que o minerador redimensione os cortes para dimensões gerenciáveis (blocos menores) de processamento. Dependendo dos ângulos de mergulho e espaçamento e frequência de fraturas, pode haver a realocação de material extraído para utilização em produtos de baixo valor como brita e pedra tosca.

No entanto, em determinadas pedreiras, fatores como cor e distância de beneficiamento podem compensar estes padrões, fazendo com que o lucro obtido seja maior que o custo da extração de blocos menores ou até mesmo fraturados. Pois, considerando que na mineração um dos principais objetivos é maximizar lucros e minimizar custos, cores mais atrativas no mercado possuem maior valor comercial e menores distâncias de transporte de blocos até o ponto de beneficiamento significa menores custos relacionados a esta atividade.

Logo, conclui-se que em maciços de rochas ornamentais onde há fraturamento, fatores como cor da rocha e distância até o polo de beneficiamento devem ser analisados com perícia para verificar a viabilidade da exploração, considerando principalmente fatores econômicos relacionados à lucratividade. O que é justificado pelos aspectos levados em consideração no aproveitamento das rochas ornamentais como padrões estéticos, técnicos, econômicos e mercadológicos.

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS - Associação da indústria de rochas ornamentais. **Informe 06/2023: Balanço das Exportações e Importações de Rochas Ornamentais no 1º Semestre de 2023.**

Disponível em: <https://abirochas.com.br/biblioteca/informes-abirochas/>. Acesso em: 16 dez. 2023.

ANDRADE, Luiz Alcides Picanco de. **Impactos ambientais provocados pela exploração de granito na Serra da Meruoca – CE.** 2014. 201 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104298>. Acesso em: 30 set. 2023.

ARAÚJO, A. M. M. **Caracterização Tecnológica do granito Dália para fins ornamentais.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ARAÚJO, Aline Marianne Martins; MELO, Evenildo Bezerra de; OLIVEIRA, Felisbela Maria da Costa; OLIVEIRA, Glenda Aparecida Rodrigues de; BARROS, Márcio Luiz de Siqueira Campos. **LEVANTAMENTO GEOLÓGICO ESTRUTURAL E BLOCO DE PARTICIÃO: caso do granito pegmatóide Dália.** Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração, [S.L.], Editora Cubo. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1015>, v. 13, n. 2, p. 161-165, 2016.

BAYLÃO, MCC.; WANDER, AE. **Setor de produção de rochas ornamentais: uma revisão sistemática da literatura.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 14, pág. e316111436278, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.36278. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/36278>. Acesso em: 4 dez. 2023.

BOLONINI, T. M., SAAR, L. C. A., GODOY, A. M., & SILVEIRA, L. L. L. D. (2015). **Aspectos litoestruturais na lavra do granito Giallo São Francisco Real. Barra de São Francisco, ES.** In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2015/CAC00020015.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2023.

BRANDÃO, R. d. L.; FREITAS, L. C. B. **Geodiversidade do estado do Ceará.** Fortaleza-CE: [s.n.], 2014. CPRM. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16726>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios.** Brasília: MCidades; IPT, 2007. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CAMPOS, Filipe Fonseca de. **Estudo da estabilidade de um talude filito na região metropolitana de Belo Horizonte.** 2020. 64 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Tecnológico, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá/Mg, 2020.



CARMONA, Luis Christian de Montreuil. **Geologia, Geoquímica e Avaliação Econômica do Migmatito "Rosa Imperial", Domínio Meridional da Província Borborema, Nordeste Brasileiro**. 2002. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

CARVALHO, J.M.F. **Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline**. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 45, 1306–1319. 2008.

CARVALHO, Jorge M. F.. **Prospecção de Rochas Ornamentais**. Revista Portugal Mineral, Portugal, v. 3, p. 97-103, jul. 2011.

CHIODI FILHO, Cid. **Situação atual e perspectivas brasileiras no setor de rochas ornamentais e de revestimento**. CETEM/MCTI, 2007.

CHIODI FILHO, Cid; RODRIGUES, Eleno de Paula. **Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos: projeto bula**. 118 p. São Paulo: ABIROCHAS - Associação Brasileira de Rochas Ornamentais, 2009.

CHIODI FILHO, Cid. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. Brasília: Abirochas - Associação Brasileira de Rochas Ornamentais, 2018. 34 p.

DIOGENES, Davi Henrick Veras. **PANORAMA ECONÔMICO DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO CEARÁ**. Geociências: Entraves, lacunas profissionais e pesquisa, [S.L.], p. 7-19, 3 abr. 2023. Atena Editora.  
<http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.4652303042>. Acesso em: 25 nov. 2023.

FEITOSA, Maria Carolina de Albuquerque. **Avaliação geoestrutural da pedra de granito marrom imperial em Umari – João Alfredo/PE**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

FERREIRA, Samuel Nunes. **Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na pedra Knawa, Cláudio (MG)**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 576 p. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FOSSSEN, Haakon. **Geologia Estrutural**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

GIORGIO, D. **Fatores geológicos no planejamento de lavra de rochas ornamentais**. 2003. 168f. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

GIORGIO, D.; KOPPE, J.C.; QUADROS, T.; KLEIN, S.; LEITE, J.F.C. **Análise estrutural no planejamento de lavra de rocha ornamental**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 56, n.

3, p. 176, jul./set. 2003.

HESSEL, Roberto; FRESCHI, Agnaldo A.; ROSADO, Everton C.; BARREIRO, Luiz A.. **Determinação do módulo de Young em sólidos a partir da medida da velocidade do som pelo método do tempo de voo.** Revista Brasileira de Ensino de Física, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 1-10, 10 fev. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2015-0014>.

HUDSON, John A.; HARRISON, John P.. **Engineering rock mechanics: an introduction to the principles.** 458 p. Uk: Elsevier Science Ld, 1997.

LIMA, R. R.; AGRAWAL, V. N.; LIMA, A. A.; LIMA, W. B. C. **Característica petrográfica e metodologia de lavra adotada para exploração do granito ornamental Preto São Marcos - Casserengue (PB): NATAL:** In: XIX SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. Resumos v. 17. p. 177, 2001.

LIMA, R. R.; AGRAWAL, V. N.; LIMA, A. A.; RAMOS NETO, J. L.. **Características das fraturas do granito ornamental Preto São Marcos (Casserengue, PB) e seu impacto na viabilidade de exploração da jazida.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, Natal. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2007. p. 193-199. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1322>>. Acesso em: 28 set. 2023.

MARCELO. **Carlos Rubens busca na Itália novidades do setor de rochas ornamentais.** Disponível em: <<https://www.portalin.com.br/negocios/carlos-rubens-busca-na-italia-novidades-do-setor-de-rochas-ornamentais/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

MARSHAK, S.; PLUIJM, Ben A. van der. **Earth Structure: an introduction to structural geology and tectonics.** 2. ed. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 2004. 656 p.

MATTOS, I. C.; NOGUEIRA, R. E. F. Q.; ARGONZ, R.; NOGUEIRA NETO, J. A.. **Resultados do projeto de aproveitamento de resíduos da extração de granitos da serra da Meruoca,CE.** IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, 2007, Natal. Anais... p. 277-287. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008.

MAXWELL. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20410/20410\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20410/20410_3.PDF)>, [s.d].

MAZZALI, L. C. **Índice Alternativo de Fraturamento de Maciços Rochosos Aplicado ao Planejamento de Rochas Ornamentais.** 2014. 129 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MOSCH, S.; NIKOLAYEW, D.; EWIAK, O.; SIEGESMUND, S. **Optimized extraction of dimension stone blocks.** Environmental Earth Sciences, Germany, Aug. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-010-0825-7>. Acesso em: 27 de jun. 2023.

MOURA, P. ; MATTOS, I. C. **Um breve panorama sobre uso e principais ocorrências das pedras cearenses.** In: DEL LAMA, E. A. et al., (org.). Patrimônio em Pedra. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2021. p. 129-143. Disponível em:

<http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/631>. Acesso em: 24 nov. 2023.

PASSCHIER, Cees W.; TROUW, Rudolph A. J.. **Microtectonics**. 2. ed. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. 366 p.

REIS, R. C.; SOUSA, W. T. de. **Métodos de lavra de rochas ornamentais**. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto/MG, v. 56, n.67, p. 207-209, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rem/a/vdjhcGtZGhNtsCs5HfQFfbn/>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SAAR, L. C. A. **Avaliação dos “Granitos” Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, do município de Barra de São Francisco/ES para aplicação como rocha ornamental e de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Rio Claro - SP. Rio Claro, SP, Ed. UNESP, 2013.

SANTOS, F. W. P. **Análise das principais rochas ornamentais produzidas no estado do Ceará de acordo com o potencial de mercado e características geológicas**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/69896>. Acesso em: 01 set. 2023.

SOUSA, L. M. O.; PIRES, C. A. C. **A influência da fracturação na exploração de rochas ornamentais: o caso do granito de Pedras Salgadas (Vila Real, Norte de Portugal)**. Cadernos Laboratório. Xeolóxico de Laxe, Coruña., 23, p. 59-69. 1998.

SOUZA, V. C. **Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimento do estado de Pernambuco**, dissertação, UFPE, Recife, 2008.

SPÍNOLA, Vera; GUERREIRO, Luis Fernando; BAZAN, Rafaela. **A indústria de rochas ornamentais**. Salvador: Desenbahia, 2004.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, 400 p. 2003.

TARBUCK, Edward J.; LUTGENS, Frederick K.. **Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física**. 8. ed. Madrid: Pearson Educación S.A., 2005. 686 p.

TEIXEIRA, Wilson; TOLEDO, Maria Cristina Motta de; FAIRCHILD, Thomas R.; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. 557 p.

TROUW, R. A. J.; PASSCHIER, C. W.; WIERSMA, D.J.. **Atlas of Mylonites and related microstructures**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 322 p.

TUCKER, Maurice E.. **Sedimentary Rocks in the Field**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003. 237 p.

TWISS, Robert J.; MOORE, Eldridge M.. **Structural Geology**. United States Of America: W. H. Freeman And Company, 1992. 532 p.

VALLEJO, L. I. G. ; ABAD, L. O. ; GIJÓN, M. F. ; MAZO, C. O. **Ingeniería Geológica**. Madrid: Pearson Educación, 2004. 744 p.

VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; SOUSA, J. F. d.; MATTOS, I. C. **Rochas ornamentais e de revestimento. In: Rochas e minerais industriais do estado do Ceará.** Fortaleza-CE: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. cap. 5, p. 25–48. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/495/1/livro-rochas-minerais-ceara.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

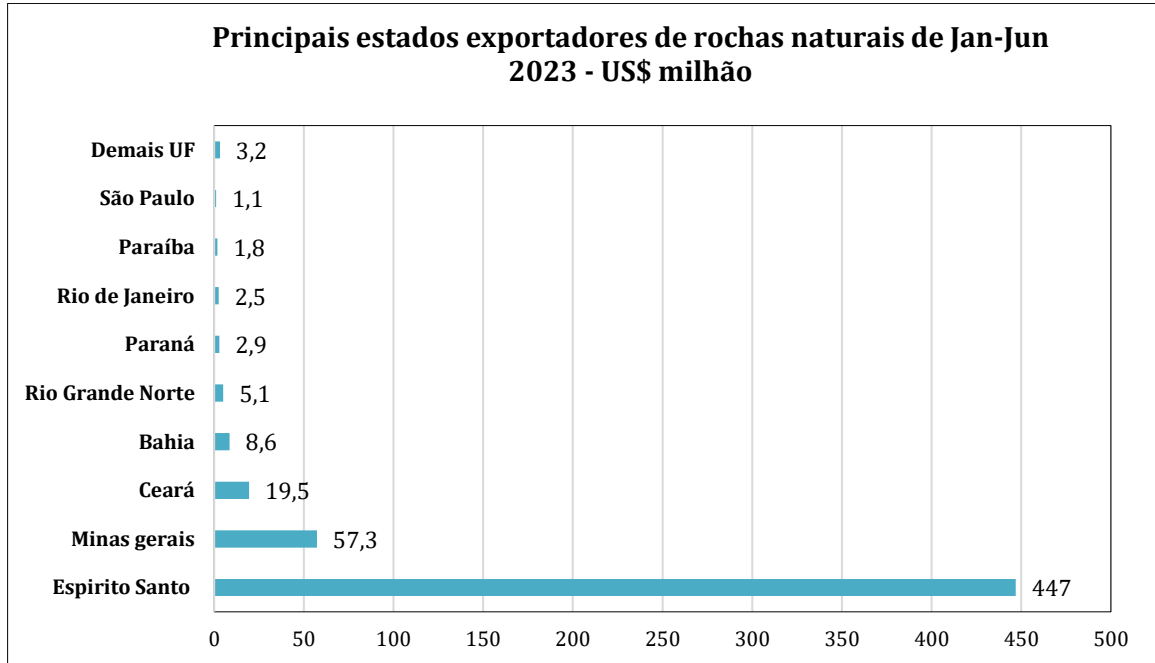
VIDAL, Francisco W. H.; AZEVEDO, Hélio C. A.; CASTRO, Nuria F.. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento.** Rio de Janeiro: Cetem/MCTI, p. 700. 2013.

VIEIRA, V. S. et al. **Rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo - Mapa de Potencialidades.** [s.l.] CPRM, 2021.

WALDRON, John W.F.; SNYDER, Morgan. **Geological Structures: a Practical Introduction.** Canadá: Open Educational Resources, 2020.

## ANEXO A – GRÁFICO DOS PRINCIPAIS ESTADOS EXPORTADORES DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2023

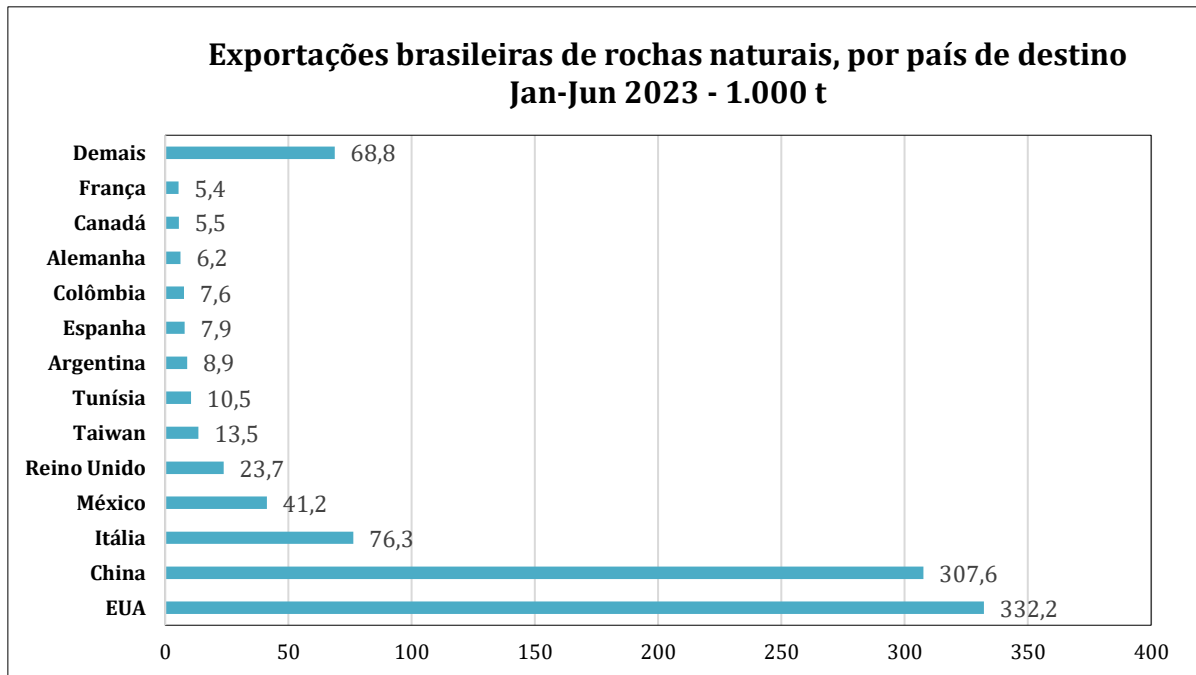
Gráfico 2– Principais estados exportadores de rochas ornamentais no 1º semestre de 2023



Fonte: ABIROCHAS (2023)

**ANEXO B – GRÁFICO DOS PRINCIPAIS PAÍSES DE DESTINO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS EXPORTADAS NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2023 (POR TONELADA)**

Gráfico 3 – Exportações brasileiras de rochas ornamentais por país de destino no 1º semestre de 2023



Fonte: ABIROCHAS (2023)