



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

CAMPUS POÇOS DE CALDAS

JOSÉ MIGUEL VILELA DE FIGUEIREDO

APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTRUTURAL PARA ORIENTAÇÃO DE LAVRA DO SIENITO CAFÉ IMPERIAL

Poços de Caldas

Julho de 2014



JOSÉ MIGUEL VILELA DE FIGUEIREDO

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESTRUTURAL PARA
ORIENTAÇÃO DE LAVRA DO SIENITO CAFÉ
IMPERIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de graduação em Engenharia de Minas pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Geologia Estrutural e Lavra de Rocha Ornamental. Orientador: Fabiano Cabañas Navarro.

Poços de Caldas
Julho de 2014

FICHA CATALOGráfICA

F475a *Figueiredo, José Miguel Vilela de.*
Aplicação de análise estrutural para orientação de lavra de Sienito Café Imperial. / José Miguel Vilela de Figueiredo;

Orientação de Fabiano Cabanãs Navarro. Poços de Caldas: 2014.

40 fls.: il.; 30 cm.

Inclui bibliografias: fls. 35-36

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) –

Universidade Federal de Alfenas– Campus de Poços de Caldas, MG.

1. Geologia estrutural. 2. Rocha ornamental. 3. Sienito. I. Navarro, Fabiano Cabanãs (orient.). II. Universidade Federal de Alfenas - Unifal. III. Título.

CDD 553.5

José Miguel Vilela de Figueiredo

Aplicação de análise estrutural para orientação de lavra do sienito Café Imperial

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho apresentado à Unidade Curricular Trabalho de Conclusão de Curso II (ICT218), do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG); campus de Poços de Caldas, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel e Engenharia de Minas

Aprovada em: 10 de junho de 2014

Examinador: Fabiano Cabañas Navarro

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG)

Assinatura: 

Examinador: Ana Olívia Baruf Magalhães

Instituição: Unifal-MG

Assinatura: 

Examinador: Edmo de Cunha Rodovalho

Instituição: Unifal-MG

Assinatura: 



Dedico a Deus, a meu pai, minha mãe e minhas irmãs, aos meus amigos, professores, técnicos e profissionais da área pelo apoio na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) pela oportunidade oferecida na forma de uma bolsa de pesquisa pelo programa PAIND (Programa de Apoio à Instalação de Novos Docentes), via Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Instituto de Ciência e Tecnologia pelo apoio com transporte e materiais para as etapas de campo.

Ao Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro, orientador, pela paciência, contribuição, dedicação e conhecimentos transmitidos para realização deste trabalho.

À Prof. Dra. Ana Olívia Barufi Franco de Magalhães, coorientadora, pela cooperação e reforço através de suas experiências no campo da Geologia Estrutural.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes pelo na confecção de um mapa importante para o projeto.

À ETGRAN Mineração pela infraestrutura e por todo o apoio à realização do projeto, especialmente durante as etapas de campo.

RESUMO

A análise estrutural é uma importante ferramenta para análises de maciços rochosos, onde a caracterização estrutural pode ser aplicada na orientação de lavra de rocha ornamental para melhorar o aproveitamento e a vida útil da mina. O controle das direções de falhas também permite uma melhor recuperação no volume dos blocos. Este projeto mapeou, descreveu e quantificou 131 descontinuidades da mina Vargem dos Trigos, ETGRAN MINERAÇÃO, na variedade do Sienito Café Imperial. A análise dos dados foi realizada por meio de técnicas tradicionais tais como projeções estereográficas, caracterização estrutural do maciço e blocos diagramas, visando sua setorização quanto às variações do estilo estrutural. Observou-se que o principal problema é a intersecção dos sistemas de fratura de baixo ângulo com direção E-W e NE-SW (mais frequente na mina) com o sistema de direção N-S. O sistema NE-SW está relacionado com o alívio de carga, por isso de sua frequência ser maior nas aberturas de novas frentes de lavra. A visualização por blocos diagramas foi uma ótima ferramenta para prever a intersecção das famílias, principalmente por fornecer uma visualização em 3D. Mas essas conclusões também podem ser feitas com base nas projeções estereográficas, mesmo sendo visualizações em 2D. Como complemento, sugere-se uma campanha de sondagem rotativa para definir, em conjunto com a tecnologia da geofísica, as zonas em profundidade com maior potencial de aparecimento desses sistemas.

Palavras-chaves: Geologia estrutural, rocha ornamental, sienito.

ABSTRACT

Structural analysis is an important tool for analysis of rock masses, where the structural characterization can be applied on the orientation of extraction stone quarrying, to improve the recovering and the service life cycle of the mining. The control of the directions of faults also allow getting a larger volume of the blocks. The project mapped, described and quantified 131 discontinuities mine Vargem dos Trigos, ETGRAN MINING in the variety of Café Imperial syenite. Data analysis was performed using traditional techniques such as stereographic projections, and structural characterization of the rock masses and block diagrams, for define the differences in structural style. At last, we observed that the main problem is the intersection of the low-angle fracture systems with E-W and NE-SW (more frequent in the quarry) with the system of N-S direction. The NE-SW is related to the system lighter loads, so its frequency is higher in the opening of new quarrying fronts. The viewing by block diagrams is a great tool to predict the intersection of families, mainly by providing you a 3D view. But these conclusions can also be made based on stereographic projections, even with 2D views. As a complement, we suggest a campaign of rotating drilling to define, together with geophysical technology, areas in depth with the greatest potential of appearance these systems.

Keywords: Structural geology, ornamental stone, syenite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidades geológicas e falhas de cisalhamento no Maciço Sienítico da Pedra Branca.	13
Figura 2 – Linhas verticais e horizontais em duas paredes de escavação que são interceptadas pelas famílias de fraturas (A, B e C).	16
Figura 3 – Blocos diagramas do programa 3D-BlockExpert representando superfícies bidimensionais e tridimensionais com a intercepção de conjuntos de fraturas.	16
Figura 4 – Representação de planos (direção do plano/ângulo de mergulho) utilizando a regra da mão direita.	18
Figura 5 – Representação da rede de Schmidt, do grande círculo e pequeno círculo.	18
Figura 6 – Projeções no hemisfério inferior da esfera (3D) e o equivalente em 2D (Plano orientado e linha orientada).	19
Figura 7 – Lavra em planície ou platô (cota abaixo do terreno) e Lavras por bancadas baixas e altas (cota acima do terreno).	20
Figura 8 – À esquerda, liberação de bloco por desmonte primário. À direita, bancadas na praça principal. Mina vargem dos Trigos da Empresa ETGRAN, Caldas/MG.	21
Figura 9 – Vista superior das divisões em áreas para coletas de dados estruturais/ ETGRAN Mineração - Mina Vargem dos Trigos.	22
Figura 10 – Imagem de satélite com a posição das frentes de lavra e as principais atitudes das fraturas.	24
Figura 11 – Projeções estereográficas a partir da rede de Schmidt no polo do plano.	25
Figura 12 – Projeções estereográficas geral (todas as áreas) no círculo máximo do plano (superior à esquerda), no polo do plano (superior à direita) e contorno dos polos (inferior).	26
Figura 13 – Diagrama de roseta das direções em relação ao Norte Verdadeiro.	26
Figura 14 – Aspecto do fraturamento na Área 6, marcado pelo cruzamento das fraturas NE-SW (plano maior) com as fraturas de direção N-S.	27
Figura 15 – Aspecto do fraturamento na Área 2D, com fraturas subverticais de direção geral NE-SW em cruzamento com o sistema subhorizontal e direção NE-SW.	27
Figura 16 – Perfil detalhando as três fraturas de maiores ocorrências em cada uma das áreas estudadas.	28
Figura 17 – Orientação e distribuição das famílias de fraturas.	29
Figura 18 – Blocos diagramas para visualização das intersecções de fraturas em cada área estudada.	31
Figura 19 – Sistemas de fraturas em conjuntos com sistemas de veios de feldspato. Obs: Bancada com 8 m de altura.	33



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Componentes característicos para classificação estrutural do maciço.	23
Tabela 2 – Quantidade de famílias por áreas e suas persistências médias totais.....	30

SUMÁRIO

1.0	Introdução	10
2.0	Objetivos	10
3.0	Revisão Bibliográfica.....	11
3.1	Maciço Sienítico da Pedra Branca	11
3.2	Caracterização das Descontinuidades em Maciços Rochosos.....	13
3.3	Projeções Estereográficas.....	17
3.4	Métodos de Lavra de Rocha Ornamental e Técnicas de Corte na Região	19
4.0	Materiais e Métodos	21
5.0	Resultados e Discussões.....	23
5.1	Características Estruturais na Escala Local.....	23
5.2	Projeções em Blocos Diagramas	29
6.0	Conclusões	33
7.0	Referências Bibliográficas	35
	ANEXO – Mapa Geológico da Área entre Caldas e Andradas – MG	37
	APÊNDICE A – Classificação Qualitativa e Quantitativa dos Planos de Fraturas.....	38
	APÊNDICE B – Mapa Estrutural Regional	39

1.0 Introdução

As demandas atuais no setor de mineração exigem implementações de métodos e técnicas de trabalho que favoreçam a produção mais limpa, minimizando geração de resíduos e rejeitos. As descontinuidades (fraturas, veios, diques, juntas e etc.) nas frentes de lavra de rochas ornamentais representam um impasse para o aproveitamento dos desmontes. Estas dificuldades nem sempre levam ao encerramento das atividades, mas sim ao desmonte descontrolado com intuito de alcançar empiricamente frentes melhores de corte. Esse estudo compreende a aplicação da caracterização estrutural para análises das direções das descontinuidades, com o intuito de encontrar uma produção mais sustentável, indicativa de investimentos e continuidades de estudos no setor. No entanto, visa-se colaborar com técnicas de baixo custo para os reconhecimentos dos padrões estruturais, que serão utilizadas no planejamento da lavra na pedreira de Sienito Café Imperial, MG, da ETGRAN Mineração visando ao aperfeiçoamento do processo de lavra.

As coletas dos dados de direções estruturais permitiram a confecção de um banco de dados para análises com projeções estereográficas e blocos diagramas, além de montar imagens representativas das descontinuidades em cada frente da mina e um perfil estrutural das direções de fraturas mais comuns e prejudiciais à lavra do Sienito.

A aplicação dessa metodologia no setor de revestimentos se mostra, na prática, pouco utilizada, não devido aos custos, mas às dificuldades de capacitação dos funcionários e pela grande maioria das pedreiras serem de pequeno porte. A longo prazo, a técnica permite aumentar a recuperação e diminuir a geração de resíduos, minimizando problemas com passivos ambientais e aperfeiçoar as operações de lavra.

2.0 Objetivos

Reconhecer os padrões estruturais da pedreira de rocha ornamental para revestimento da variedade Café Imperial, operada pela ETGRAN Mineração, Caldas/MG, por meio de técnicas usuais de caracterização estrutural para auxiliar as práticas sustentáveis nas operações de lavra e consequente aumento na recuperação de blocos.

3.0 Revisão Bibliográfica

3.1 Maciço Sienítico da Pedra Branca

O extremo sul de Minas Gerais é dotado de um maciço alcalino denominado de Maciço Sienítico da Pedra Branca. Este é localizado a sudeste da cidade de Poços de Caldas, a aproximadamente 30 km. Segundo Winters (1981, p.3), a área mapeada para o estudo da geologia do Maciço foi limitada pelos paralelos 23°55' e 22°05' Sul e pelos meridianos 46°35' e 46°20'. O estudo abrangeu partes das folhas editadas pelo IBGE na escala de 1:50.000 dos municípios: Caldas SF-23-V-D-IV-3, Pinhal SF-23-Y-A-III-2 e Santa Rita de Caldas SF-23-Y-B-I-1. (WINTERS, 1981).

As cidades localizadas na área do Maciço são: Andradas, Ibitiúra de Minas, Santa Rita de Caldas e Caldas. Já as cidades nas imediações abrangem a noroeste, Poços de Caldas, a sudeste, Pouso Alegre e a sul, Ouro Fino. (WINTERS, 1981).

O clima na região é definido por uma estação seca de inverno, com a duração variando de 1 a 2 meses. A variabilidade da temperatura deve-se às grandes altitudes da região, tendo as regiões serranas uma temperatura média de 15° C e nas cidades aproximadamente 20° C (WINTERS, 1981).

A vegetação típica é predominada por gramíneas, conhecida como barba de bode (*Aristida pallens*), nos campos rústicos, nos topos arredondados e nas encostas. Já a vegetação arbórea pode ser classificada como mata latifoliada-tropical, ou seja, a mata atlântica original. Encontra-se distribuído em cabeceiras de drenagens alguns aglomerados de arvoredos e ao longo dos cursos poucas faixas variáveis e descontínuas. (WINTERS, 1981).

A economia é baseada na agropecuária, no plantio da uvas, batatas, laticínios, serviços artesanais, produção e exportação de rochas ornamentais e outras atividades de subsistência. (IBGE, 2009).

A forma do maciço é de um semicírculo com diâmetro de 13 km para sudoeste. A direção do semicírculo é ESE com um raio de 8 km, passando ao sul da cidade de Caldas, a nordeste perto desta cidade e com afloramentos visíveis na rodovia Poços de Caldas a Pouso Alegre (WINTERS, 1981).

A área de exposição do maciço é da ordem de 20 km² com seu eixo principal disposto em NNE-SSW, sendo seu limite norte, Figura 1, segundo Meyer (2003 apud



WINTERS, 1981) “nas proximidades da cidade de Caldas e do povoado de Pocinhos do Rio Verde, situado cerca de 4 km à oeste da cidade de Caldas. A sul do maciço situam-se as cidades de Santa Rita de Caldas e Ibitiúra de Minas. Destaca-se, ainda, a presença do Pico da Serra da Pedra Branca, a sul da cidade de Caldas, que com 1850 m de altitude, é o ponto mais alto do Planalto de Poços de Caldas” (MEYER, 2003).

A litologia é definida pelo magmatismo alcalino tardiogênico do Ciclo Brasileiro, como unidade encaixada em rochas gnáissico-migmatíticas e graníticas do Domínio Guaxupé, sendo a oeste limitado por rochas alcalinas do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MEYER, 2003).

Os sienitos do Maciço conforme Meyer (2003 apud WINTERS, 1981) possuem orientação plano paralela concordante à sua forma semicircular. Sendo a definição por feldspatos alcalinos tabulares isorientados, possibilitando uma configuração de estruturas fluidas marcantes.

Segundo Meyer (2003 apud WINTERS, 1981) o Maciço Sienítico da Pedra Branca possui origem magmática intrusiva com sua parte interna dominada por um zoneamento mineralógico-petrográfico com disposição semi-anelar entre sienitos supersaturados, saturados e insaturados. Os sienitos saturados e insaturados ocorrem nas partes marginais, possuindo como principal mineral máfico a aegerina-augita e feldspatóide nefelina. Na parte mais interna os tipos saturados e supersaturados possuem até 6% de quartzo, com o mineral máfico principal sendo o diopsídio. A granulação tem variação de fina a grossa e as colorações aparecem na forma rosa, marrom claro, marrom escuro, verde e acinzentadas.

A estrutura fluidal varia de intensa nas bordas e fraca nas porções centrais do maciço. Observando localmente, apresenta orientações pouco definidas e ligeiras flutuações na sua intensidade (MEYER, 2003).

As composições mineralógicas são diversificadas, porém, pode-se definir alguns minerais essenciais: ortoclásio, hornblenda, diopsídio ou aegirina-augita e biotita. Como minerais acessórios têm-se: apatita, quartzo, oligoclásio, albita, titanita, zircão, clorita e nefelina (WINTERS, 1981).

No âmbito da geologia estrutural, existe uma orientação plano paralela muito intensa e desenvolvida, observada pelos feldspatos potássicos tabulares. Alguns minerais como os piroxênios, anfibólios e as micas também possuem orientação plano paralela, porém, não tão intensa. Observa-se que esta orientação evidente possui uma concordância com a forma semicircular da parte externa do maciço, sendo paralela ao contato. A zona

externa do maciço representa uma estrutura de fluxo, onde ocorre o contato, o ponto de maior manifestação desta orientação (WINTERS, 1981).

A feição estrutural principal que ocorre no maciço segundo Winters (1981, p.32) “é o desenvolvimento de juntas transversais”. As juntas apresentam-se perpendiculares à estrutura circular, sendo esta configurada por uma estrutura planar de fluxos laminares. O fenômeno é facilmente observado no campo e em lâminas delgadas (WINTERS, 1981).

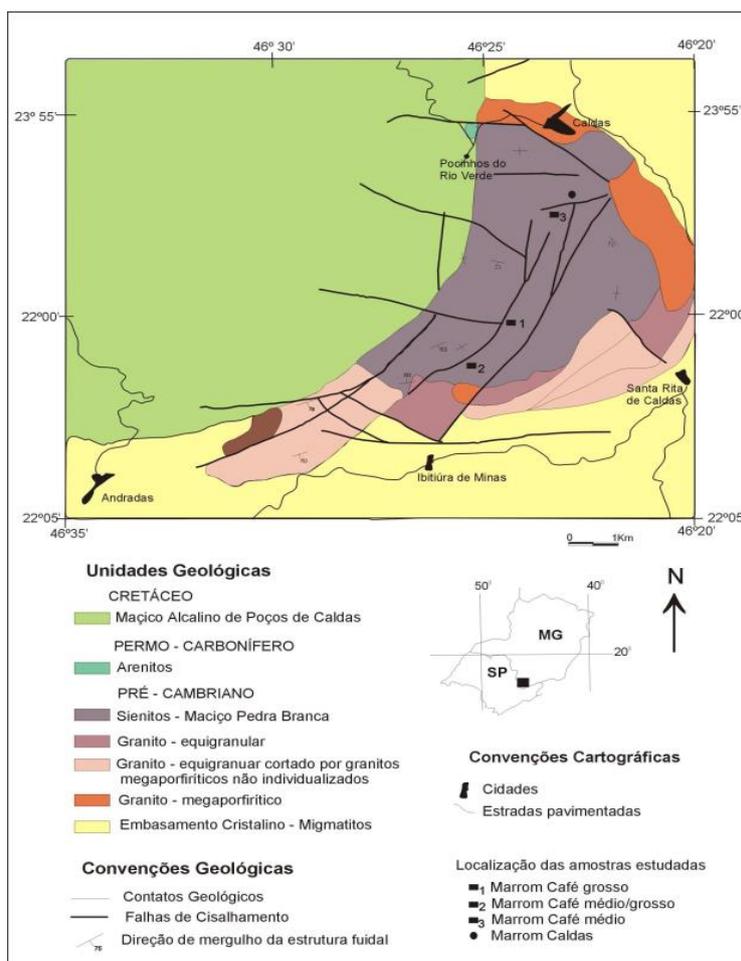


Figura 1 – Unidades geológicas e falhas de cisalhamento no Maciço Sienítico da Pedra Branca.

Fonte – MEYER et al (2003, p.33).

3.2 Caracterização das Descontinuidades em Maciços Rochosos

O reconhecimento de certo padrão de descontinuidades nas explorações de rochas ornamentais influencia diretamente na qualidade dos blocos obtidos. Segundo Fiori (2009, p.361) “A estabilidade e a deformabilidade de maciços rochosos dependem, em



parte, da presença de descontinuidades nas rochas”. Geralmente os maciços rochosos são mais heterogêneos que as rochas intactas, apresentando variadas famílias de descontinuidades. As fraturas, os veios e falhas geram variações estéticas nos blocos, que podem afetar sua valoração comercial, e que impactam de forma significativa o planejamento e desenvolvimento da mina. Conforme Giorgio (2003, p. 176) são as superfícies de fraqueza das rochas que influenciam na qualidade dos blocos obtidos na lavra e que a constatação de um padrão dessas superfícies permitirá definir o planejamento de lavra apropriado para uma área específica.

As alterações ocasionadas pelo intemperismo, por processos ígneos e metamórficos, são responsáveis por considerável redução na resistência das rochas, no entanto, são as descontinuidades no maciço rochoso o principal meio de controle da deformabilidade e da resistência mecânica (FIORI, 2009).

As juntas, falhas, contatos litológicos, foliações metamórficas e veios ou diques são considerados as descontinuidades mais comuns. A existência de uma ou mais destas, ocasiona um agregado descontínuo de blocos nos maciços, sendo suas características físicas distintas de uma rocha intacta (FIORI, 2009).

Por definição e de acordo com Fiori (2009, p.362) “descontinuidade é considerada um plano de fraqueza na rocha, ao longo do qual o material rochoso é estruturalmente descontínuo e apresenta uma menor resistência ao cisalhamento”. Dependendo do grau de alteração, do preenchimento e outras características da descontinuidade, a resistência ao cisalhamento pode até ser nula. O aproveitamento seguro e economicamente viável do maciço está diretamente ligado às suas características, dentre as quais destaca-se orientação, abertura, espaçamento, persistência (extensão), rugosidade, grau de alteração, preenchimento, presença de água entre outras (FIORI, 2009).

O autor alemão Mosch (2011, p.01) ressalta que “*A produção rentável de rochas ornamentais depende principalmente do tamanho do bloco que será lavrado, mas a regularidade e o volume dos blocos também são de importância crítica, e devem ser controladas por um padrão tridimensional do sistema de descontinuidades. Portanto, a otimização no tamanho dos blocos tem que ser o objetivo nas pedreiras de rochas naturais, ligadas principalmente à quantificação das articulações e fraturas, isto é, ao espaçamento e à orientação*”.

A formação de blocos individuais de uma rocha compacta, conhecidos como blocos *in situ*, está diretamente relacionada com a interseção das descontinuidades. Estes sistemas de falhas, juntas, rachaduras, fissuras ou planos de estratificação prejudicam a



qualidade dos blocos brutos. Características intrínsecas como veios de quartzo, calcita, feldspatos e outros, também devem ser considerados, uma vez que podem prejudicar no processamento e na estética dos blocos. (MOSCH, 2011).

As orientações e as distâncias entre as descontinuidades são características cruciais para definição da geometria e do volume dos blocos primários. Atentando-se primeiramente à orientação e ortogonalidade entre as famílias de descontinuidades, um espaçamento maior entre elas pode gerar blocos com grandes dimensões e vice-versa. Em situações geológicas e tectônicas onde os blocos brutos saem irregulares, deve-se reorganizar os processos, já que a geometria dos blocos será redimensionada para dimensões adequadas ao custo-benefício. (MOSCH, 2011).

A classificação das características das descontinuidades em um maciço pode ser nomeada de classificação geomecânica do maciço rochoso. Em uma descontinuidade a orientação do plano é representada pela direção e mergulho; que pode ser medido com uma bússola; o espaçamento é a distância média entre uma ou mais famílias de descontinuidades, a persistência é a razão da área dos segmentos intactos pela área total da descontinuidade, rugosidade da superfície representa as irregularidades (ondulações) na parede da descontinuidade, a abertura é a distância média entre os blocos adjacentes, a alteração refere-se ao intemperismo das paredes da descontinuidade e o preenchimento corresponde à classificação do tipo de material, que por processos de intemperismos (químico, físico e/ou biológico) foi adicionado na descontinuidade (FIORI, 2009).

As descontinuidades são as responsáveis pelo rendimento das operações de lavra nas pedreiras. Segundo Mosch (2011, p.2) *“um exemplo de situação ideal de fraturamento é quando a fragmentação entre blocos retangulares é definida por um sistema natural de fraturas ortogonais”*. Considerando as situações reais, é quase impossível encontrar um sistema desta forma, sendo a maioria dos depósitos afetados por distintas orientações de fraturas. Esta variedade de famílias de descontinuidades resulta em irregularidades nos blocos, o que gera a necessidade de desmontes secundários e/ou cortes individuais. Para se ter uma idéia, existem empresas, como no caso do granito finlandês, que operam com rendimentos de 5 a 10 % de rocha comercializável no total escavado. (MOSCH, 2011).

As Figuras 2 e 3 retratam modelos computacionais para simulação tridimensional das orientações das fraturas; ferramentas usualmente utilizadas em empresas tradicionais do setor. Esta técnica se mostra eficaz pois trabalha com soluções numéricas para

planejamento de lavra através de coletas de informações de elementos tectônicos, ângulos de mergulho, direções e etc.

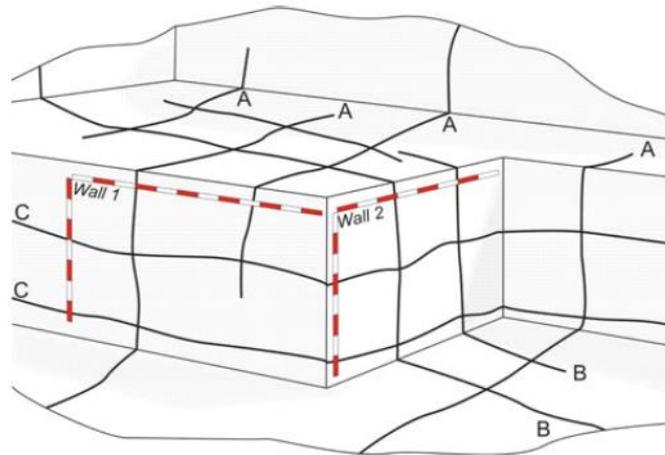


Figura 2 – Linhas verticais e horizontais em duas paredes de escavação que são interceptadas pelas famílias de fraturas (A, B e C).

Fonte – MOSCH et al (2011, p.02).

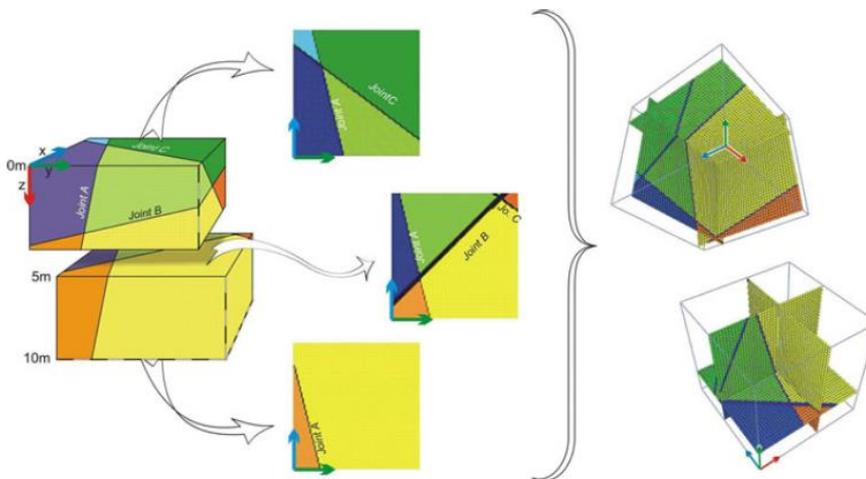


Figura 3 – Blocos diagramas do programa 3D-BlockExpert representando superfícies bidimensionais e tridimensionais com a intercepção de conjuntos de fraturas.

Fonte – MOSCH et al (2011, p.02).

Outra metodologia utilizada no mercado para construção de modelos estruturais é a prospecção geofísica, que utiliza de ferramentas como a sísmica de refração, resistividade elétrica e entre outras. Estes modelos permitem interpretações sobre as estruturas, litologia e estratigrafia, além de correlacionar as informações com um modelo

estrutural elaborado, de forma a verificar uma concordância e/ou complementariedade nos resultados. Informações estas, crucias para o desenvolvimento da mina e o planejamento da lavra. (DUARTE, 2010).

No geral, o levantamento estrutural e a classificação geomecânica compreendem em observações in situ e na coleta de dados para definir famílias de descontinuidades, podendo classifica-las conforme algum padrão de direções e tensões, o que possibilita orientar a lavra e a qualidade dos blocos.

Nas atividades de campo deve-se atentar às direções mais prejudiciais à lavra e não apenas nas fraturas com maior adensamento. Tal metodologia de estudo além de aperfeiçoar o tempo auxiliará na correta orientação e otimização do desmonte. Mesmo porque existem diversos casos onde a identificação das zonas menos fraturadas permitiu um melhoramento na recuperação de blocos. (GIORGIO, 2003).

3.3 Projeções Estereográficas

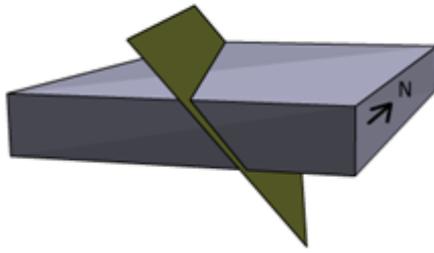
A projeção de um plano em uma esfera foi inicialmente utilizada pelos astrônomos para o mapeamento de estrelas e pelos cartógrafos na criação de mapas da Terra. Posteriormente, a metodologia foi adaptada para o estudo da cristalografia, da geologia de campo orientado e da geologia estrutural, sendo possível aos estruturalistas a apresentação das orientações lineares e planares das estruturas. (ANDRESEN, 2012).

A projeção estereográfica é a representação de feições espaciais planares ou lineares. Ela possibilita o entendimento de situações da geologia estrutural, transformando as estruturas em dados tridimensionais e em conjuntos de planos e retas. (CARNEIRO, 1996).

Segundo Ragan (2009, p.88) “A geometria básica deste método envolve a projeção de um ponto na esfera para o plano diametral horizontal”. O estereograma é definido como a representação traçada dentro do grande círculo horizontal em conjunto com uma ou mais direções de uma bússola cardinal (RAGAN, 2009).

Existem diversas convenções para representar estruturas planares e lineares, no entanto, a mais comum é a regra da mão direita (Figura 4). A orientação da direção de uma linha é dada pela direção do mergulho, sendo a direção do plano apresentada em graus em relação ao norte verdadeiro (ANDRESEN, 2012).

A) Plano Oreintado 320/45



B) Plano Oreintado 130/30

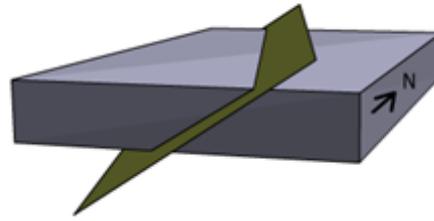


Figura 4 – Representação de planos (direção do plano/ângulo de mergulho) utilizando a regra da mão direita.

Fonte – ANDRESEN et al (2012, p.3)

A direção do plano observada é em relação ao norte e a superfície mergulha na mesma direção que a mão direita (ANDRESEN, 2012).

A projeção estereográfica é feita utilizando uma rede estereográfica de áreas líquidas e ângulos líquidos iguais. Existem dois tipos de redes, a de Schmidt e a rede de Wulff, sendo a primeira mais utilizada pelos estruturalistas devido à sua versatilidade. A rede estereográfica também possibilita a projeção em um grande círculo e em um pequeno círculo, ambos referenciando um plano equatorial da esfera. (Figura 5) (ANDRESEN, 2012).

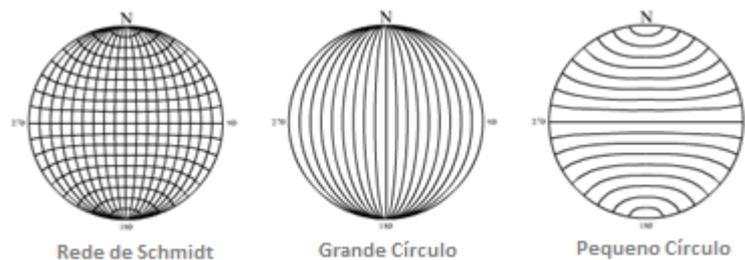


Figura 5 – Representação da rede de Schmidt, do grande círculo e pequeno círculo.

Fonte – ANDRESEN et al (2012, p.4)

A representação de uma linha ou de um plano na rede estereográfica pode ser descrita como a intersecção do centro de uma esfera com o seu hemisfério inferior. Filho (2008, p. 139) afirma que quaisquer planos ou retas podem ser diagramados, estereograficamente, porém, devem ser representados no plano do hemisfério de referência e passar pelo centro da esfera. Para os planos, a intersecção ocorre na forma de grandes círculos, já para as linhas, ocorre na forma de pontos (Figura 6). Estas projeções

constituem nada menos que uma representação em 2D de um sistema real, tridimensional (ANDRESEN, 2012).

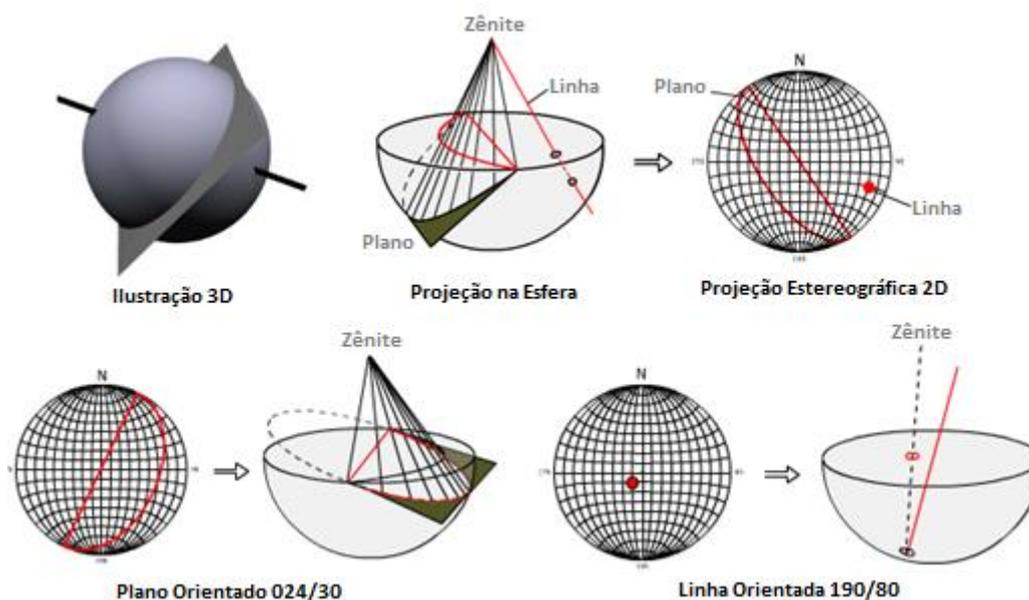


Figura 6 – Projeções no hemisfério inferior da esfera (3D) e o equivalente em 2D (Plano orientado e linha orientada).

Fonte – ANDRESEN et al (2012, p.6 e 7).

3.4 Métodos de Lavra de Rocha Ornamental e Técnicas de Corte na Região

Os métodos de lavra de rocha ornamental são diversificados, porém, os mais comuns são o de matacões e o de bancadas (Figura 7). De acordo com Reis (2003, p.208) “As jazidas de rochas ornamentais podem ser lavradas em maciços rochosos e em matacões, utilizando-se métodos e técnicas que possibilitam resultados satisfatórios em termos da relação custo/benefício”. Geralmente, nas lavras por bancadas (Figura 8), realizam-se os furos primários com martelotes pneumáticos ou perfuratrizes. Desta forma, os blocos primários são cortados por fio diamantado, executando-se em seguida o desmonte com explosivos para sua liberação da frente de lavra (na região, a técnica é conhecida como “boca de lobo”). O desmonte secundário (fogo escultural), etapa para

definir os volumes comercializáveis dos blocos, é realizado pelo martetele pneumático, inserção de cunhas em furos e/ou argamassas expansivas (GIORGIO, 2003).

O método de lavra por bancadas é mais versátil, possibilitando melhores avaliações do depósito e seleção dos materiais. Esta metodologia elaborada exige um maciço rochoso pouco fraturado e um volume de rocha considerável para garantir um tempo razoável de extração (GIORGIO, 2003).

Segundo Cabello (2011, p.170) “A extração por maciços rochosos pode ser executada em cotas acima ou abaixo do nível do terreno” (Figura 7).

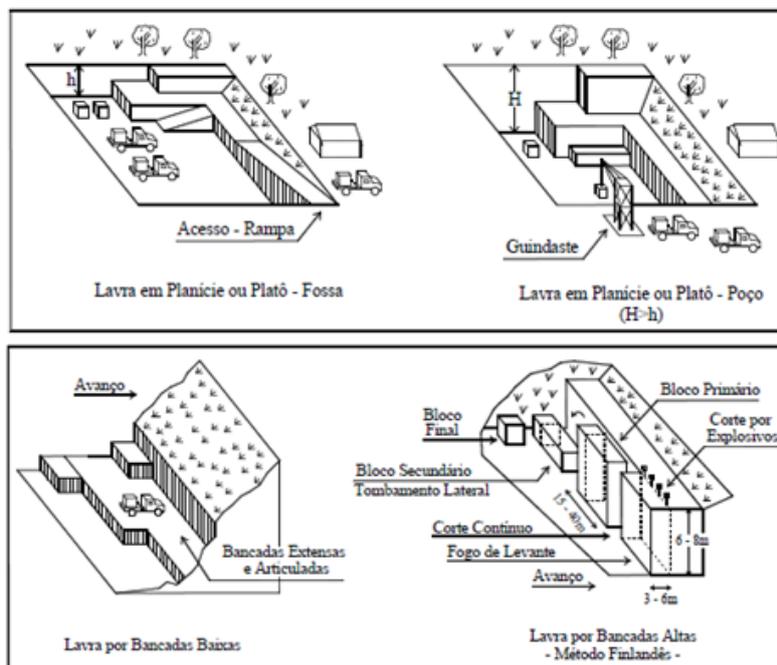


Figura 7 – Lavra em planície ou platô (cota abaixo do terreno) e Lavras por bancadas baixas e altas (cota acima do terreno).

Fonte – CABELLO et al (2011, p.170-171).

As técnicas de corte modernas exigem minuciosos requisitos técnicos e econômicos para extração dos blocos brutos, levando em consideração a dimensão máxima, a segurança na logística e no processamento das peças. As melhores condições encontradas para o tamanho dos blocos variam de 6 a 8 m³, porém, ainda existem vários exemplos de pedreiras que trabalham com volumes de 10 a 15 m³. Os volumes mínimos comercializados para exportação variam de 1 a 6 m³, sendo as dimensões 2,0 x 1,0 x 0,5 m e 3,0 x 2,0 x 1,0 m. No âmbito do processamento dos blocos, a largura é responsável pela quantidade das placas, enquanto a altura pelo tamanho. (MOSCH, 2011).



Figura 8 – À esquerda, liberação de bloco por desmonte primário. À direita, bancadas na praça principal. Mina vargem dos Trigos da Empresa ETGRAN, Caldas/MG.

Fonte – Elaboração própria.

O caso de estudo, Figura 8, utiliza o método de lavra por bancadas altas (8,0 m a 10,0 m), delimitadas por cortes com fio diamantado para a abertura de bancadas com 3,0 m a 6,0 m de largura e 40,0 m de comprimento. O corte secundário das pranchas geralmente é realizado com martetele pneumático manual ou mecanizado, inserção de cunhas nos furos e/ou com argamassa expansiva.

4.0 Materiais e Métodos

O mapeamento estrutural exige uma coleta de dados para o controle geológico das estruturas e para obter uma escala das frentes de lavra do Café Imperial, considerando a Mina Vargem dos Trigos operada pela ETGRAN Mineração.

A mina localiza-se cerca de 12 km ao sul de Pocinhos do Rio Verde, distrito de Caldas (vide ponto 2, na Figura 1) e pode ser acessada por estradas de terra.

A caracterização estrutural gerou um banco de dados para obter modelos tridimensionais das discontinuidades em blocos diagramas e projeções estereográficas (visualização em 2D) geradas com o software livre *StereoNet*, versão 8.0 para Mac. Na confecção dos blocos diagramas utilizou-se da plataforma online *VISIBLE GEOLOGY*, uma ferramenta imprescindível para simulação e observação das intersecções estruturais. Também foi gerado um perfil da mina no *AUTOCAD 2014* versão para estudantes.

No mês de março de 2012 ocorreu a primeira visita técnica na mina da Empresa ETGRAN, em Caldas, MG, para reconhecimento das frentes de lavra e dos métodos de corte e desmonte das bancadas. A primeira coleta de dados ocorreu no dia 10 de setembro de 2012, continuando os trabalhos no dia seguinte. As áreas de lavra da mina para as coletas dos dados estruturais foram divididas em 6 áreas, sendo a área 2 subdividida em A, B, C e D, como mostra a Figura 11.



Figura 9 – Vista superior das divisões em áreas para coletas de dados estruturais/ ETGRAN Mineração - Mina Vargem dos Trigos.

Fonte – Elaboração própria.

O mapeamento das discontinuidades foi realizado nas frentes de lavra e nos afloramentos ao redor das mesmas. Foram tomadas 131 medidas nas nove frentes de lavra, correspondendo às 9 áreas da Figura 11. As estruturas medidas foram selecionadas devido às características que facilitaram as medições, como a altura das bancadas, a abertura da discontinuidade e o acesso até elas.

A coleta de dados estruturais; medição da direção e rumo do mergulho das discontinuidades, foi realizada com bússola de estrato Kranz. As folhas cartográficas do



município de Caldas/MG e Santa Rita de Caldas/MG permitiu a localização das áreas de lavra da mina, e o GPS Etrex 12 Channel Garmin definiu as coordenadas em UTM.

Destaca-se que o maciço em estudo apresenta baixo grau de fraturamento, o que pode defini-lo, no âmbito da caracterização estrutural, como um maciço de boa qualidade para a coleta de dados estruturais.

A caracterização qualitativa das descontinuidades foi necessária para classificar e dividir os padrões estruturais em famílias. Portanto, componentes característicos foram selecionados, como a atitude, rumo do mergulho, persistência e outros (Tabela 1).

Tabela 1 – Componentes característicos para classificação estrutural do maciço.

Componentes	Breve definição
Atitude	Direção e mergulho do plano
Abertura da fratura	Distância entre os blocos adjacentes
Alteração e o preenchimento	Intensidade da alteração e tipo de preenchimento observado a olho nu
Espaçamento da fratura a outra de mesma família	Distância entre ambas as fraturas de uma mesma família
Persistência da fratura	Comprimento da fratura
Rugosidade	Definição da rugosidade de uma fratura
Rumo do mergulho	Vetor que está a 90° da direção do plano

A atitude e o rumo do mergulho permitem classificar as descontinuidades em famílias com orientações semelhantes, tendo, portanto, os outros componentes maiores importâncias apenas nos cortes em blocos e na trituração a qual sofrerá com o desmonte por explosivos.

5.0 Resultados e Discussões

5.1 Características Estruturais na Escala Local

O mapeamento estrutural possibilitou a confecção de imagens que facilitassem a observação sobre o comportamento estrutural da mina. Em cada frente de lavra é possível observar as três famílias principais de descontinuidades (Figura 10). Após a montagem

do banco de dados, um comportamento semelhante em todas as áreas foi notado, o que definiu as principais e as semelhantes famílias de estruturas nas nove áreas.

Algumas projeções estereográficas foram criadas, com a representação no pólo do plano individual e no pólo do plano conjunto, para todas as áreas de corte (Figura 11 e 12). Esta ferramenta permitiu visualizar uma malha condensada nos extremos longitudinais, ou seja, a maioria das famílias orientadas nas direções E-W e NE-SW.

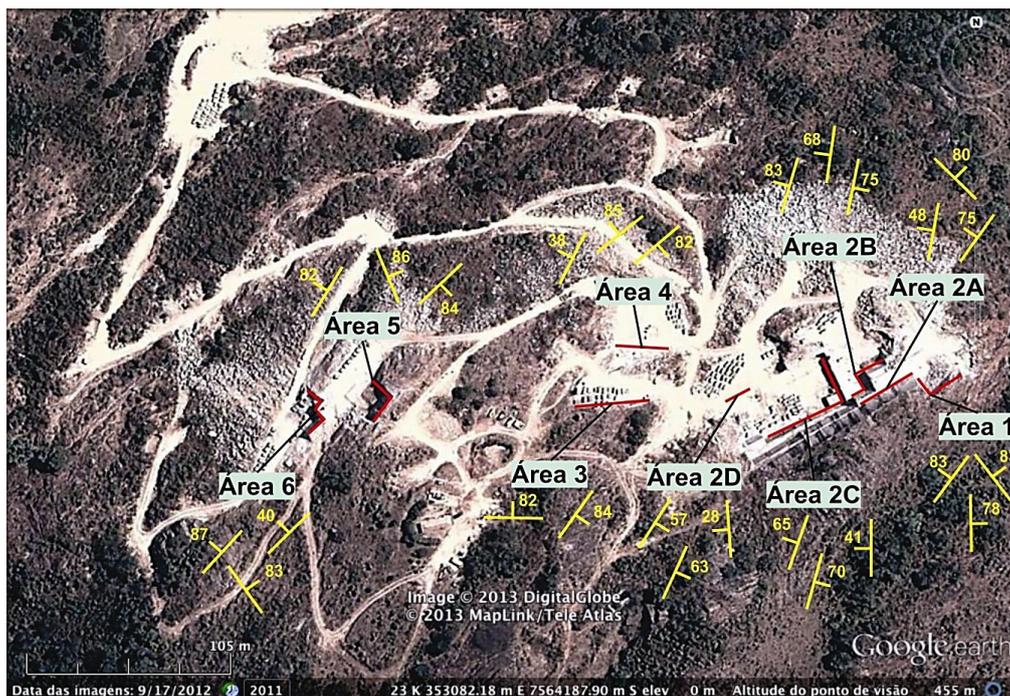


Figura 10 – Imagem de satélite com a posição das frentes de lavra e as principais atitudes das fraturas.

Fonte – Elaboração própria.

A intensidade estrutural encontrada possui uma média geral orientada na direção NE-SW (Figura 13), fato este observado em campo, sendo a diferenciação apenas nos ângulos de mergulho. Em termos de classificação, a maioria das fraturas medidas são subverticais e estão tipicamente associadas ao alívio de carga, o que comprova suas aparições na abertura de novas frentes de lavra. Já o preenchimento típico, é uma combinação de água, argilo-minerais e óxido de manganês.

A descrição da orientação média na mina (NE-SW) permitiu encontrar o principal fenômeno responsável pelas perdas (Figuras 14 e 15) quando a frente de lavra está

instalada, a intersecção de famílias. Fenômeno encontrado em feições comuns nas áreas 2, 3, 4 e 6.

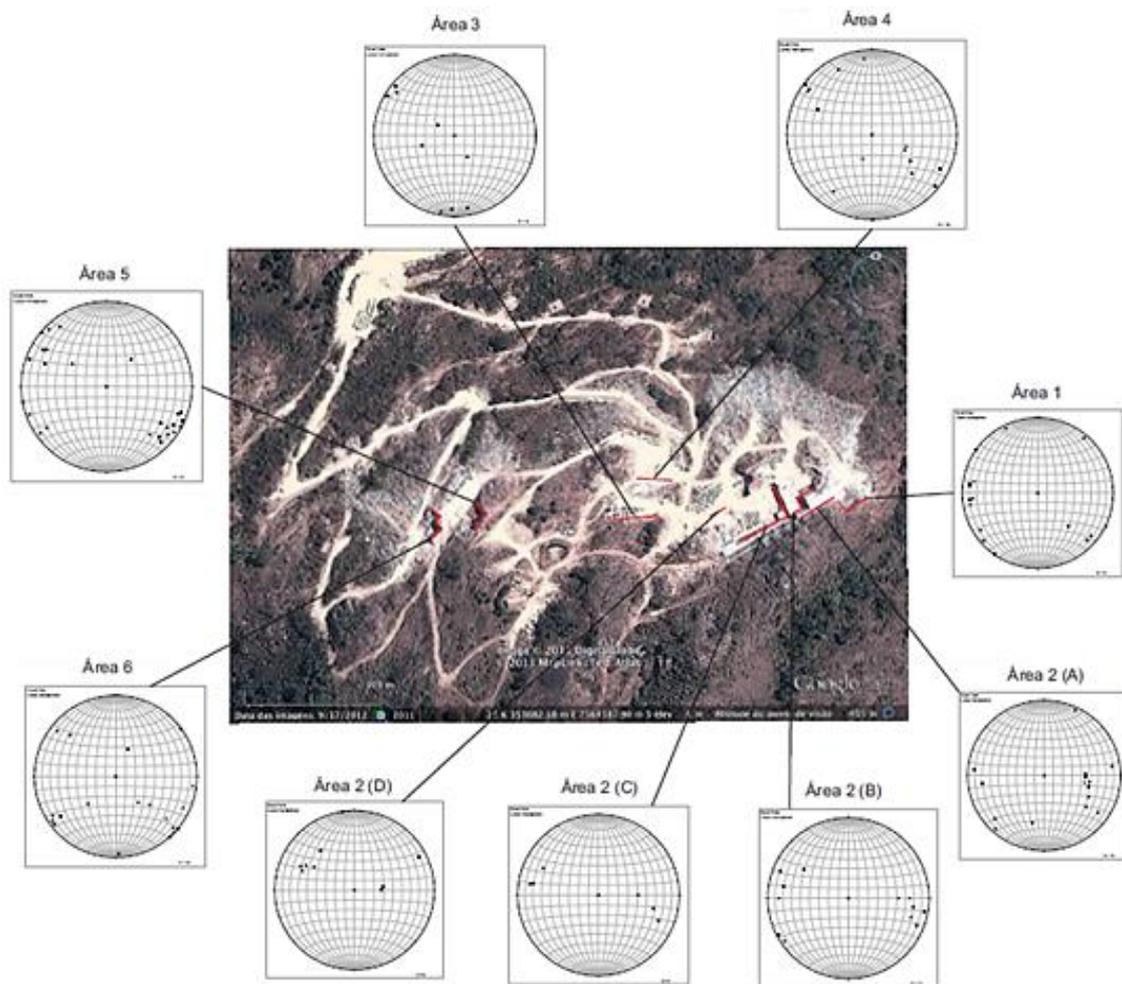


Figura 11 – Projeções estereográficas a partir da rede de Schmidt no polo do plano.

Fonte – Elaboração própria.

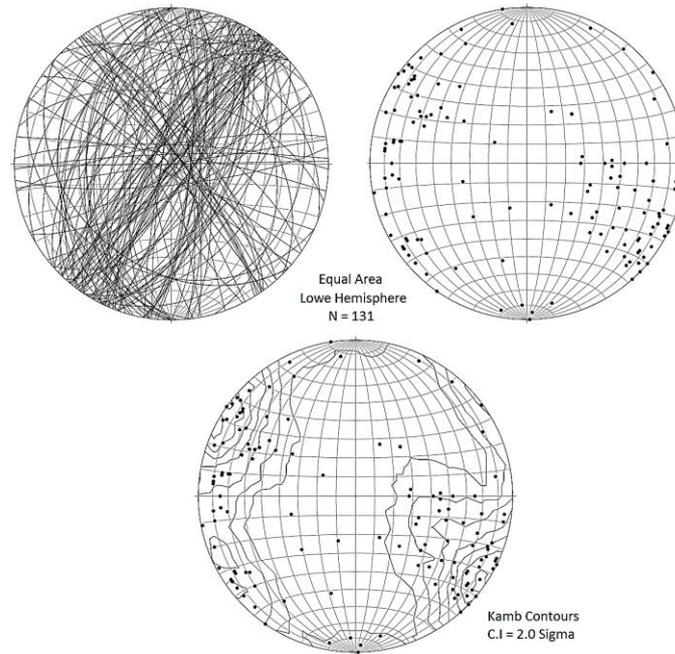


Figura 12 – Projeções estereográficas geral (todas as áreas) no círculo máximo do plano (superior à esquerda), no polo do plano (superior à direita) e contorno dos polos (inferior).

Fonte – Elaboração própria.

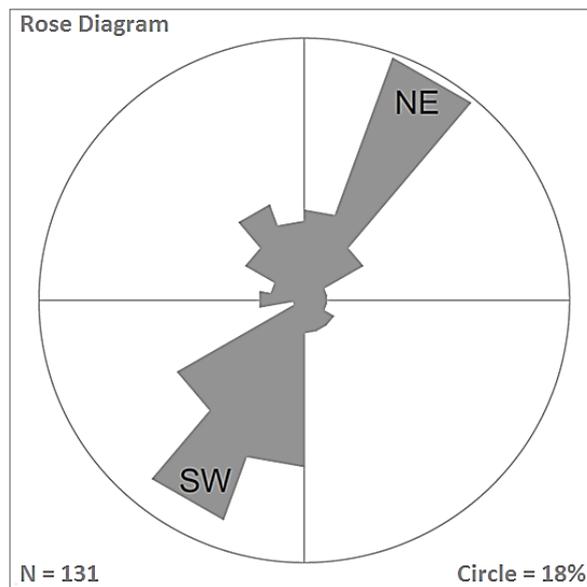


Figura 13 – Diagrama de roseta das direções em relação ao Norte Verdadeiro.

Fonte – StereoNet versão 8.0 para Mac.



Figura 14 – Aspecto do fraturamento na Área 6, marcado pelo cruzamento das fraturas NE-SW (plano maior) com as fraturas de direção N-S.

Fonte – Elaboração própria.



Figura 15 – Aspecto do fraturamento na Área 2D, com fraturas subverticais de direção geral NE-SW em cruzamento com o sistema subhorizontal e direção NE-SW.

Fonte – Elaboração própria.

A feição da Figura 15 constitui o problema mais frequente na abertura de uma nova frente de lavra. Felizmente, com o avanço da lavra o sistema subvertical NE-SW

mesmo sentido, e algumas informações geomorfológicas e litológicas condizentes, como a foliação no sentido NE-SW (Anexo e Apêndice B).

5.2 Projeções em Blocos Diagramas

Embora seja verdade o fato de diminuição do fraturamento com o avanço da operação da mina, em função da profundidade, é necessário investigar a distribuição espacial, a densidade das fraturas e as intersecções para prever os níveis mais críticos e com isso orientar as atividades de lavra reduzindo imprevistos na produção e diminuindo a geração de rejeitos.

Na pedreira, observou-se a intersecção das várias famílias de descontinuidades E-W, variando apenas seus ângulos de inclinação, as famílias NE-SW e E-W interseccionando com as famílias N-S (Figura 14, Tabela 2 e Apêndice A).

O planejamento da lavra não é executado na pedreira, apenas o bom senso e a experiência dos operadores e responsáveis guiam o avanço das frentes. Por isso, o conhecimento das possíveis geometrias causadas pelas intersecções podem gerar bons resultados na obtenção de blocos através do desmonte primário e secundário. As famílias com direção principal NE-SW são as mais ocorrentes na mina devido à presença em todas as frentes de lavra (Figura 17), 60 medidas das 87 selecionadas. As famílias N-S, 14 medidas, vem em segundo lugar. Já as demais, estão distribuídas nas direções E-W e NW-SE.

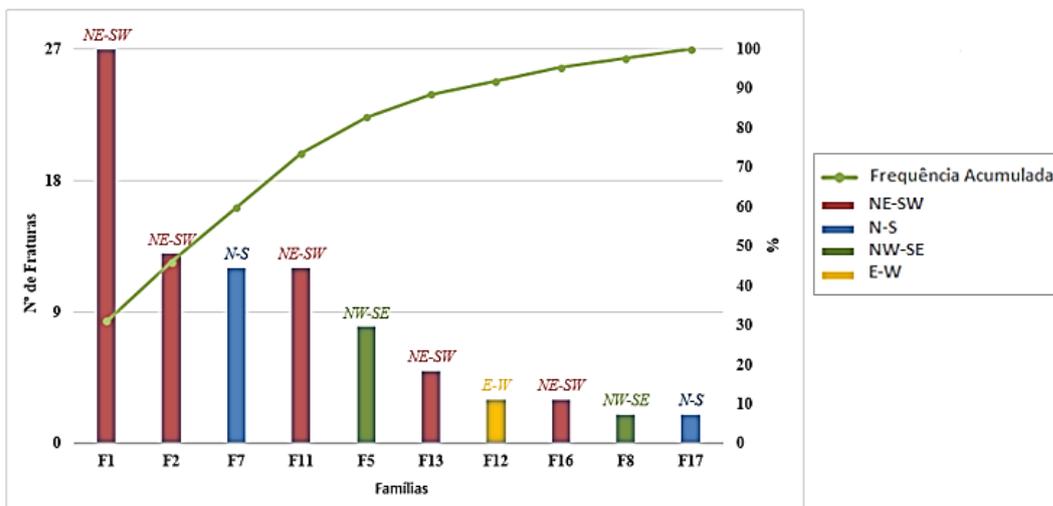


Figura 17 – Orientação e distribuição das famílias de fraturas.

Fonte – Elaboração própria.

O desafio maior na projeção do avanço da lavra é definir com exatidão qual a persistência no subsolo das famílias NW-SE, E-W, e N-S, aqui definidas como “ponto-chave de rendimento”. A persistência coletada em campo (Tabela 2) é um parâmetro fundamental na orientação da lavra, porém, possui alguns erros distribuídos, como a incerteza da trena, erros de paralaxe, inacessibilidade até o ponto final da fratura e demais erros que impedem uma exatidão na medida. No entanto, como ainda não é possível definir o comportamento das fraturas no subsolo, tais erros são dissolvidos nestas medidas, mesmo porque, já mencionado acima, muitas famílias orientadas na direção NW-SE e N-S (a intersecção mais crítica) ocorreram mais ao topo da mina e desapareceram com o avanço horizontal e em profundidade.

Tabela 2 – Quantidade de famílias por áreas e suas persistências médias totais.

Família	Direção principal	Áreas	Nº de ocorrência total	Persistência média total
F1	NE-SW	A1, A2A, A2B, A4,A5 e A6	27	6,45
F2	NE-SW	A3, A4 e A5	13	8,83
F5	NW-SE	A1, A5 e A6	8	4,83
F7	N-S	A1, A2B e A2C	12	5,53
F8	NW-SE	A2A	2	4,75
F11	NE-SW	A2A, A2C, A4 e A6	12	9,50
F12	E-W	A3	3	2,67
F13	NE-SW	A2B e A2C	5	5,84
F16	NE-SW	A2D	3	6,00
F17	N-S	A2D	2	5,50

A metodologia proposta para orientação da lavra, ou seja, para melhorar o rendimento das operações seria a realização de projeções periódicas no avanço da lavra que considerem a intersecção dos planos citados. Uma maneira simples de realiza-la, mas, não tão representativa, é a utilização de blocos diagramas (Figura 18). Tal ferramenta possibilitaria estimar e planejar o desmonte nas frentes lavráveis com fraturas orientadas segundo as direções E-W, N-S, NE-SW e NW-SE.

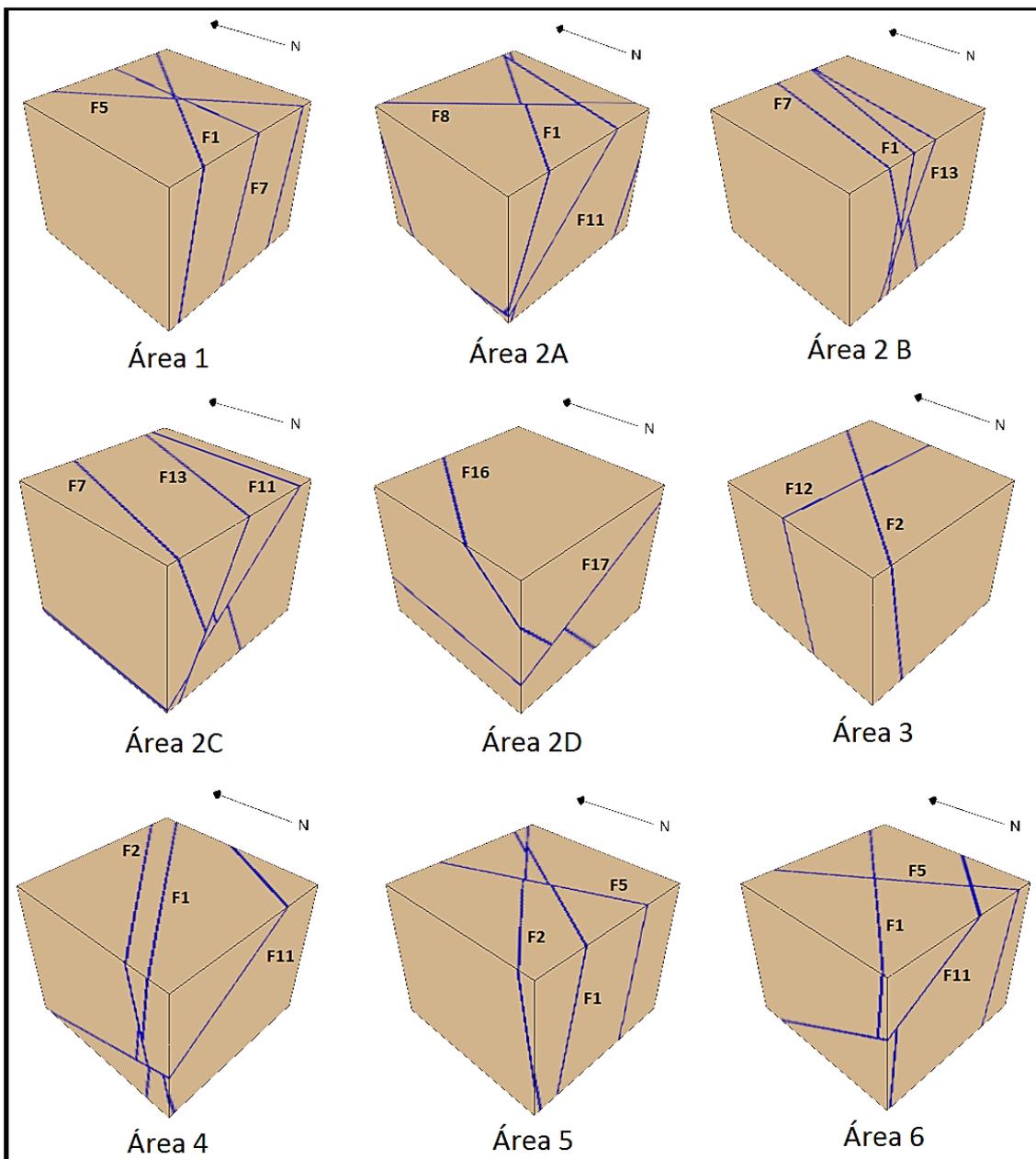


Figura 18 – Blocos diagramas para visualização das intersecções de fraturas em cada área estudada.

Fonte – Elaboração própria.

Os blocos diagramas são ferramentas importantes em pedreiras de rochas ornamentais, pois permitem uma visualização em 3D, uma análise qualitativa sobre o impacto das intersecções nos cortes primários e no rendimento dos cortes secundários. A aparição de famílias com direções semelhantes em áreas de cotas diferentes já é por si só um ótimo indicativo para direcionar a lavra, pois permitem estimar a profundidade da



fratura. As descontinuidades que apresentam orientações semelhantes em diferentes cotas indicam um padrão estrutural que deve ser estudado e compreendido. As orientações de fraturas menos presentes também devem ser catalogadas para possíveis intersecções em novas frentes de exploração.

A família F1, presente em seis das nove áreas e direcionada para NE-SW, intersecciona com a família F7 (direção N-S) na segunda maior frente de lavra, a área 2B. Outra intersecção semelhante e ocorrente na maior frente de lavra (área 2C) é da família F7 com as famílias F11 e F13, ambas orientadas em NE-SW. Nas áreas 5 e 6, atualmente com expressiva representação no rendimento, encontram-se outras intersecções, menos comum, entre as direções NW-SE (F5) e as direções NE-SW (F1, F2 e F11). Fato que explica o bom rendimento. Na área 2D e área 6, existe uma família específica e de baixa ocorrência, direcionada para N-S, classificada como F9 (Figura 13). Devido às fraturas com direções N-S serem mais persistentes no maciço e não estarem relacionadas com o alívio de carga, como as NE-SW e NW-SE, verificar a aparição em uma diferença de altitude de aproximadamente 20 m, permite prever novas intersecções entre estas famílias nas duas áreas, mesmo porque estas frentes de lavra estão separadas no sentido NW-SE. Uma situação análoga e comum é o aparecimento da família F7 (N-S) nas áreas 1, 2A e 2B, separadas por 25 m de altitude. A intersecção da F1 com F7 foi um dos grandes prejuízos nestas três áreas e motivou os responsáveis pela operação a iniciar novas frentes em cotas mais baixas.

O bloco diagrama da área 3 apresenta uma intersecção incomum na pedreira, uma família orientada para E-W e outra para NE-SW. Tal ocorrência não apresenta um problema para esta frente, mesmo porque a persistência superficial da família F12 é pequena.

No que diz respeito à “*dimensão*” superficial, o padrão estrutural da pedreira da ETGRAN Mineração foi compreendido. O baixo rendimento do empreendimento ocasionava na obtenção de blocos comercializáveis de 8 a 10m³, sendo 12m³ o volume ideal para as exportações. Atualmente as atividades são sustentadas pela expansão da construção civil chinesa, o maior e muitas vezes único comprador dos blocos. O rendimento operacional dos blocos já chegou a menos de 20%, um valor tão baixo que levou à paralização das operações diversas vezes. Além das perdas no mercado, existe a elevada geração de resíduos que são dispostas de forma não planejada no maciço. Um agravante ambiental que poderá gerar problemas de drenagem e até mesmo colocar em risco a vida de animais e pessoas. As intersecções entre descontinuidades não são o único

agravante no desmonte, pois outro problema que interfere e muito no rendimento são os veios de feldspato, aqui não apresentados pois suas presenças são aleatórias e de provável não adequação num padrão (Figura 19).

A melhor opção para realizar um planejamento de lavra seria a realização de uma campanha geofísica para definir as persistências das discontinuidades e dos veios na porção subterrânea. Este estudo levaria um investimento maior, e que dependendo das condições de mercado, não seria viável. No entanto, a caracterização estrutural já definiu as famílias de todas as frentes, inclusive suas intersecções, ou seja, foi um estudo que se provou coerente com as situações presenciadas e passível de otimizar o rendimento.



Figura 19 – Sistemas de fraturas em conjuntos com sistemas de veios de feldspato. Obs: Bancada com 8 m de altura.

Fonte – Elaboração própria.

6.0 Conclusões

Atualmente as atividades de mineração realizadas pelas empresas de rochas ornamentais são fortemente afetadas pelo padrão de faturamento e veios, resultando em baixa recuperação, quer pela obtenção de blocos com tamanho muito pequeno, quer pela variação o aspecto estético.

A análise estrutural com base nos dados obtidos nos afloramentos possibilitaram reconhecer o padrão estrutural da pedreira da ETGRAN Mineração. As informações e



interpretações geradas serão úteis à orientação de lavra da mina. Neste íterim, conclui-se que o maciço em questão é pouco fraturado, o que favorece a operação de lavra com perdas relativamente bem controladas, embora seja comum a ocorrência de previsões inadequadas. O principal problema é o cruzamento de dois sistemas de fratura de baixo ângulo com direção NE-SW (mais frequente na mina) e outro com direção N-S. Complicações adicionais são geradas quando outros sistemas aparecem, direção NW-SE e E-W.

Os blocos diagramas são, sim, uma ótima ferramenta para orientar a lavra, porque fornecem uma visualização em 3D das intersecções entre as famílias. Mas, essas conclusões também podem ser feitas com base nas projeções estereográficas, mesmo sendo visualizações em 2D.

A alternativa para minimizar as perdas é, em conjunto com as projeções estereográficas e blocos diagramas, realizar um estudo complementar para definir, por meio de geofísica e/ou sondagem rotativa, as zonas em profundidade com maior potencial de aparecimento conjunto desses sistemas. Com estes complementos, obter-se-á informações suficientes do padrão geral de fraturamento da mina, o que possibilitará práticas sustentáveis e melhoras no rendimento operacional.

7.0 Referências Bibliográficas

ANDRESEN, A. **Haakon Fossen Website**. 2012. Disponível em:

< <http://folk.uib.no/nglhe/e-modules/Stereo%20module/1%20Stereo%20new.swf> >. Acesso em: 7 de jun. 2012.

CABELLO, M. L. R.; PERES, A. E. C.; MARTINS, A. H.; SILVA, R. G. O.; PEREIRA, C. A. **Métodos de Lavra Aplicados à Extração de Rochas Ornamentais**. HOLOS - ISSN 1807-1600, Congonhas, RN, v.5, ano 28, p.167-173, set./out. 2012. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1057>>

CARNEIRO, C.D.R. **Projeção Estereográfica para Análise de Estruturas: Programas Ester e Trade. Fundamentos Teóricos, Exercícios e Aplicações em Microcomputador, Laboratório e Campo**. São Paulo: IPT, 1996.

DUARTE, J. A. M.; FIGUEIREDO F. P.; PEREIRA, A. J. S. C. **Aplicação conjunta de dados de prospecção geofísica, análise estrutural e modelação geológica aplicado ao estudo da pedreira “EM&R” Nº 6478 (Valinho de Fátima - Portugal)**. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, n.110, 9f, 2010.

FILHO, C.L.M. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 3. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2008.

FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

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. 175-179, jul./set. 2003.

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, UFRS, Porto Alegre, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?lang=&codmun=311030&search=minas-gerais|caldas|info%20gr%20ficos:-despesas-e-receitas-or%20ament%20rias-e-pib>>.

Acesso em: 21 de abr. 2014.

MEYER, A.P. **A influência da Petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do complexo Socorro (SP) e Maciço da Pedra Branca (MG)**. 2003. 139f. Dissertação de mestrado em Geociências – Instituto de Geociências e Ciências Exatas campus de Rio Claro, UNESP, Rio Claro, 2003.

MOSCH, S.; NIKOLAYEW, D.; EWIAK, O.; SIEGESMUND, S. Optimized extraction of dimension stone blocks. Environmental Earth Sciences, Germany, Aug. 2011. Available in: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-010-0825-7>. Accessed in: 14th March. 2014.

RAGAN, D.M. **Structural Geology: An Introduction to Geometrical Techniques**. 4. ed. Nova York: Cambridge University Press, 2009.

REIS, R.C.; SOUSA, W. T. **Métodos de lavra de rochas ornamentais**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, v.56, n.3, p. 207-209, jul./set. 2003.

WINTERS, A. M. **A Geologia do Maciço Sienítico da Pedra Branca, Caldas – MG**. 1981. 92f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

APÊNDICE A – Classificação Qualitativa e Quantitativa dos Planos de Fraturas

	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
Área 1	F1	216	83	NE-SW	3	4,20
	F5	143	83	NW-SE	2	4,50
	F7	181	78	N-S	6	5,75
Área 2^a	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F1	215	75	NE-SW	1	3,00
	F8	135	80	NW-SE	2	4,75
	F11	190	48	N-S	6	14,82
Área 2B	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F1	196	83	NE-SW	2	5,00
	F7	11	75	N-S	3	7,00
	F13	188	68	N-S	3	4,67
Área 2C	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F7	15	70	N-S	3	3,83
	F11	180	41	N-S	1	8,00
	F13	199	65	NE-SW	2	7,00
Área 2D	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F16	32	57	NE-SW	3	6,00
	F17	176	28	N-S	2	5,50
Área 3	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F2	35	84	NE-SW	4	6,50
	F12	91	82	E-W	3	2,67
Área 4	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F1	231	85	NE-SW	3	7,00
	F2	49	82	NE-SW	6	7,67
	F11	206	38	NE-SW	3	3,67
Área 5	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F1	211	82	NE-SW	11	9,44
	F2	46	84	NE-SW	3	12,33
	F5	158	86	NW-SE	3	2,00
Área 6	Família	*Direção do plano (°)	Mergulho (°)	**Orientação	Ocorrência	Persistência média (m)
	F1	222	87	NE-SW	7	10,06
	F5	145	83	NW-SE	3	8,00
	F11	225	40	NE-SW	2	11,50

APÊNDICE B – Mapa Estrutural Regional

