



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Mineral (CEEM)

Matheus da Silva Soares

**CORRELAÇÃO DE ÓXIDOS COM ANÁLISES COLORIMÉTRICAS DE LITOLOGIAS DE
CALCÁRIO PARA USO INDUSTRIAL**

Poços de Caldas
2023



Matheus da Silva Soares

**CORRELAÇÃO DE ÓXIDOS COM ANÁLISES COLORIMÉTRICAS DE LITOLOGIAS DE
CALCÁRIO PARA USO INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte
dos requisitos para a integralização do curso de
Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Tecnologia Mineral
Orientador: Prof.(a) Dr.(a) Carolina Del Roveri

Poços de Caldas
2023



Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Soares, Matheus da Silva.

Correlação de óxidos com análises colorimétricas de litologias de calcário para uso industrial / Matheus da Silva Soares. - Poços de Caldas, MG, 2023.

36 f. : il. -

Orientador(a): Carolina Del Roveri.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Calcário. 2. Correlação. 3. Fluorescência de raio-x. 4. Colorimetria. I. Roveri, Carolina Del, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.



Matheus da Silva Soares

CORRELAÇÃO DE ÓXIDOS COM ANÁLISES COLORIMÉTRICAS DE LITOLOGIAS DE CALCÁRIO PARA USO INDUSTRIAL

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia Mineral (CEEM).

Área de concentração: Tecnologia Mineral.

Aprovada em: 16 de Outubro de 2023

Orientador: Profa. Dra. Carolina Del Roveri

Instituição: UNIFAL – Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 1: Profa. Dra. Ana Olivia Barufi Franco de Magalhães

Instituição: UNIFAL – Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Examinador 2: Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro

Instituição: UNIFAL – Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho do mapa geológico da porção sul do Arco Magmático de Goiás, localização da área estudada.....	15
Figura 2 - Espaço de Cores L*a*b (CIELAB).....	17
Figura 3 - Esquema geométrico do funcionamento dos dois tipos mais comuns de espectrômetros de raios-X.....	20
Figura 4 – Fluxograma do processo de preparação de amostras.....	22
Figura 5 - Amostra A1.....	23
Figura 6 - Amostra A2.....	23
Figura 7 - Amostra A3.....	24
Figura 8 - Amostra A4.....	24
Figura 9 - Amostra A5.....	24
Figura 10 - Amostra A6.....	24
Figura 11 - Amostra A7.....	25
Figura 12 - Amostra A8.....	25
Figura 13 - Amostra A9.....	25
Figura 14 - Amostras no plano cartesiano com eixos a* e b*.....	27
Figura 15 – Mineral de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$) em uma matriz calcítica na amostra A1.....	28
Figura 16 – Wollastonita (CaSiO_3) na amostra A2.....	28
Figura 17 – Dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$) na amostra A2.....	29
Figura 18 – Wollastonita (CaSiO_3) presente na amostra A3.....	29
Figura 19 – Wollastonita (CaSiO_3) em ver na A4.....	29
Figura 20 – Dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$) na A4.....	29
Figura 21 – Muscovita ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$) na A4.....	30
Figura 22 – Calcitas (CaCO_3) presentes na A5.....	30
Figura 23 - Calcita (CaCO_3) incolor na amostra A6.....	30
Figura 24 - Calcita (CaCO_3) e muscovita ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$) na amostra A7.....	30
Figura 25 - Muscovita ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$) na amostra A7.....	31
Figura 26 - Calcita (CaCO_3) vermelha ou ankerita ($\text{Ca}(\text{Fe}^{2+},\text{Mg},\text{Mn}^{2+})(\text{CO}_3)_2$) na amostra A8.....	31
Figura 27 – Calcita (CaCO_3) azul na amostra A9.....	31



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
2. OBJETIVO	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. Calcário	11
3.2. Mercado internacional do carbonato de cálcio moído	11
3.3. Impurezas das rochas calcárias	12
3.4. Geologia regional da área de estudo	13
3.4.1. Província Tocantins	13
3.4.2. Faixa Brasília	14
3.4.3. Arco Magmático de Goiás	14
3.4.4. Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí	15
3.5. Colorimetria	16
3.6. Padronização dos sistemas de cores	16
3.7. Índice de Alvura e Amarelecimento do Calcário	18
3.8. Fluorescência de Raios-X para Caracterização Geoquímica.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1. Seleção e coleta das amostras.....	21
4.2. Preparo das amostras para análise dos óxidos maiores por fluorescência de raio X....	21
4.3. Preparação das amostras para análise colorimétrica	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
6. CONCLUSÕES	34



RESUMO

O Brasil é considerado autossustentável para a rocha industrial calcário, tendo atualmente vastas reservas para a sua extração. Essa rocha tem grandes utilidades e a que tem maior rendimento e retorno financeiro é para *filler* industrial, cuja função é conferir volume para produtos das indústrias de tintas, plásticos e papéis. Com isso, há uma grande demanda por um produto com alta qualidade, tanto na granulometria, quanto na alvura. Para isso é necessário melhorar a precisão da cadeia produtiva, identificando os elementos químicos que reprovam a qualidade da matéria prima, em vista que, os parâmetros de cor, adotados pela indústria, não são aditivos, dificultando tanto o processo de estimativa e também o de blendagem de material, logo, a metodologia feita neste trabalho é para encontrar, preliminarmente, uma correlação entre as características colorimétricas, os teores dos óxidos e de análises macroscópicas de litologias de uma mina de calcário com fins para uso industrial.

Palavras-chave: Calcário; Correlação; Fluorescência de raio-x; Colorimetria.



ABSTRACT

Brazil is considered self-sustainable in industrial limestone rock, currently having vast reserves for its extraction. This rock has various uses, and the most profitable one is for industrial filler, which provides volume to products in the paint, plastic, and paper industries. Consequently, there is a high demand for a product with high quality, both in particle size and whiteness. To achieve this, it is necessary to improve the precision of the production chain by identifying the chemical elements that affect the quality of the raw material. The color parameters adopted by the industry are not additive, making both the estimation process and material blending difficult. Therefore, the methodology addressed in this study aims to find, preliminarily, a correlation between the colorimetric characteristics, oxide content, and macroscopic analyses of lithologies from a limestone mine intended for industrial use.

Keywords: Limestone; Correlation; X-ray fluorescence; Colorimetry.



1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O calcário é uma rocha industrial, que tem uma vasta aplicação como carbonato de cálcio para fins agrícolas ou como o principal insumo em indústrias de tintas, papéis, plásticos e de cimento. Huwald (2001) acrescenta que a produção de minerais industriais é tão relevante, que pode ser usada como indicador de desenvolvimento econômico de um país. Nessa perspectiva, o calcário para fins nobres é utilizado para *filler* de tintas e papéis, sua demanda por essas indústrias é que seja o mais alto possível. A alvura é o parâmetro colorimétrico principal para essa atividade, porém não tem propriedade aditiva, o que pode complicar as etapas de planejamento de mina, pois não pode ser estimada por metodologias geoestatísticas tradicionais, e na mistura de minérios na planta (CONCEIÇÃO e PETTER, 2004) (GLIESE e PETTER, 2001).

Dito isto, questiona-se: qual é a correlação entre os óxidos presentes nas rochas em relação a suas características colorimétricas? Pensando nisso, este trabalho buscou responder esta questão por meio da análise macroscópica, química e de cores de litologias de uma mina de calcário em Indiara-GO, visando, de modo preliminar, conhecer os elementos químicos que afetam a qualidade da rocha e as decisões dos avanços de lavra da empresa, cuja preferiu não ser identificada.



2. OBJETIVO

Propor uma metodologia de teste de correlação de cores de rochas com seus teores analisados por fluorescência de raio-x, juntamente com análises macroscópica dos minerais, visando identificar os elementos químicos e minerais que colorem o calcário e afetam o processo de qualidade industrial e as decisões para os avanços da lavra, pois os parâmetros de alvura e amarelecimento não são variáveis aditivas, logo não podem ser estimados como acontece normalmente com os teores, mostrando a necessidade de um procedimento que correlacione os elementos químicos com as cores.

2.1. Objetivo geral

Encontrar a correlação de óxidos presentes em litologias de uma mina de calcário com suas respectivas cores.

2.2. Objetivos específicos

O objetivo do trabalho se dividirá nas seguintes etapas:

- Coletar amostras representativas de uma mina de calcário em Indiará – Goiás.
- Realizar análises macroscópicas dos minerais presentes nas rochas.
- Realizar análises químicas pelo método de fluorescência de raio-x e análises colorimétricas pela espectrofotometria.
- Correlacionar os dados de cor, química e das análises macroscópicas.



3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Calcário

Dentre todos os bens minerais comercializáveis as rochas carbonatadas possuem uma das maiores variabilidade de uso, podendo ser utilizadas na indústria da construção, material para agregados, rochas ornamentais, corretivo de acidez de solo, na indústria siderúrgica para a precipitação de substâncias indesejáveis ao processo e também como carga mineral nas indústrias de tintas, plásticos, vidros, cerâmicas e telhas.

Segundo Sampaio & Almeida (2008), as rochas carbonatadas mais abundantes são os calcários, majoritariamente composta por calcita (CaCO_3), e os dolomitos, composta basicamente por dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), seguidas pelo mármore que é a rocha calcária metamorfizada. Azambuja (2011) complementa que calcários, dolomitos, margas ou arenitos com cimento carbonático, passado pelo processo de metamorfismo, forma uma variedade de rochas metamórficas que são marcadas por conter carbonatos recristalizados e/ou silicatos de cálcio e magnésio em diversas proporções, sendo assim, quando prevalecem os carbonatos recristalizados, essas rochas são chamadas de mármore. As impurezas mais comuns nas rochas carbonatadas são as argilas.

A fim de entender melhor a diferença das rochas, as proporções de calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), bem como os componentes não-carbonatados são considerados e mensurados para a classificação mineralógica da rocha calcária, que são combinadas com os parâmetros de textura, porém, mesmo assim, não são métodos precisos para aplicações industriais desse bem mineral. Desse modo, recursos como análises químicas mais complexas, difração de raios X, microscopia eletrônica, entre outros, vem sendo muito utilizados para a complementação das características físicas dos minerais carbonatados mais abundantes (Sampaio & Almeida, 2008).

3.2. Mercado internacional do carbonato de cálcio moído

Segundo o Market Analysis Report 2023 da Grand View Research para o carbonato de cálcio moído (GCC), o mercado tem o tamanho de US\$ 30,7 bilhões em 2022 e deve crescer a



uma taxa anual de 6,6% de 2023 a 2030. Esse crescimento é impulsionado pelo aumento do uso do GCC como enchimento em indústrias como plástico, borracha, papel, tintas e compostos poliméricos. A substituição de resinas caras por carbonato de cálcio moído acessível reduz significativamente os custos dos compósitos poliméricos, tornando-o uma escolha popular. No setor papelero, o carbonato de cálcio moído é essencial para atender à demanda por papéis mais brilhantes e volumosos, ganhando importância como substituto do caulim.

A região Ásia-Pacífico liderou o mercado em 2022, com mais de 40% da receita, impulsionada pelo crescimento econômico, urbanização e desenvolvimento de infraestrutura em setores como construção e papel. A China, um centro industrial global, beneficiou-se de regulamentações favoráveis e mão-de-obra qualificada, prevendo-se aumento na demanda por carbonato de cálcio moído em indústrias como construção, automotiva e eletrônica nos próximos anos (GVR, 2023).

A América do Norte representou mais de 31% da receita em 2022, com previsão de crescimento anual de 6,9%. Destaca-se na indústria de tintas e revestimentos, onde o GCC é usado para melhorar a durabilidade e opacidade. A demanda por revestimentos arquitetônicos e industriais nos EUA e Canadá continua impulsionando o consumo de GCC nesse setor (GVR, 2023).

3.3. Impurezas das rochas calcárias

As impurezas dos calcários estão diretamente associadas ao processo de deposição do CaCO_3 , porém podem ocorrer em etapas posteriores a deposição. Podem representar um fator limitante ao aproveitamento econômico, principalmente quando são utilizados para fins nobres, como carga para tintas, papel e borracha, uma vez que o controle das impurezas é mais rígido, além disso, podem também ser problemáticas no âmbito operacional, dificultando o processamento do material na planta de beneficiamento (Sampaio & Almeida, 2005).

Conforme apresentado nos estudos de Sampaio & Almeida (2005) os argilominerais, tais como caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), illita ($((\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})])$), clorita ($((\text{Mg},\text{Al},\text{Fe})_{12}[(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{16})$), esmectita ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.n\text{H}_2\text{O}$) e outros tipos de micáceos podem estar concentrados em leitos no interior da rocha, ou de forma disseminada na extensão



do maciço rochoso. Em quantidades consideráveis as argilas podem converter um calcário que apresenta alto teor de cálcio em uma rocha argilosa (marga). Quando esse material é utilizado para a produção de cal, ou seja, passa por um processo de calcinação, resulta em um produto com propriedades hidráulicas, que entre 5 a 10% de argila produz cal fracamente hidráulica e de 15 a 30% de argila pode produzir cal fortemente hidráulica.

Impurezas que não são argilominerais, mas são ricas em sílica podem comprometer o aproveitamento econômico e operacional do calcário, produzindo efeitos nocivos ao seu beneficiamento, podendo danificar moinhos (utilização de carga industrial e fabricação de calcário agrícola) e em fornos (utilização como cal) ao ponto de aumentar drasticamente paradas para manutenções (Sampaio & Almeida, 2005).

Possivelmente, uma das impurezas mais prejudiciais quando as rochas carbonatadas são destinadas a fins industriais são os compostos de ferro, que promovem quedas na alvura dos produtos, diminuindo assim seu valor de mercado, ou até mesmo caracterizando produto fora dos padrões para fabricação de matérias que necessitem de uma alvura muito elevada como no caso de tintas, plástico e borrachas. A contaminação do material por ferro, geralmente, ocorre na forma de pirita (FeS_2), limonita (hidróxido férrico), raramente pode ser encontrado junto ao calcário hematitas (Fe_2O_3), marcassitas ou outros minerais de ferro (Sampaio & Almeida, 2005).

3.4. Geologia regional da área de estudo

Os depósitos de calcário da área de estudo estão localizados na sequência metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí na região sul do Arco Magmático de Goiás, em sua maioria na Zona Interna da Faixa Brasília na porção leste da Província Tocantins (BIZZI et al., 2003).

3.4.1. Província Tocantins

A Província Tocantins está localizada na porção central do Brasil e é ramificada em três faixas de dobramento de evolução diacrônica: Brasília, Paraguai e Araguaia. Todas estas faixas são resultantes da convergência do Cráton do Amazonas, a oeste; Cráton do São Francisco, a



leste; e Cráton Paranapanema, a sudoeste; que ocorreu durante a amalgamação do Gondwana Oriental (BIZZI et al., 2003). O embasamento é formado por terrenos arqueanos e paleoproterozóicos, que era atribuídos ao Maciço Mediano de Goiás e fora retrabalhado durante o Ciclo Brasileiro (Almeida, 1967).

3.4.2. Faixa Brasília

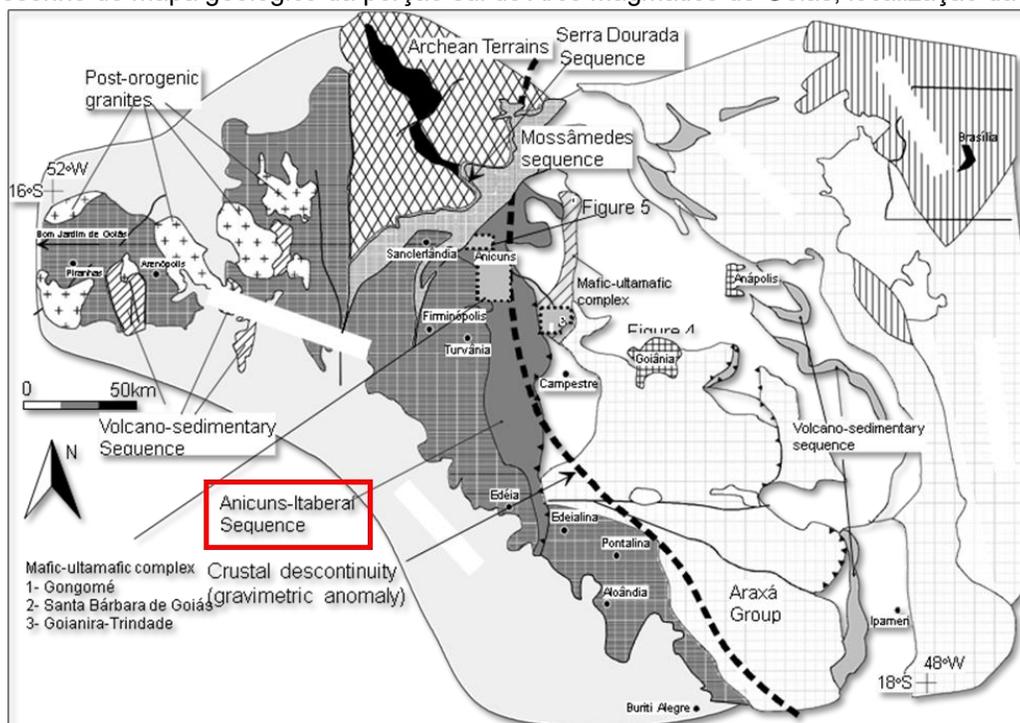
Na porção leste da Província Tocantins e na borda oeste do Cráton São Francisco encontra-se o Cinturão de Dobramentos da Faixa Brasília, englobando assim grande parte do Estado de Goiás, a região sul do Estado do Tocantins e uma faixa oeste de Minas Gerais, que por sua vez faz contato com orógenos brasileiros da Província Mantiqueira, a sudoeste, e com rochas da Bacia do Paraná, a oeste (BIZZI et al., 2003).

Há propostas de divisão do cinturão levando em conta a intensidade dos processos deformacionais e metamórficos que atuaram na região, formando assim dois domínios na Faixa Brasília: Zona Externa e Zona Interna; além de áreas definidas de exposição do embasamento granitognássico (FUCK et al., 1994, apud. BIZZI et al., 2003).

3.4.3. Arco Magmático de Goiás

O Arco Magmático de Goiás (Figura 1), compreendido pela Zona Interna da Faixa Brasília, juntamente com uma faixa de acreção crustal Neoproterozoica, e o Maciço de Goiás, zona composta pelo Terreno Arqueano-Paleoproterozoico, com rochas metassedimentares do Grupo Serra da Mesa, complexos máfico-ultramáficos acamadados de Barro Alto, Niquelândia e Cana Brava e sequências metavulcanossedimentares associadas incluindo a Sequência Anicuns-Itaberaí (PIMENTEL; FUCK, 1992).

Figura 1 - Desenho do mapa geológico da porção sul do Arco Magmático de Goiás, localização da área estudada.



Fonte: Pimentel et al., 2000 apud LAUX, 2004

3.4.4. Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí

Barbosa (1987) afirma que a Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí é formada principalmente por anfibólitos e rochas metapelíticas, formações ferríferas, mármore e cherts, além de rochas ultramáficas em segundo plano. É possível distinguir duas unidades: a Unidade Tufácea de leste e Unidade Química, sendo esta última composta prioritariamente por metacherts com impurezas, podendo conter sulfetos, rochas máficas-ultramáficas komatiíticas e por calcários (MOURA, 2007).

A Sequência Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberaí simboliza uma unidade geológica essencial para a domínio do conhecimento da evolução do Arco Magmático de Goiás e dos terrenos adjacentes por três motivos principais: (I) forma uma das maiores sequências supracrustais dentro desta unidade tectônica, (II) vem sendo tipicamente apontada como uma sequência de *greenstone* arqueana ou paleoproterozóica, e (III) compatibiliza com uma



descontinuidade gravimétrica com nível de importância regional, destacando um alto gravimétrico a oeste e um baixo gravimétrico a leste (BAÊTA JUNIOR, 1994).

3.5. Colorimetria

Em minerais e rochas várias propriedades podem ser observadas a fim de classificá-los, e dentre esses parâmetros, a cor é geralmente a que mais chama a atenção no primeiro momento. Em alguns minerais a cor pode ser um critério distintivo, porém para a maioria dos minerais e rochas, ela é uma propriedade com alta variabilidade não sendo, dessa forma, muito confiável, principalmente, quando falamos de uma determinação a olho nu (KLEIN; DUTROW, 2012).

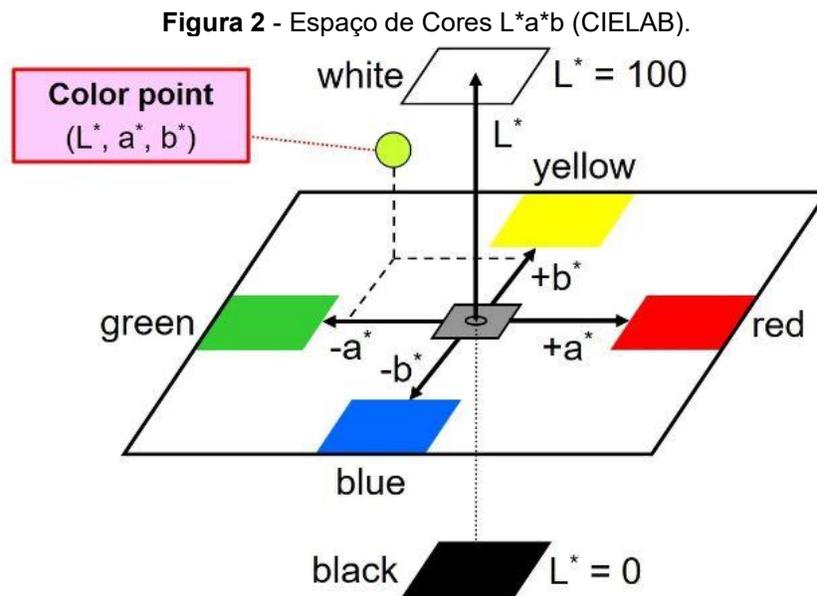
A resposta do olho ao campo visível da luz do espectro eletromagnético é o que definimos como cor. A luz que é visível pelo ser humano é restrita por um intervalo de onda em torno de 350 a 750 nanômetros (1nm = 10 angstrom) (KONICA MINOLTA, 2000).

Portanto, quando a luz branca alcança a superfície do mineral, ela pode ser transmitida, dispersada, refletida, refratada ou absorvida. Tanto a dispersão quanto a reflexão são o que definimos como o brilho de um objeto, sendo assim, se o mineral é incolor em luz refletida e transmitida, a luz não passa pelo processo de absorção, portanto, as rochas e os minerais são coloridos quando os comprimentos de onda da luz são absorvidos e a cor que chega aos olhos é o resultado da combinação dos comprimentos de onda remanescentes são transmitidos através do cristal (KLEIN; DUTROW, 2012). A fim de definir quais comprimentos de onda são absorvidos ou transmitidos por minerais e rochas, é necessário quantificar a absorção, função esta realizada pelo espectrofotômetro.

3.6. Padronização dos sistemas de cores

Em 1976, a CIE (*Commission Internationale d'Éclairage*) criou um novo sistema de padronização de cores chamado de CIELAB ou $L^*a^*b^*$, um sistema tridimensional de espaços de cores uniforme, que é produzido pela plotagem em coordenadas retangulares dos valores de "L", "a*" e "b*". No qual "L" corresponde ao valor de luminosidade, que é a propriedade de absorção

ou reflexão de uma partícula de luz por uma amostra, seu valor quando positivo indica maior brilho e negativo indica uma amostra ou objeto mais escuro; “a*” corresponde ao eixo verde-vermelho, denotando cores mais avermelhadas quando positivo e mais esverdeadas quando negativo e “b*” que corresponde ao eixo azul-amarelo, denotando cores mais amareladas quando positivo e mais azuladas quando negativo, conforme a Figura 2 (ASTM, 2001):



Fonte: Beetsma (2020).

Os valores das coordenadas são definidos pelas Equações 1, 2 e 3.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left[(X/X_n)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left[(Y/Y_n)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_n)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3)$$

Onde: X/X_n ; Y/Y_n ; $Z/Z_n > 0,01$

Os valores de X, Y e Z são chamados de valores tristímulus e representam, respectivamente, os comprimentos de onda das cores vermelho, verde e azul. Já as variáveis X_n , Y_n e Z_n definem a cor do estímulo do objeto-cor comumente branco. Geralmente, o estímulo do



objeto-cor branco é dado pelo espectral de um iluminante padrão ideal da CIE, como, por exemplo, os iluminantes A, C ou D65, sendo este último utilizado nesse estudo, ou algum outro com qualidade de luz do dia, refletido no olho do observador pelo difusor refletor perfeito. Dessa forma, X_n , Y_n e Z_n são valores do iluminante padrão, sendo Y_n igual a 100 e obtido pelo uso do mesmo método utilizado para obter X, Y e Z (ASTM, 2001).

3.7. Índice de Alvura e Amarelecimento do Calcário

A alvura é definida pela relação, apresentada em porcentagem, da energia refletida por um objeto ao ser comparada a um difusor que representa o valor de 100% de reflectância, sendo assim, a alvura é expressa pela reflectância em variados valores de comprimento de onda. Algumas impurezas do calcário como minerais de titânio ou ferro podem afetar a alvura, dessa forma, faz-se necessário um beneficiamento mineral com maiores gastos na retirada destes contaminantes, a fim de elevar o percentual de alvura e, conseqüentemente, capacitar o minério processado a ser aproveitado pelas indústrias de vidros, cerâmicas, papeis e *filler* (GIMSHUAW, 1971 apud PACHECO; SAMPAIO, 2001).

A avaliação colorimétrica de rochas é dependente da granulometria do material, sendo necessário após sua pulverização, a confecção de pastilhas prensadas, para que seja possível a determinação dos parâmetros espectro-colorímetros como a alvura, calculada pela Equação 4 (CIE 15, 2004).

$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y) \quad (4)$$

Onde W é o índice de alvura (*Whiteness*), Y é o valor do triestímulo Y (combinação tricromática das cores primárias), x e y são coordenadas cromáticas da amostra, x_n e y_n são coordenadas cromáticas do difusor perfeito.

O índice de alvura está correlacionado com o eixo amarelo-azul, portanto quanto menor o índice de amarelo lido pelo equipamento maior o índice de alvura quando comparando amostras



de mesma granulometria e formato. Portanto, o índice de amarelecimento (*Yellowness*) se mostra muito útil nas indústrias de beneficiamento, como nas de calcário para produção de carga mineral.

O cálculo pode ser definido pela Equação 5 (CIE 15, 2004).

$$Y = \frac{100 (C_x X - C_z Z)}{Y} \quad (5)$$

Onde Y é o índice de amarelecimento (*Yellowness*), C_x e C_z são os coeficientes padrões para Iluminante e Observador – CIE, e X , Y e Z são os valores triestímulos da amostra.

3.8. Fluorescência de Raios-X para Caracterização Geoquímica

A fluorescência de raios-X (FRX) consiste na mensuração das intensidades de raios-X emitidos pelos elementos químicos de determinada amostra quando devidamente excitados. Este fenômeno é amplamente utilizado para análise elementar e para análises químicas. A espectrometria de fluorescência de raio-x destaca-se por ser uma técnica instrumental bastante dinâmica e não destrutiva, podendo dessa forma manter a integridade da amostra analisada, além de possibilitar, a baixo custo e rapidamente, a determinação de vários elementos com uma ampla faixa de números atômicos (JENKINS, 1999).

A FRX permite a detecção dos teores de elementos numa amostra geológica, sendo uma técnica bastante eficaz e utilizada em conjunto com a difração de raios-X (DRX). Vários estudos em rochas e solos utilizam esta técnica para determinação de seus teores elementares ou de óxidos totais de forma rápida, determinando os elementos maiores, menores e elementos traços. Quanto melhor é a quantificação dos elementos menores e traços, aumentando assim a precisão da técnica e o número de elementos a ser analisado, mais caro e moroso fica o processo de caracterização química (SOUSA, 2015).

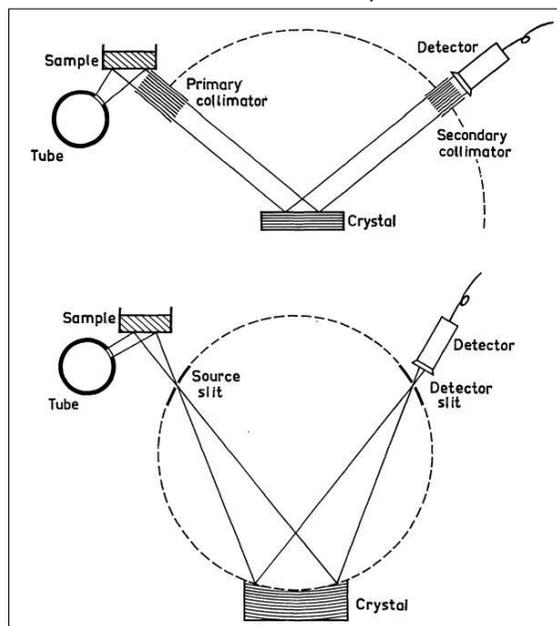
Segundo Jamaluddin et. al., em algumas situações, a FRX também pode ser utilizada para determinar a espessura e composição de camadas e revestimentos. As aplicações podem ser muito amplas e abrangendo ciência de materiais e indústrias alimentícias, juntamente com minério, geoquímica, além de análise ambiental de água e resíduos.

Existem dois tipos básicos de espectrômetros de raios-X, os espectrômetros de cristal plano e espectrômetros de cristal curvado (Figura 3), em ambos o sistema de funcionamento é semelhante, no qual a radiação da fonte primária excita a radiação que será característica da amostra que está sendo analisada. Parte da radiação secundária policromática é direcionada para a superfície do cristal, a partir daí os comprimentos de onda característicos (λ) são difratados em um certo ângulo (θ) que será relacionado com o espaçamento do cristal analisado ($2d$), como pode ser representado pela Lei de Bragg (Equação 6) que é válida quando os ângulos de incidência e reflexão são iguais e n é um número inteiro em geral tendo valor unitário para fim de análise (JENKINS; De VRIES, 1971).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (6)$$

Os comprimentos de onda monocromáticos difratados são coletados pelo detector que por sua vez converte os fótons de raios-X em pulsos de tensão que são coletados por um período de tempo previamente definido. Geralmente, a precisão do processo de contagem é melhorada com o inverso da raiz quadrada do tempo de análise (JENKINS; De VRIES, 1971).

Figura 3 - Esquema geométrico do funcionamento dos dois tipos mais comuns de espectrômetros de raios-X.



Fonte: Jenkins & De Vries (1971)



4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Seleção e coleta das amostras

As amostras usadas no presente trabalho são de origem de uma mina de calcário localizada em Indiara, município do interior de Goiás. Elas foram coletadas de acordo com o conhecimento da equipe técnica quanto a diferença de cores (visíveis a olho nu) das litologias, tentando abarcar todas responsáveis pelo minério capaz de produzir o *filler* industrial.

Ao todo foram coletados 9 tipos litológicos em amostras duplicatas, totalizando 18 amostras com cerca de 500g cada e, com uma lupa com aumento de 40 vezes, foram registradas fotos para identificar minerais, que possam influenciar em suas características colorimétricas.

4.2. Preparo das amostras para análise dos óxidos maiores por fluorescência de raio X

Nove amostras foram enviadas para o laboratório Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI) em Goiânia, onde uma alíquota de aproximadamente 10,0 gramas de cada amostra foi separada por quarteamento manual e pulverizada em moinho planetário de bolas (ágata) por 10 minutos. Após a moagem, cada amostra foi seca 105 °C por 2 horas (CRTI, 2023).

Para a determinação da perda na ignição (LOI) ou ganho na ignição (GOI) cada amostra foi calcinada a 1000 °C por 5 horas em um analisador termogravimétrico *Precisa prepASH 340* modelo 212. Para a fusão, uma alíquota de 1 grama de cada amostra, previamente calcinada, foi fundida com 9,0 gramas de tetraborato de lítio (CRTI, 2023).

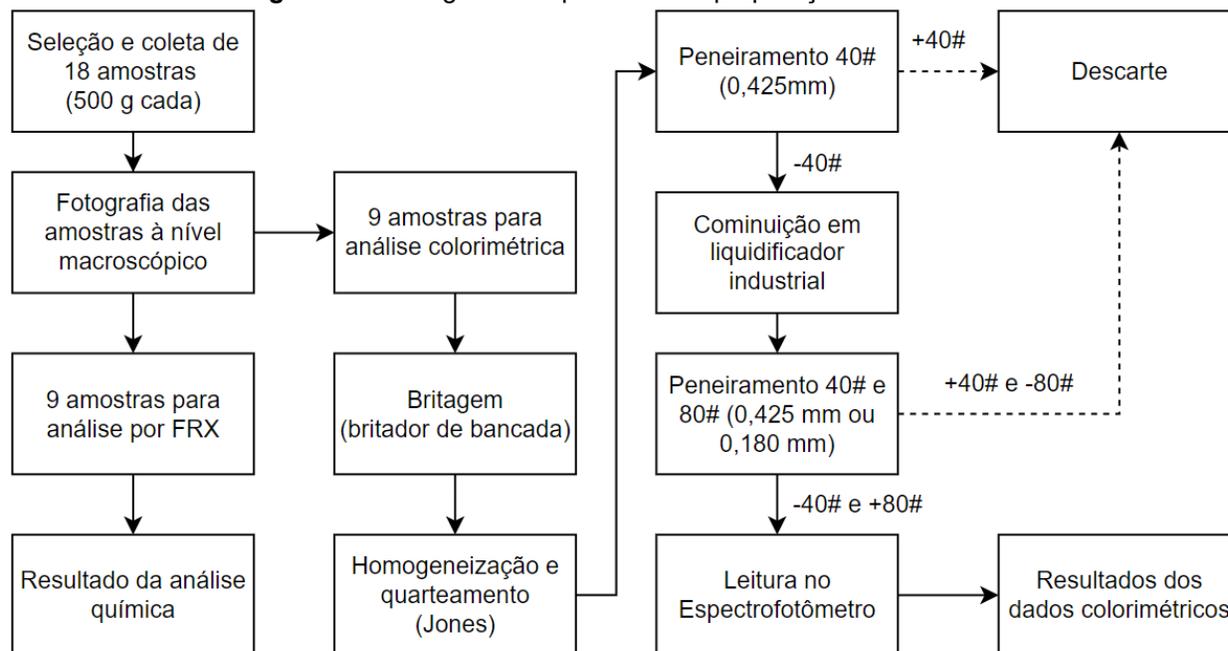
As medidas de fluorescência de raios X (FRX) foram realizadas em um espectrômetro *WDS Bruker S8 Tiger*, equipado com tubo de Rh. Para análise dos elementos maiores, a calibração foi realizada com o pacote *GeoQuant M®* da *Bruker* composto por padrões de rochas e minerais naturais. Os valores obtidos para os óxidos maiores estão representados em porcentagem (%) de massa, em base úmida (CRTI, 2023).



4.3. Preparação das amostras para análise colorimétrica

Posteriormente, as amostras duplicatas foram levadas ao laboratório próprio da empresa, onde foram cominuídas em um britador de bancada, quarteadas em um quarteador do tipo Jones e peneiradas manualmente usando uma peneira com abertura 0,425mm (40#). O material retido foi cominuído novamente e peneirado na malha 0,180mm (80#). Com o uso de uma balança de precisão *Sigma-Aldrich Adventurer Ohaus* modelo AR3130, com resolução de 0,001 g, foram separadas alíquotas de 100 g do material retido na malha 0,180mm (80#), o qual foi analisado em um espectrofotômetro portátil da marca X-Rite modelo Ci52 cuja geometria de medição é $d/8^\circ$ e utilizando a metodologia experimental adotada pela empresa, o equipamento foi setado para realizar 5 medições, as quais resultarão nos parâmetros de cor no sistema CIEL^{a*b*} - índice de alvura, de amarelecimento, luminosidade, a^* e b^* . Os dados foram analisados usando o software *Color iQc Basic*. Para ilustrar, a Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia de preparação das amostras.

Figura 4 – Fluxograma do processo de preparação de amostras.



Fonte: Autoria própria, 2023.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 18 amostras analisadas contemplaram as 9 litologias indicadas pela equipe técnica da empresa. As Figuras de 5 a 13 mostram as fotos retiradas de cada amostra no equipamento *Color Checker Executive*, responsável por diminuir o viés dos olhos no momento da análise.

A amostras A1 e A5 são de cor predominantemente branca com porções amarelas e algumas faixas cinza (Figura 5 e 9). A amostra A2 é branca com tom amarelo (Figura 6). A A3 e A8, respectivamente Figura 7 e 12, são vermelhas com algumas porções brancas. A4 tem tom amarelo-esverdeado (Figura 8). A6 é predominantemente cinza com faixas brancas (Figura 10). A7 é a amostra com maior brancura, tendo somente essa cor (Figura 11). A9 é cinza com algumas faixas pretas ou brancas (Figura 13).

Figura 5 - Amostra A1. Fonte: Autoria própria.



Figura 6 - Amostra A2. Fonte: Autoria própria.

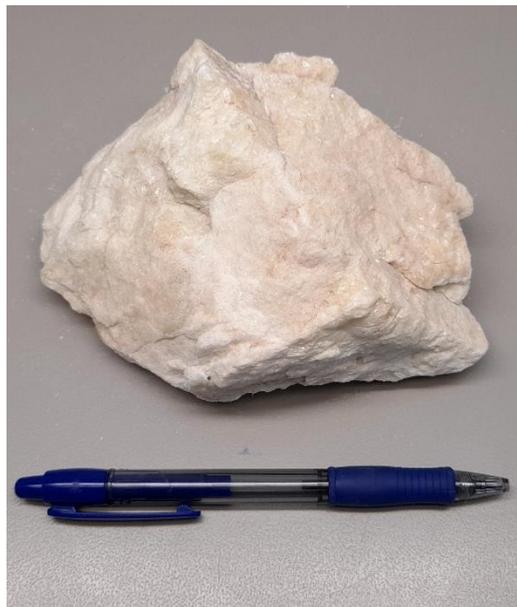




Figura 7 - Amostra A3. Fonte: Autoria própria.



Figura 8 - Amostra A4. Fonte: Autoria própria.

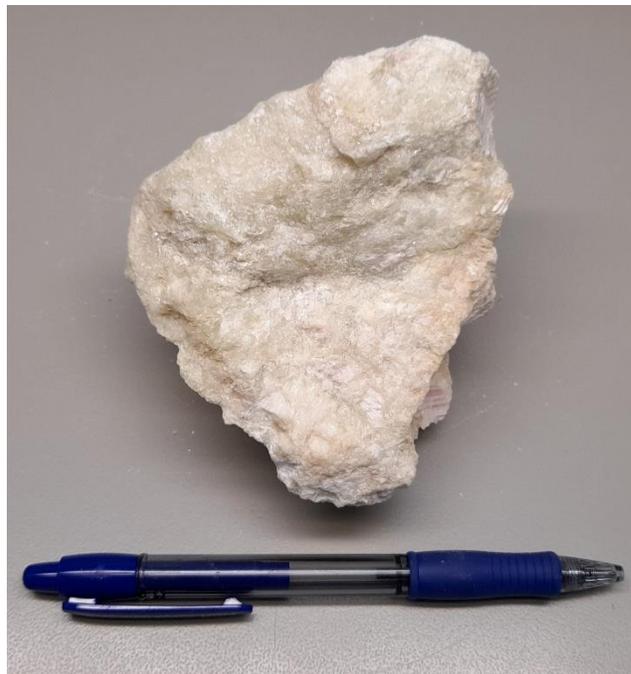


Figura 9 - Amostra A5. Fonte: Autoria própria.

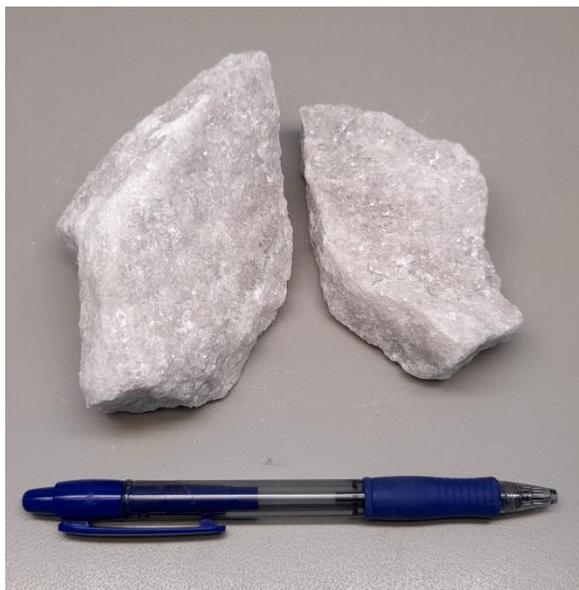


Figura 10 - Amostra A6. Fonte: Autoria própria.





Figura 11 - Amostra A7. Fonte: Autoria própria.

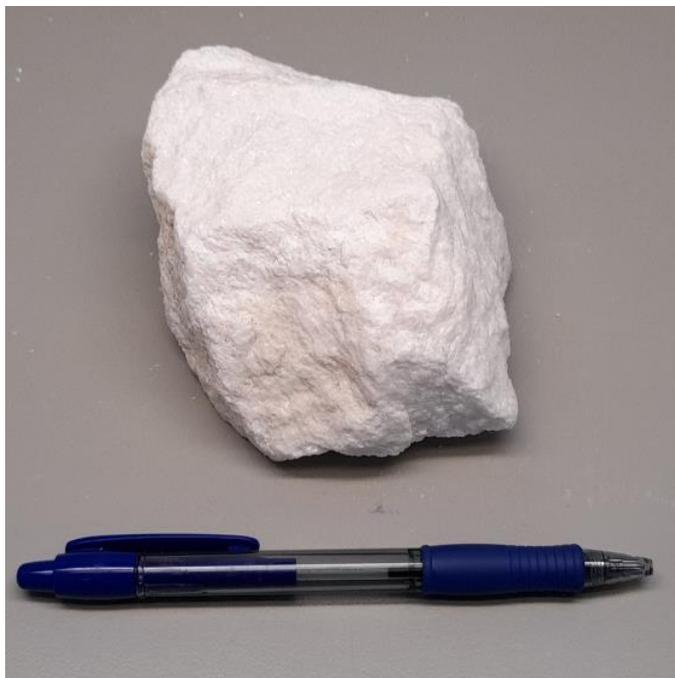


Figura 12 - Amostra A8. Fonte: Autoria própria.



Figura 13 - Amostra A9. Fonte: Autoria própria.





A Tabela 1 mostra os resultados da análise por fluorescência de raio-x e a Tabela 2 mostra os atributos de cor, como índices de alvura (WI-CIE), luminosidade (L), amarelecimento (YI-E315), eixo a^* e eixo b^* do sistema CIEL $^*a^*b^*$.

Tabela 1 – Resultado das análises químicas por FRX.

AMOSTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	SOMA
A1	0.67	0.24	2.31	53.01	-	0.15	43.89	100.27
A2	40.06	0.26	17.82	26.84	-	-	15.03	100.01
A3	19.40	0.28	17.52	29.71	-	-	32.86	99.77
A4	32.83	0.45	17.54	28.55	-	-	21.48	100.85
A5	1.22	0.38	0.78	54.57	-	-	43.42	100.37
A6	1.88	0.25	13.72	39.65	-	0.15	45.07	100.72
A7	6.93	0.14	1.77	50.03	-	-	40.79	99.66
A8	13.27	2.72	1.89	44.01	1.01	-	36.55	99.45
A9	0.54	0.15	5.06	48.75	-	-	44.77	99.27

Fonte: Autoria própria, 2023

Tabela 2 – Resultado das análises de cor pelo espectrofotômetro.

AMOSTRA	L	a^*	b^*	WI-CIE	YI-E315
A1	91.77	-0.21	3.21	72.19	1.72
A2	93.27	-1.47	9.23	58.38	5.45
A3	92.06	1.18	4.43	72.64	1.78
A4	90.36	-1.01	13.51	41.99	7.39
A5	90.82	1.08	6.96	63.61	3.09
A6	80.19	-0.16	1.57	52.97	0.78
A7	94.91	0.26	3.55	79.48	1.75
A8	90.66	2.18	10.70	56.38	4.56
A9	80.84	-0.03	1.23	55.20	0.58

Fonte: Autoria própria, 2023.

De acordo com os critérios de qualidade da empresa, os produtos são classificados entre dois tipos, alto padrão e baixo padrão, suas características colorimétricas, luminosidade (L), índice de alvura (WI-CIE) e índice de amarelecimento (YI-E315), seguem o que está descrito na Tabela 3.



Tabela 3 – Parâmetros de qualidade para definição de padrão.

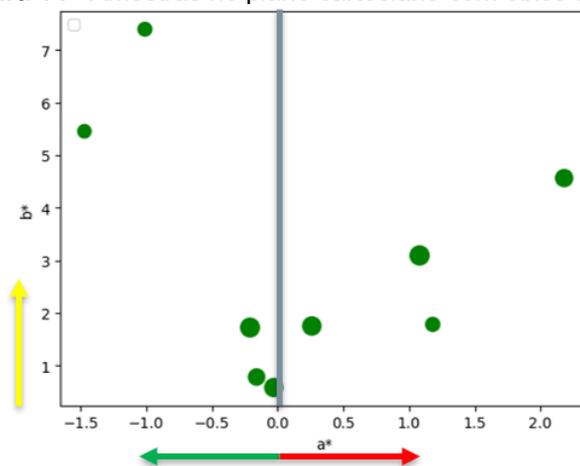
	Alto Padrão	Baixo Padrão
L	>92,22	<92,22
WI-CIE	>71,5	>71,5
YI-E315	<3,93	<3,93

Fonte: Autoria própria, 2023.

Portanto, destas análises pode-se perceber que as amostras A1, A3 e A7 atingem os critérios de qualidade, sendo A1 e A3 consideradas baixo padrão, e a A7 considerada alto padrão. O restante não serve como insumo para a produção de *filler*.

Para ilustrar, foi realizado o agrupamento dos dados baseando-se no quadrante em que cada amostra se situa no sistema CIEL*a*b*, a Figura 14 mostra o resultado, onde é possível perceber que há uma maior frequência para as cores verde (a* positivo), vermelho (a* negativo) e amarelo (b* positivo), não havendo nenhuma na cor azul (b* negativo). Logo, as amostras foram classificadas entre 2 grupos de cor: grupo verde-amarelo (5 amostras) e grupo vermelho-amarelo (4 amostras).

Figura 14 - Amostras no plano cartesiano com eixos a* e b*



Fonte: Autoria própria, 2023.

A partir das imagens fotográficas realizadas no aparelho *Color Checker Executive*, foi feita análise macroscópica de todas as amostras com uma lupa. Teve-se grande presença de wollastonita (CaSiO₃) nas amostras A2, A3 e A4 (Figuras 16, 18 e 19, respectivamente),



diferenciando-se pela cor em cada uma. Na A3, ela é rosada, enquanto que nas outras, ela é amarelo-esverdeada. Acredita-se que, devido ao teor de sílica ser menor na A3, o rosa, bem possivelmente proveniente do MgO, se destaca mais, pois a matriz é carbonatada, ou seja, é mais solúvel, tornando a cor do óxido mais visível, ao passo que, uma matriz mais silicosa, como ocorre nas amostras A2 e A4, dificulta a solubilidade do elemento químico e, portanto, a visibilidade da sua cor mais característica. Nestas mesmas amostras o rosa também está presente na dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) (Figura 17 e 20), cuja apresentou efervescência com reatividade moderada à fraca ao HCl 10% à temperatura ambiente (25°C).

Foi encontrado muscovita ($\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F})_2$) as amostras A4 (Figura 21) e A7 (Figura 24) e calcitas (CaCO_3) translúcidas incolores nas amostras A1, A5, A6 e A7 (respectivamente, Figuras 15, 22, 23 e 24), de cor vermelha na amostra A8 (Figura 26) e cor azul na amostra A9 (Figura 27) e, entretanto, na A8 também há possibilidade de ser o mineral ankerita ($\text{Ca}(\text{Fe}^{2+},\text{Mg},\text{Mn}^{2+})(\text{CO}_3)_2$). pois a amostra apresenta zona de metamorfismo hidrotermal, como mostra a Figura 12. Foi perceptível, um cristal de cor verde (cujo não teve nenhuma reação ao HCl 10% à 25°C) possivelmente de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$) na amostra A1 (Figura 15), o que pode justificar o teor de P_2O_5 identificado na análise química da Tabela 1.

Figura 15 – Mineral de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$) em uma matriz calcítica na amostra A1.

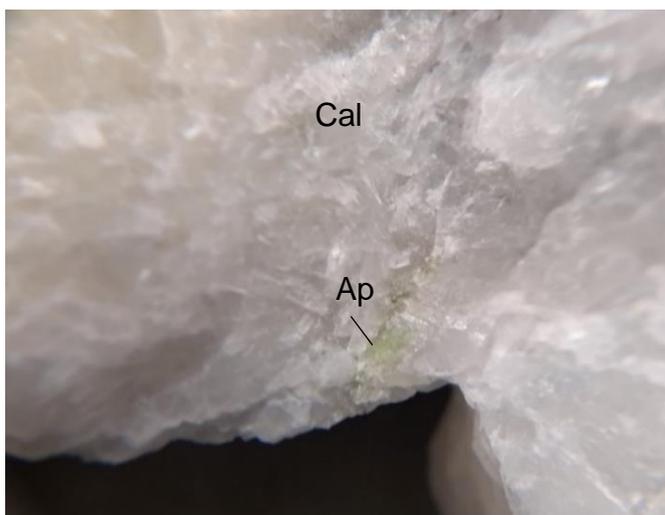


Figura 16 – Wollastonita (CaSiO_3) na amostra A2.





Figura 17 – Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) na amostra A2.

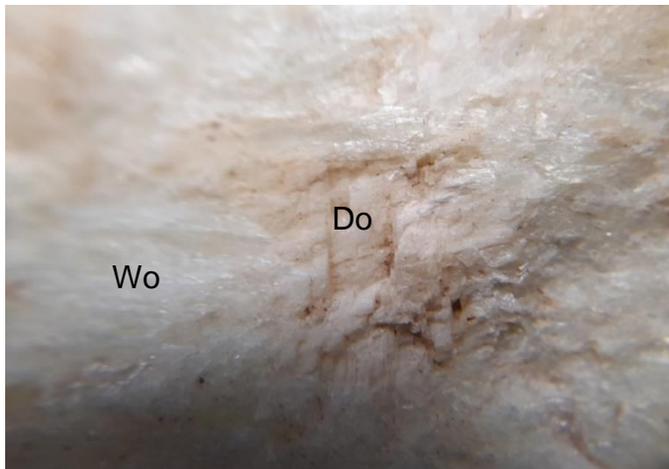


Figura 18 – Wollastonita (CaSiO_3) presente na amostra A3

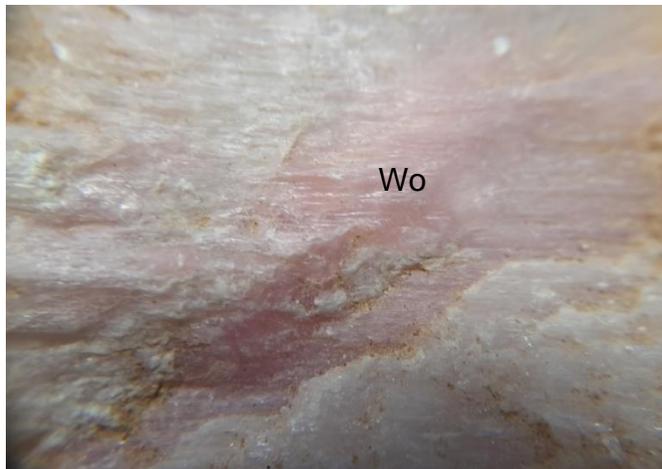


Figura 19 – Wollastonita (CaSiO_3) em ver na A4



Figura 20 – Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) na A4.

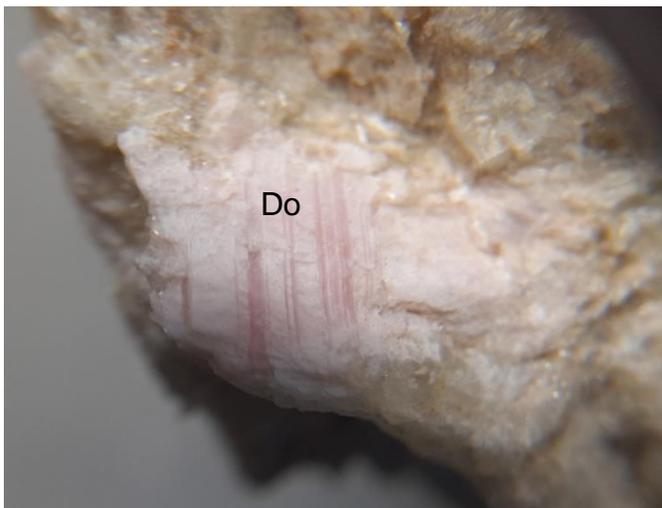




Figura 21 – Muscovita ($KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$) na A4.



Figura 22 – Calcitas ($CaCO_3$) presentes na A5.



Figura 23 - Calcita ($CaCO_3$) incolor na amostra A6.

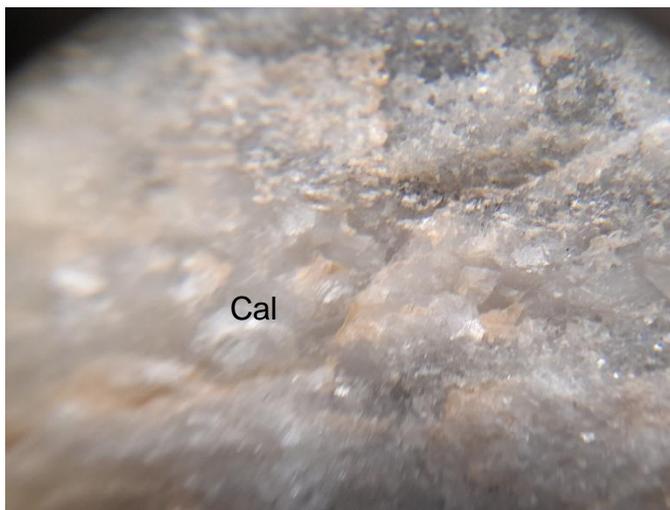


Figura 24 - Calcita ($CaCO_3$) e muscovita ($KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$) na amostra A7.



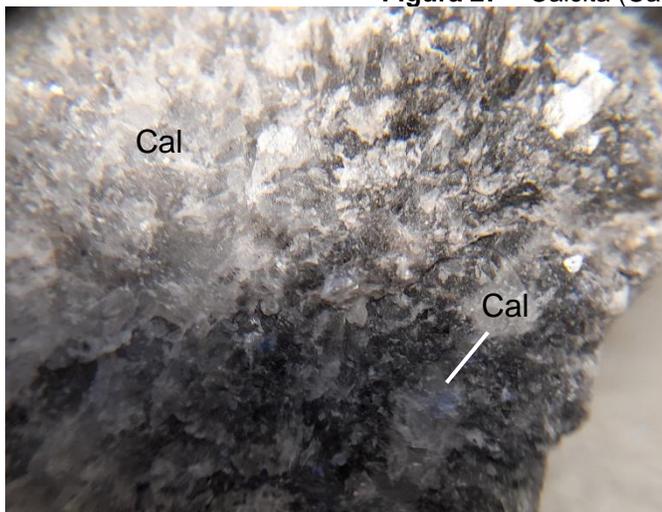
Figura 25 - Muscovita ($KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$) na amostra A7.



Figura 26 - Calcita ($CaCO_3$) vermelha ou ankerita ($Ca(Fe^{2+},Mg,Mn^{2+})(CO_3)_2$) na amostra A8.



Figura 27 – Calcita ($CaCO_3$) azul na amostra A9.



Em seguida, foi realizado um teste de correlação entre os valores da análise química e as cores das amostras. Devido aos dados das colunas SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O , P_2O_5 e L não apresentarem distribuição normal (valor p de Shapiro Wilk $< 0,05$ - conforme mostra a Tabela 4), o teste de correlação mais adequado para análise é o teste de Spearman, o resultado dele está sumarizado na Tabela 5. Com isso, é perceptível que somente o óxido de alumínio e o dióxido de silício tiveram uma correlação, que seja significativa (valor-p $<0,05$) com os atributos de cor, YI-



E315 e b^* . O SiO_2 teve maior correlação com b^* , valor de 0,81, seguido pelo YI-E315 de 0,76. Já o Al_2O_3 teve correlação de 0,81 com o YI-E315 e de 0,75 com b^* .

Com isso, as amostras que apresentaram maiores teores de SiO_2 foram, em ordem crescente, A2, A4 e A3 e para teores de Al_2O_3 foram A8, A4 e A5. Comparando estas amostras com a análise macroscópica é possível perceber que os óxidos exibiram influência na cor das amostras A2, A4 e A5, as quais visualmente são mais amarelas. Entretanto, não exibiram muita influência visual na cor das amostras A3 e A8, cujas tem maior predominância vermelha (o que não exclui a possibilidade da cor amarela), onde o resultado esperado poderia ser um amarelo mais evidente, segundo essa análise de correlação.

Tabela 4 - Teste de normalidade dos dados de teor e cor.

	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	K_2O	P_2O_5	WI-CIE	YI-E315	L	a^*	b^*
W de Shapiro-Wilk	0.831	0.500	0.786	0.885	0.390	0.536	0.965	0.923	0.782	0.970	0.894
p Shapiro-Wilk	0.046	< .001	0.014	0.178	< .001	< .001	0.845	0.419	0.013	0.891	0.219

Fonte: A autoria própria, 2023.



Tabela 5 - Correlação dos dados de teor e cor.

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	WI-CIE	YI-E315	L	a*	b*
SiO ₂	Rho de Spearman	—										
	p-value	—										
Al ₂ O ₃	Rho de Spearman	0.5	—									
	p-value	0.178	—									
MgO	Rho de Spearman	0.617	0.133	—								
	p-value	0.086	0.744	—								
CaO	Rho de Spearman	-0.817	-0.317	-0.917	—							
	p-value	0.011	0.41	0.001	—							
K ₂ O	Rho de Spearman	0.137	0.548	-0.274	0	—						
	p-value	0.725	0.127	0.476	1	—						
P ₂ O ₅	Rho de Spearman	-0.414	-0.311	0	0.207	-0.189	—					
	p-value	0.268	0.416	1	0.593	0.626	—					
WI-CIE	Rho de Spearman	-0.067	-0.367	-0.417	0.417	-0.137	-0.104	—				
	p-value	0.88	0.336	0.27	0.27	0.725	0.791	—				
YI-E315	Rho de Spearman	0.767	0.817	0.2	-0.417	0.411	-0.518	-0.15	—			
	p-value	0.021	0.011	0.613	0.27	0.272	0.154	0.708	—			
L	Rho de Spearman	0.367	-0.217	-0.083	0.033	-0.137	-0.311	0.85	0.217	—		
	p-value	0.336	0.581	0.843	0.948	0.725	0.416	0.006	0.581	—		
a*	Rho de Spearman	-0.2	0.25	-0.617	0.4	0.548	-0.311	0.367	0	0.033	—	
	p-value	0.613	0.521	0.086	0.291	0.127	0.416	0.336	1	0.948	—	
b*	Rho de Spearman	0.817	0.75	0.3	-0.483	0.274	-0.518	-0.133	0.983	0.283	-0.133	—
	p-value	0.011	0.025	0.437	0.194	0.476	0.154	0.744	< .001	0.463	0.744	—

Fonte: Autoria própria, 2023.



6. CONCLUSÕES

Dada a importância do conhecimento dos métodos de caracterização de minérios, especificamente, da rocha calcárea com fins de *filler* para carga mineral, a cor é o principal parâmetro que classifica a rocha entre minério e estéril. Nesta dificuldade em avaliar as bancadas e determinar quais litologias serão lavradas, seguindo somente este parâmetro e a estratigrafia, dado que o depósito apresenta alto grau metamórfico, o presente trabalho se propôs a resolver preliminarmente a seguinte questão: qual é a correlação entre os óxidos presentes nas rochas com suas características colorimétricas?

Para isso, foram selecionados os tipos litológicos da mina e coletados suas amostras, que foram submetidas a análise macroscópica e, em seguida, ao método de fluorescência de raio-x e a análise no espectrofotômetro. Estes três caminhos para análise concederam dados para verificar a correlação entre os parâmetros, evidenciando numericamente que o óxido de alumínio e dióxido de sílica são responsáveis por amarelar algumas amostras, porém não completamente, em vista que, há duas amostras que são vermelhas, mostrando que não seguiram esta hipótese. Portanto, é importante complementar este trabalho com maior número de dados amostrais e com mais algumas investigações, como, por exemplo, análises microscópicas, pois terá maior noção quanto as fases mineralógicas e quais elementos comuns encontrados em alguns minerais (como, por exemplo, o cálcio da calcita, wollastonita e o da ankerita) são os responsáveis pela cor, realizar análise modal macroscópica dos minerais contaminantes e quantificar os elementos traços, para ter certeza se estes influenciarão as cores.



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. 1967. Origem e Evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, DNPM, 36p. (Boletim 241).

ASTM, American Society for Testing Materials. E308 - Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System. West Conshohocken. 2001.

AZAMBUJA, R. L. S.: A Classificação Das Rochas e Levantamento de Dados. In: VIDAL, F.W.H. AZEVEDO, H.C.A. CASTRO, N.F. Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 569 – 586.

BAETA JUNIOR, J.D.A, 1994. Programa de Levantamentos Básicos do Brasil, Folha SE.22-X-A-VI – Nazário. Estado de Goiás, Escala 1:100.000. CPRM, 108p.

BARBOSA, P. A. R., 1987. Geologia e recursos minerais a leste de Mossâmedes, GO. [Tese de Mestrado]: Brasília, UnB, Instituto de Geociências, 226p.

BEETSMA, J. The CIELAB L*a*b* System – the Method to Quantify Colors of Coatings. 11 de setembro de 2020. Disponível em < <https://www.ulprospector.com/knowledge/10780/pc-the-cielab-lab-system-the-method-to-quantify-colors-of-coatings/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2023.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. 2003. Methods, 692p.

CRTI – Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Relatório de Caracterização Química, 2023.



CIE – Commission Internationale de L'Eclairage. CIE 15: 2004. Technical Report: Colorimetry, 3rd Edition. 2004. 72p.

FRANCA, S.C.A; SANTOS, S.F; LIMA, S.R.M de. Ensaio para Medidas de Cor em Colorímetros Lovibond e ASTM. In: SAMPAIO, J.A.; FRANCA, S.C.A; BRAGA, P.F.A. Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 541-557.

FUCK, R. A., PIMENTEL, M. M., D'EL-REY Silva, L. J. H. 1994. Compartimentação Tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário de Camboriú. Anais, 1:215-216.

HUWALD, Eberhard. Calcium Carbonate - a Modern Resource. In: TEGETHOFF, F. W. Calcium Carbonate - From the Cretaceous Period into the 21st Century. Berlin: Birkhäuser Verlag, 2001. p. 160-170.

JAMALUDDIN; DARWIS, A.; MASSINAI, M.A. X-Ray Fluorescence (XRF) to identify chemical analysis of minerals in Buton island, SE Sulawesi, Indonesia. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018.

JENKINS, R. X-ray fluorescence spectrometry. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999. 207p.

JENKINS, R.; De VRIES, J. L. X-ray spectrometry, Metallurgical Reviews 1971. 16:1, p. 125-141.

KLEIN, C.; DUTROW, B. Manual de Ciência dos Minerais – tradução e revisão técnica MENEGAT, R. – 23. Edição – Porto Alegre: Bookman, 2012. 712p.

KONICA MINOLTA. Precise Color Communication - Color Control From Perception to Instrumentation. [S.I.]: [s.n.], 2000.



LAUX, J.H. Evolução do Arco Magmático de Goiás com base em dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd. (Tese de Doutorado). Brasília: Universidade de Brasília, 2004.

MOURA, C. O., 2007. geologia do sudoeste do estado de goiás: integração de dados geológicos e aerogeofísicos de alta densidade. 135 F. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRASÍLIA.

OHTA, Noboru; ROBERTSON, Alan R. Colorimetry: Fundamentals and Applications. Bellingham, 2005. 350p.

PACHECO, E. T.; SAMPAIO, C. H. Uso do Espectro-Colorímetro em Feldspatos. VI SHMMT/XVIII ENTMME. 2001. Rio de Janeiro, p.28-32.

PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C.F.; ARAÚJO, S.M., 2000. Geology of the central part of the Tocantins Province: Implications for the geodynamic history of the Brasília belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds), Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, p.195-229.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, v. 20, p. 375–379, 1992.

SAMPAIO J.S. & ALMEIDA, S.L.M. 2008. Calcário e Dolomito. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. 2008. Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2. ed. - Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2008, p.363-387.

SOUSA, C. dos S. Caracterização física, química e mineralógica dos solos de encostas sob diferentes sistemas de uso. (dissertação de pós graduação). Areia, UFPB/CCA, 2015. 67p.