



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE MINAS**

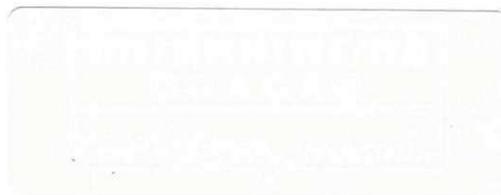
**ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA**

**GEOLOGIA, LAVRA E APROVEITAMENTO RACIONAL DOS  
QUARTZITOS DA REGIÃO DE VÁRZEA  
E JUNCO DO SERIDÓ - PB**

**CAMPINA GRANDE - PB  
1999**

7  
**ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA**

**GEOLOGIA, LAVRA E APROVEITAMENTO RACIONAL DOS  
QUARTZITOS DA REGIÃO DE VÁRZEA  
E JUNCO DO SERIDÓ - PB**



Dissertação de mestrado apresentada a Coordenação  
do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Minas  
da Universidade Federal da Paraíba, como parte  
das exigências para obtenção do Grau de Mestre

Área de Concentração: **LAVRA DE MINAS**  
Orientador: **Prof. TUMKUR RAJARAO GOPINATH, PhD**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**1999**



S725g Sousa, Antonio Pedro Ferreira  
Geologia, lavra e aproveitamento racional dos quartzitos da regio de Varzea e Junco do Serido - PB / Antonio Pedro Ferreira Sousa. - Campina Grande, 1999.  
84 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Minas) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Quartzito 2. Lavra 3. Dissertacao - Engenharia de Minas I. Gopinath, Tumkur Rajarao II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)

CDU 552.45(043)

PARECER DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DO ESTUDANTE ANTÔNIO PEDRO FERREIRA SOUSA

TÍTULO: "GEOLOGIA, LAVRA E APROVEITAMENTO RACIONAL DOS  
QUARTZITOS DA REGIÃO DE VÁRZEA E JUNCO DO SERIDÓ - PB"

Aprovada em 29/07/1999

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Tumkur Rajarao Gopinath

TR Gopinath

Dr. Aarão de Andrade Lima

Aarão de Andrade Lima

Dr. Vishwambhar Nath Agrawal

VN Agrawal

Campina Grande, julho de 1999

*“ Não chores, meu filho,  
não chores, que a vida  
é luta renhida,  
viver é lutar  
a vida é combate,  
que os fracos abate  
que os fortes, os bravos,  
só pode exaltar”*

***Gonçalves Dias***

## **HOMENAGEM**

*Aos meus padrinhos Francisco Conceição e Antônio Noronha (in memoriam), que  
incentivaram bastante minha vida acadêmica.*

*Aos meus pais, Maria José e Aldi, à Claudia e aos meus filhos Daniel, Bruno e Rebeca,  
com os quais compartilho meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela perseverança, motivação e coragem para conclusão deste importante trabalho.

Em especial a minha mãe Maria José Ferreira Sousa, ao meu pai Aldi Sousa, as meus tios(as), irmãos e cunhadas, primos(as) e demais familiares pelo incentivo, apoio e confiança em todos os momentos de minha vida acadêmica e profissional;

A minha companheira de todos os momentos, Cláudia Simone Bezerra, pela sua inestimável contribuição neste trabalho, dedicando dias e noites no serviço de digitação. Meu eterno obrigado pelo seu amor, carinho, confiança e compreensão.

Ao professor Tumkur Rajarao Gopinath, Coordenador do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Minas, meu orientador e grande mestre, que incentivou e acompanhou todas as fases deste trabalho, fornecendo informações significativas.

Ao professor Aarão de Andrade Lima, examinador e grande amigo, pelo incentivo, críticas e sugestões significativas.

Ao professor Vishwambhar Nath Agrawal, por participar da banca examinadora desta dissertação e por sua expressiva contribuição para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Minha gratidão especial ao amigo Hugo Cliger Santos Nadler, estudante e bolsista de iniciação científica do Curso de Graduação em Engenharia de Minas, por sua paciência e colaboração decisiva nas atividades de campo e laboratório, nas correções e na elaboração da versão final desta dissertação de Mestrado.

Ao professor João Ramos de Lucena Neto, pela sua participação na primeira visita de campo as áreas mineradas de quartzitos, em Várzea, incentivando e fornecendo informações indispensáveis para elaboração do plano de dissertação.

Aos amigos prof. Marconi França do DDI e Lanusse Salim Tuma por suas contribuições na preparação do material para apresentação desta dissertação.

Aos estudantes do Curso de Graduação em Engenharia de Minas Homero José Loureiro Sarmiento, Joaquim Jordão Lola Júnior, Gildácio José de Lima Araújo e Marisa Rangel de Sousa por suas valiosas contribuições nas atividades de campo.

Ao amigo Engenheiro de Minas José Ivaldo Morais, Presidente da Câmara de Vereadores de Várzea, por todo o apoio prestado durante as atividades de campo nas áreas mineradas.

Ao amigo Amauri (*in memorian*) e toda a sua família pela paciência, compreensão e deliciosas refeições fornecidas para toda a equipe envolvida nas atividades de campo.

Aos garimpeiros de Várzea e Junco do Seridó, por permitirem o acesso as áreas mineradas e pelas informações transmitidas.

A Diretoria do CCT, pelo incentivo e colaboração, dispensando minhas atividades na Assessoria de Estágio e Monitoria deste Centro, durante a fase de conclusão deste trabalho.

Aos demais companheiros e amigos do Curso de Engenharia de Minas: Professores, funcionários e estudantes, pelas experiências compartilhadas e incentivo dado ao longo desta jornada, em especial a Maria Carmelo M. Coutinho, secretária da Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, por seu apoio nos serviços burocráticos.

Enfim, as pessoas não mencionadas, mas importantes direta ou indiretamente para conclusão desta dissertação.

## SUMÁRIO

HOMENAGEM	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTAS DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTAS DE TABELAS	vii
LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS	viii
LISTAS DE SÍMBOLOS	ix
RESUMO	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Justificativa e Relevância	2
1.3. Objetivos	5
1.4. Aspectos da Mineração no Brasil	6
1.5. Vocação Mínero-Industrial do Estado da Paraíba	8
1.6. A Questão Ambiental e a Mineração	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Geologia	14
2.2. Lavra e Parâmetros Geomecânicos	21
3. OS QUARTZITOS NA PARAÍBA	26
3.1. Localização	26
3.2. Reservas	28
3.3. Geologia	28
3.3.1. Geologia Regional	31
3.3.2. Estratigrafia	32
3.3.3. Gênese	35
3.4. Lavra	36

4. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS ÁREAS EXPLOTADAS	39
4.1. Meio Físico	39
4.1.1. Clima	40
4.1.2. Geomorfologia	40
4.1.3. Recursos Hídricos	42
4.1.4. Solos	43
4.2. Meio Biótico	44
4.2.1. Flora	44
4.2.2. Fauna	46
4.3. Meio Sócio-Econômico	47
5. METODOLOGIA	49
5.1. Levantamentos Geológicos Básicos	50
5.2. Pesquisa de Laboratório	51
5.2.1. Execução do Ensaio Geomecânico	55
6. ANÁLISES E INTERPRETAÇÕES	58
6.1. Geologia	58
6.2. Lavra	66
6.3. Impactos Ambientais	68
7. CONCLUSÕES	71
8. ABSTRACT	74
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
10. ANEXOS	78
Anexo A – Legislação Ambiental	78

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Mapa de Localização da Região de Junco do Seridó e Várzea, Paraíba	4
Figura 2 – Quadro Estratigráfico Geral do Pré-cambriano na Paraíba	16
Figura 3 – Microrregiões Homogêneas do Estado da Paraíba	27
Figura 4 – Mapa Geológico da Paraíba	29
Figura 5 – Províncias Estruturais do Brasil	30
Figura 6 – Modelo Estratigráfico para Região Pesquisada	34
Figura 7 – Extração Manual de Quartzitos	38
Figura 8 – Formação de Pilhas de Rejeitos na Cava	38
Figura 9 – Vegetação da Região do Seridó	46
Figura 10 – Equipamento Utilizado para o Corte dos Corpos-de-Prova	53
Figura 11 - Aparelhagem Utilizada para os Ensaios Tecnológicos de Tensão	54
Figura 12 – Corpo-de-Prova Preparado para Ensaio Geomecânico	55
Figura 13 – Diagrama da Norma Adotada nos Ensaios	57
Figura 14 – Granulação Fina nos Quartzitos de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba	59
Figura 15 – Disposição Subverticalizada dos Depósitos de Quartzito de Várzea	62
Figura 16 – Disposição Subhorizontal dos Depósitos de Quartzito de Junco do Seridó	62
Figura 17 – Diagrama de Frequência de Azimutes das Fraturas nos Quartzitos	65
Figura 18 – Exploração das Placas de Quartzitos	67
Figura 19 – Matriz Representativa dos Impactos Ambientais nas Áreas Estudadas	69
Figura 20 – Degradação Ambiental nas Pedreiras de Quartzitos	70

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Azimute e Espaçamentos entre as Fraturas nas Áreas de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba	60
Tabela 2 – Requisitos Físicos das Rochas	63
Tabela 3 – Ensaios com as Amostras de Quartzito da Pedreira Magno (Várzea, PB)	64
Tabela 4 – Ensaios com as Amostras de Quartzito da Pedreira Ipueira (Junco do seridó, PB)	64

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CDRM	Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba
CINEP	Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LP	Licença Prévia
PAE	Plano de Aproveitamento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Sobre o Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_f$	Tensão de Ruptura
cm	Centímetro
E	Leste
Hab/km <sup>2</sup>	Habitantes por Quilômetro Quadrado
Kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por Metro Cúbico
Kgf	Quilograma Força
Km	Quilômetro
Km <sup>2</sup>	Quilômetro Quadrado
KN	Quilonewton
Lb/ft <sup>3</sup>	Libra por Pé Cúbico
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro Quadrado
mm	Milímetro
Mpa	Megapascal
N	Newton
N	Norte
N/min	Newton por Minuto
NE	Nordeste
NW	Noroeste
°C	Graus Celsius
pH	Potencial de Hidrogênio
S	Sul
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
W	Oeste

## RESUMO

Os quartzitos dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte pertencem à Formação Equador datada de idade Proterozóica Superior. Os quartzitos são bastante explorados e utilizados em diversos setores da construção civil. Em Várzea e Junco do Seridó, Paraíba, estão as grandes áreas mineralizadas de quartzitos, onde a exploração é mais intensa. Os objetivos deste trabalho de pesquisa são: realizar estudos sobre a exploração de quartzitos levando em consideração as características geológicas, os métodos de lavra adotados e os impactos ambientais provocados por essa atividade sugerindo medidas que possibilitem o aproveitamento racional dessas rochas. Ainda, neste trabalho pretende-se fazer uma caracterização geológica e tecnológica dos quartzitos. No trabalho de campo, foram definidas as estruturas, espessura, atitudes das fraturas, métodos de lavra e o modelo de ocorrência das jazidas. Os quartzitos têm características texturais e estruturais bastante variadas. Na região de Várzea os quartzitos têm as foliações verticais com 2-3cm de largura e as rochas são altamente fraturadas. Na região de Junco do Seridó os quartzitos apresentam-se com foliações horizontais de 2-3cm de espessura e as fraturas tendem a ser menores. A lavra também é manual e o seu ritmo varia de pedreira para pedreira. Os rejeitos são colocados ao redor das escavações resultando em estrangulamento da mina e retardando a extração. A disposição dos quartzitos com as foliações quase verticais em Várzea e horizontais no Junco do Seridó dificultam o alargamento das minas e abertura de novas bancadas. O ensaio tecnológico dos quartzitos foi feito para determinar resistência à flexão conforme os padrões estabelecidos pela norma vigente. Os ensaios demonstraram que os quartzitos da região são de boa qualidade sendo bastante resistentes à ruptura, já que os valores médios dos módulos de ruptura observados foram acima dos valores mínimos recomendados. O método de extração varia entre áreas estudadas conforme a disposição da foliação nos quartzitos. A lavra de quartzitos apresenta baixa recuperação e acarreta grande desperdício de rocha, devido a presença de foliações marcantes, planos de fraturas freqüentes e deformação intensa. O impacto ambiental sobre o solo e água da região não é muito significativo, entretanto, as atividades mineiras resultam em danos à paisagem e às feições geomorfológicas da região.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

As pequenas e médias minerações têm uma participação significativa dentro do setor mineral brasileiro. Elas são responsáveis pelo abastecimento dos minerais indispensáveis a vários segmentos industriais e são a base para a indústria de construção e de infra-estrutura básica, como saneamento, portos, estradas, etc.

Os impactos ambientais provocados pela atividade econômica mineral podem ser atenuados ou não, dependendo da metodologia de lavra adotada e do nível de gestão operacional da empresa.

No caso específico da exploração de quartzitos, a impressão inicial é que as técnicas de lavra empregadas são primitivas, causando efeitos maléficos ao meio ambiente que podem até comprometer a viabilidade técnico-econômica das jazidas.

O aumento expressivo da produção, provavelmente, colaborou para que as operações de extração ficassem sob a responsabilidade de pequenas mineradoras, administradas com estrutura familiar, ou de garimpos com deficiências tecnológicas, devido a ausência de

profissionais qualificados e dotados de conhecimentos técnicos necessários para gerenciar esses empreendimentos.

## 1.2. Justificativa e Relevância

Os quartzitos são rochas formadas a partir do metamorfismo regional ou de contato dos arenitos quartzosos, podendo confundir-se com eles. Diferenciam-se destes pela presença de foliações, por apresentarem dureza elevada e fratura mais áspera. A variedade característica de cor e aspecto é função do grau de pureza da rocha original (arenito). Podem receber a denominação de pedra-mineira, quando se destacam facilmente em placas de espessura centimétricas, ou de itacolomitos, se essas placas forem flexíveis.

Os quartzitos existentes nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte ocorrem em formações Pré-Cambrianas do Grupo Seridó, especificamente na Formação Equador. Geralmente são encontrados sob a forma de placas, com coloração variada, apresentando textura granoblástica, e foliação bem desenvolvida.

As principais ocorrências de quartzitos da região estão nos municípios de Junco do Seridó e Várzea, na Paraíba (Figura 1), e em Parelhas e Ouro Branco, no Rio Grande do Norte. Nessas regiões, os quartzitos são explorados de forma rudimentar, visando a extração de placas para aplicação em revestimentos de paredes, calçadas e em pisos de casas.

A partir da década de 40 a demanda por essa rocha cresceu devido a sua utilização em revestimento de paredes externas de casas. Com a aquisição de máquinas com serras diamantadas, pelas pequenas indústrias instaladas nos principais municípios produtores, houve um acréscimo do processo produtivo, aumentando a exploração das jazidas de quartzitos para atender novos mercados como Campina Grande, João Pessoa, Natal e Recife.

Observa-se que a produção tem crescido anualmente, conquistando cada vez mais novos mercados como aconteceu recentemente com Fortaleza, Salvador, Rio de Janeiro e São Paulo, existindo inclusive a possibilidade de abertura para o mercado exterior.

Entretanto, todo este crescimento não foi precedido por um estudo detalhado de viabilidade técnico-econômico dos depósitos minerais existentes na região do Seridó.

Nas jazidas de quartzitos situadas nos municípios de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba, observa-se que a lavra é feita de forma predatória, sem os levantamentos topográficos e geológicos dessas jazidas, causando uma série de impactos ambientais e desperdícios que inviabilizam o desenvolvimento sustentável dessa região.

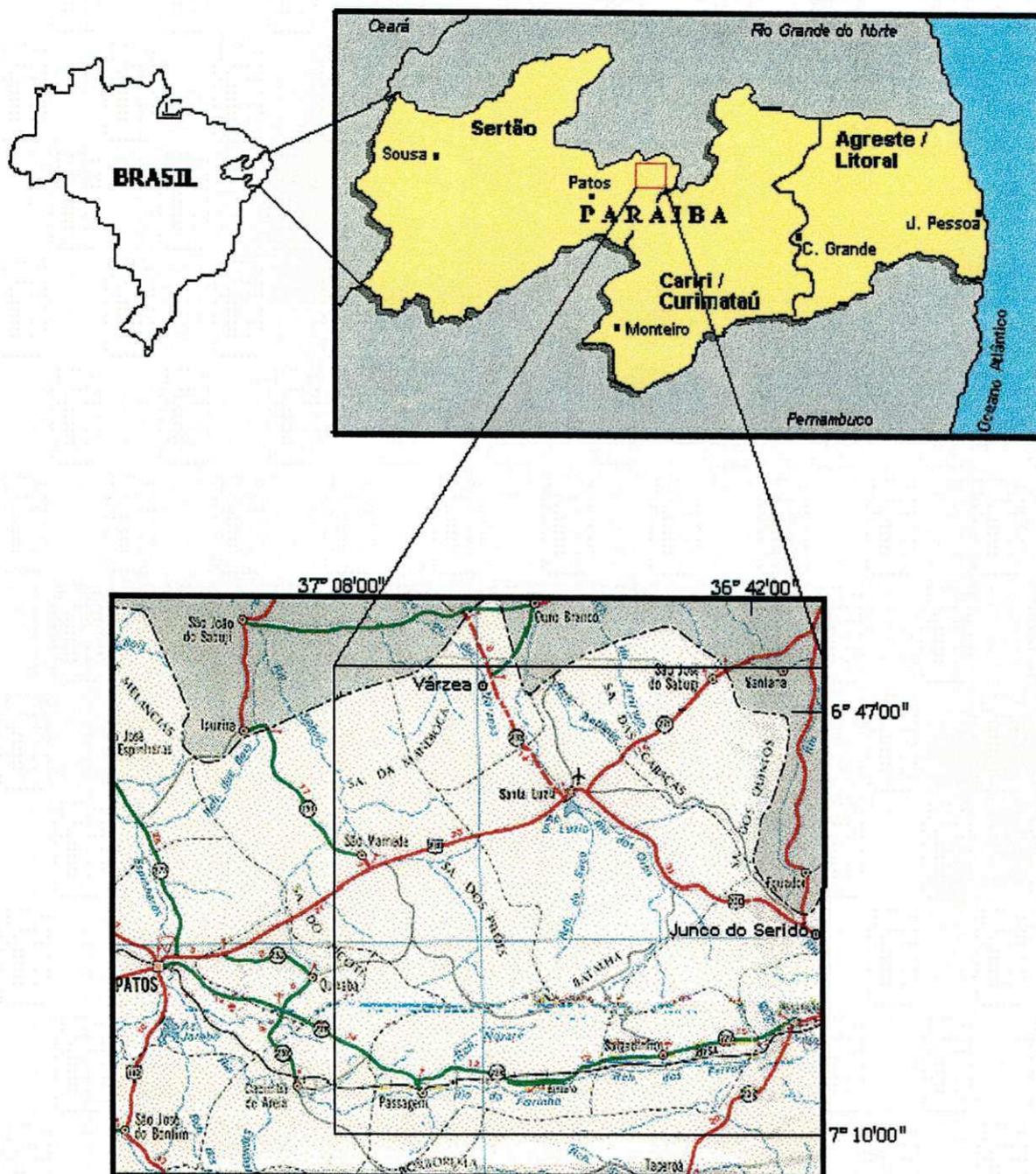


Figura 1 - Mapa de Localização da Região de Junco do Seridó e Várzea, Paraíba.

### 1.3 Objetivos

Os objetivos gerais deste trabalho são:

- Caracterizar a vocação mínero-industrial da Paraíba, com ênfase no aproveitamento econômico dos quartzitos, evidenciando os aspectos históricos e as implicações sociais dessa forma de exploração;
- Estudos sobre a exploração de quartzitos nas jazidas situadas nos municípios de Junco do Seridó e Várzea, Paraíba, levando em consideração as características geológicas, os métodos de lavra adotados, parâmetros geomecânicos e os impactos ambientais provocados por essa atividade, sugerindo-se medidas que possibilitem o aproveitamento racional desses depósitos.

Os principais objetivos específicos são:

- Estudar o comportamento geológico estrutural nas frentes de lavra de quartzito de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba;
- Caracterizar as operações de lavra nas áreas de estudo;
- Realizar ensaios geomecânicos com as amostras coletadas no campo para determinar o comportamento da rocha nas áreas pesquisadas;
- Identificar os impactos ambientais provocados pela exploração de quartzito na região circunvizinha a Várzea e Junco do Seridó;
- Sugerir medidas que permitam o aproveitamento racional dessas jazidas de quartzitos.

#### 1.4. Aspectos da Mineração no Brasil

O Brasil é o maior país da América Latina, com uma área de 8,5 milhões de km<sup>2</sup> e aproximadamente 160 milhões de habitantes. O atual contingente de trabalhadores é superior 60 milhões de pessoas, segundo os dados do IBGE (1992).

A economia brasileira está entre as dez maiores economias do mundo, com um Produto Interno Bruto-PIB de aproximadamente US\$ 500 bilhões. O parque industrial brasileiro é o maior da América Latina. Desde o início desta década, o Brasil vive um processo acelerado de modernização, com retirada gradativa do Estado do setor produtivo e a desregulamentação da atividade econômica.

A atividade de mineração é um dos principais agentes catalizadores de desenvolvimento e interiorização para uma nação de grande superfície territorial como o Brasil, a medida que atua como fator condicionante na implantação de indústrias de beneficiamento e transformação mineral. Ela é de grande importância para economia brasileira, principalmente quando se leva em consideração o suporte aos demais setores produtivos e as perspectivas de ampliação da sua participação na geração de divisas.

A atividade de extração é responsável por 3% do PIB brasileiro. Entretanto esse número não reflete a real importância desse setor na nossa economia, uma vez que ao se considerar as etapas de transformação do bem mineral esse valor sobe para aproximadamente 26%. O setor mineral funciona como matriz para os setores de siderurgia, metalurgia, indústria cerâmica, cimenteira, química, petroquímica e de fertilizantes, entre outros segmentos que poderiam ser citados.

O efeito multiplicador torna-se ainda maior quando consideram-se as etapas subsequentes de produção, onde podem-se destacar vários setores que têm a mineração como uma de suas fontes de matérias-primas, como a indústria automobilística, eletro-eletrônica e de construção civil. Assim, a atividade mineral sobe dos ínfimos 3% para algo acima de 40% de participação na economia do Brasil, MARQUES (1993).

Além de destacar-se como suporte de grande parte do parque industrial brasileiro, o segmento mineral representa um papel fundamental na geração de reservas monetárias. Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 1997, as exportações de bens minerais atingiram

as cifras de aproximadamente US\$ 4 bilhões. A proporção que as exportações das substâncias minerais estão crescendo a passos largos, as importações vêm decrescendo gradativamente nos últimos anos, em função da grande diversidade de produtos encontrados no subsolo brasileiro.

Observa-se que a soma das vendas ao exterior dos bens minerais propriamente ditos, ferroligas, produtos siderúrgicos e os demais setores de transformação geram uma receita superior a US\$ 11 bilhões.

Esses resultados demonstram a competitividade da indústria mineral brasileira e a sua importância dentro do contexto econômico do País, enaltecendo a posição que o Brasil ocupa no cenário mundial. Essa posição é consequência das enormes reservas minerais existentes e do grau de maturidade atingido pelos empresários do setor, em especial das grandes empresas de mineração.

O Brasil é reconhecidamente um dos maiores celeiros minerais do mundo contemporâneo, produzindo 107 substâncias minerais, entre as quais destaca-se a produção de minerais como nióbio, ferro, manganês, alumínio (bauxita), estanho (cassiterita), amianto, magnesita, ouro, níquel, cromo, grafita, ilmenita, cobre, fosfato, potássio, talco, fluorita, caulim, gemas, diamante, e outras substâncias minerais utilizados na construção civil como areia, calcário, brita, etc. Vale ressaltar, o notável crescimento de rochas para ornamentação e revestimento, destacando-se os granitos, ardósias, quartzitos, mármore e pedra-sabão.

Com relação a arrecadação de impostos, os números do setor mineral são também bastante representativos, embora não seja possível uma quantificação exata dos valores recolhidos pelo setor como um todo. Só para exemplificar o que significa essa geração de recursos para o País, a área de minério de ferro recolhia no início da década de 90, entre impostos federais, estaduais e municipais, cerca de US\$ 400 milhões por ano.

Outros dados reforçam ainda mais a posição relevante da mineração na economia brasileira, notadamente na geração de empregos onde o setor de extração mineral emprega hoje de forma direta aproximadamente 100.000 profissionais.

A extração mineral brasileira continua exercendo um importante papel no desenvolvimento de um grande número de micro-regiões e centros urbanos brasileiros. A ocupação territorial do País foi marcada pela atividade mineral, a começar pelas entradas e

bandeiras, que desbravavam as matas brasileiras em busca de ouro e pedras-preciosas, proporcionando a fundação e povoamento de várias cidades brasileiras, nos estados de Minas Gerais e Goiás.

Nos últimos anos, estados da região Norte, como Rondônia e Pará, e da região Centro-Oeste, como Mato Grosso e Mato Grosso Sul, foram influenciados em seu desenvolvimento pela mineração de cassiterita, ferro, manganês, bauxita e diamante.

Aparentemente o Nordeste tem sido pouco influenciado pela atividade mineral, entretanto o estado da Bahia tem várias cidades onde a mineração trouxe grandes contribuições para o desenvolvimento sócio-econômico. Um exemplo é Jaguarari, em plena zona seca, onde as instalações da Mineração Caraíba foram determinantes para o crescimento da região.

Atualmente o País conta com aproximadamente 900 escolas de ensino universitário, com dezoito delas oferecendo cursos de Geologia e sete de Engenharia de Minas, em níveis de graduação e pós-graduação.

### 1.5 Vocação Mineiro-Industrial do Estado da Paraíba

A Paraíba é um estado de excelentes recursos econômicos, apesar de não contar ainda com um parque industrial à altura das necessidades da sociedade contemporânea. Os recursos naturais ocupam um lugar de destaque no conjunto de informações de interesse para os grandes investidores.

A história da mineração na Paraíba inicia-se no tempo do Brasil Colonial, com a descoberta do ouro em Princesa Isabel e Aguiar em 1766. No final do Século XIX, ocorreu uma primeira tentativa de industrialização do calcário sedimentar da faixa costeira do Estado para a fabricação de cimento na Ilha de Tiriri, em Santa Rita. Justamente a partir desta época aparecem os primeiros trabalhos científicos referentes aos recursos minerais da Paraíba, através de J. Destord, que em 1899 elaborou o “Relatório sobre as Minas de Picuf”.

Em 1910, Crandall publicou um estudo denominado “Mapa geológico dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba”, fazendo referências a geologia e a topografia da região.

A década de 30 ficou marcada pela implantação de uma fábrica de cimento em João Pessoa, utilizando como matéria-prima básica o calcário sedimentar, constituindo-se em uma das primeiras unidades cimenteiras do País. Em 1934, é dada a largada para a política de desenvolvimento dos recursos minerais do País, com a criação de um órgão federal responsável pelo fomento e fiscalização do setor mineral que recebeu a denominação de Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM.

No início da II Guerra Mundial, a Paraíba toma seu primeiro impulso na exploração dos seus bens minerais, despertando sua vocação mineira pela importância das ocorrências observadas de pegmatitos ricos em cassiterita, tantalita-columbita, berilo e da sheelita nos tactitos mineralizados. O grande objetivo era atender a indústria bélica, durante o período da guerra, com esses minerais estratégicos.

Esse fato influenciou o desenvolvimento sócio-econômico das regiões do Seridó e Curimataú paraibano, e contribuiu para que o Governo Federal, através do DNPM, implantasse em Campina Grande um laboratório de controle de qualidade e análise mineral a fim de atender a intensa exploração mineral, observada nos anos de 1940 a 1950.

No fim da década de 50, foi criada a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE que deu um novo alento à pesquisa e ao desenvolvimento da mineração no Brasil, em especial na região Nordeste.

O início da década de 60 é marcado pelas atividades dos primeiros profissionais formados em Geologia no País. O Governo Federal, através do Plano Mestre Decenal para Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil, investe significativamente em projetos básicos e estabelece mecanismos de estímulo à atividade de pesquisa mineral. Esse Plano foi consolidado com a criação, em 1969, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, que tinha como finalidade a ampliação do conhecimento geológico, dos recursos minerais e hídricos do País.

O desenvolvimento da mineração na Paraíba teve como fator preponderante a constituição, em 1975, da Divisão de Recursos Minerais na Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba-CINEP, empresa de economia mista vinculada à Secretaria da

Indústria e do Comércio, com objetivo de por em prática a política mineral do Estado. Essa iniciativa deu suporte para atrair novas empresas do setor mineral, tornando-se o embrião da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba-CDRM, criada em 1979. A CDRM é uma empresa governamental de economia mista que desde a sua criação, assumiu a função de formular e conduzir a política mineral da Paraíba.

Com a implantação do Curso de Graduação em Engenharia de Minas no CCT/UFPB de Campina Grande, em 1977, foi dado um outro importante avanço para consolidação da mineração na Paraíba.

O estado da Paraíba possui uma área de 56.372 Km<sup>2</sup>, e seu subsolo é constituído em sua maior parte por rochas ígneas e metamórficas portadoras de uma grande variedade de minerais de interesse econômico. Seu solo apresenta pequenas ocorrências de rochas sedimentares, principalmente no litoral, de notável importância econômica contendo jazimentos valiosos de calcário, ilmenita, zircão, areias, argilas, água subterrânea, entre outros.

Entretanto, considerando-se as substâncias minerais cuja as reservas são divulgadas no Anuário Mineral Brasileiro do DNPM, o panorama da Paraíba é bastante desanimador, visto que poucos bens minerais produzidos no Estado aparecem com suas reservas reconhecidas oficialmente. No entanto, segundo dados da CDRM, a Paraíba produz aproximadamente 24 bens minerais com destaque para a bentonita, calcário, ilmenita, zirconita, argila, água mineral, caulim, areia, brita, granito, quartzito, feldspato, vermiculita, tantalita, ouro, gemas, entre outros.

Embora a Paraíba seja detentora dessas riquezas minerais, com potencial para gerar mais divisas e oferecer mais empregos, o setor ocupa atualmente o insignificante oitavo lugar na economia estadual. O Estado perde anualmente uma fortuna com a sonegação fiscal e a exploração irracional de seus recursos minerais. Além do mais, a indústria mineral paraibana reclama da falta de linhas especiais de créditos para a aquisição de equipamentos modernos que a tornaria mais competitiva em relação aos outros Estados.

Em resumo, a atual conjuntura do setor mineral no Estado caracteriza-se por uma base diversificada, envolvendo atividades ligadas à extração, beneficiamento e à transformação das substâncias minerais exploradas no subsolo paraibano. Observa-se que determinadas

empresas operam verticalizadas, abrangendo operações de lavra e beneficiamento, lavra e transformação.

Espera-se que o Estado assuma na íntegra o papel de gestor da política mineral, apoiando esse importante segmento de nossa economia, gerando e fornecendo informações sobre os ambientes geológicos, criando também um ambiente favorável aos investimentos da iniciativa privada através da melhoria da infra-estrutura, e de uma reforma tributária racional.

#### 1.6. A Questão Ambiental e a Mineração

A exploração dos recursos minerais é indispensável para o conforto e melhoria da qualidade de vida da humanidade. A sociedade moderna utiliza os bens minerais para aquecimento, habitação, transporte, alimentação, lazer e muitas outras atividades.

Apesar de sua importância, a atividade mineral é um dos segmentos que mais tem recebido críticas com relação a preservação ambiental. A atividade é ainda uma das grandes causadoras de impactos ambientais, ficando atrás apenas do modelo agrícola desorganizado, falta de saneamento básico, poluição industrial e crescimento urbano desordenado.

Na maioria dos países não havia comprometimento por parte de algumas empresas em relação a essa questão. Até alguns anos atrás, não só a mineração mais vários segmentos industriais não davam a devida atenção ao meio ambiente.

A partir da Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, em 1972, a preocupação com as questões ambientais tomaram outro rumo e passaram a fazer parte das políticas de desenvolvimento adotadas principalmente nos países mais avançados.

As mineradoras passaram incorporar a preocupação ambiental, devido ao crescimento da consciência preservacionista, da crescente cobrança por parte da sociedade e das exigências da legislação vigente.

Segundo SÁNCHEZ (1992), outro grande motivo de acréscimo dessa preocupação foi que as empresas passaram a ver na preservação ambiental uma forma de melhorar sua

imagem perante a sociedade, ao mesmo tempo em que reduzem custos e aumentam os níveis de produtividade. Isso só foi possível a partir do momento em que as mineradoras abandonaram a visão de que tudo relacionado ao meio ambiente representa custos adicionais. Hoje, um empreendimento só é considerado viável se ele suportar os custos ambientais.

O processo de desenvolvimento no mundo atual, marcado pela escassez dos recursos ambientais, não pode ocorrer às custas da degradação do meio ambiente e da qualidade de vida. A atividade de mineração tem procurado se adaptar aos tempos modernos, evitando assim, que seus produtos sejam repudiados pelos consumidores pelo simples fato de devastação do meio ambiente.

Algumas mineradoras têm adotado uma postura preservacionista, mediante o compromisso firme da empresa e de seus trabalhadores no dia-a-dia, de executarem suas atividades respeitando o meio ambiente com competência, utilizando as tecnologias adequadas.

No Brasil, existem atualmente muitas empresas que podem ser consideradas como exemplos de harmonia entre atividade mineral e preservação ambiental, principalmente as grandes mineradoras.

A utilização dos bens minerais de forma racional está diretamente ligada ao conhecimento do potencial existente no subsolo, onde é necessário um amplo trabalho de pesquisa mineral, associado a caracterização tecnológica adequada para aproveitamento desses recursos.

Outro desafio a ser enfrentado pela mineração no trato da questão ambiental é a realização de um trabalho minucioso de planejamento antes do início das operações e lavra, onde são realizados estudos prévios de impacto ambiental, identificando os impactos positivos e negativos do empreendimento, assim como sugerindo as medidas de mitigação e controle desses impactos, de acordo com as recomendações da legislação vigente.

Os impactos ambientais causados pelos empreendimentos minerais podem afetar o solo pela deposição de resíduos, remoção da cobertura vegetal, ação da erosão, e pelo impacto visual; comprometer a qualidade da água pela alteração do pH, elevação da turbidez e o teor de metais, diminuição do teor de oxigênio, entre outros; e no ar pode aumentar a concentração de partículas e gases na atmosfera, emissão de ruídos e transmissão de

vibrações decorrentes do desmonte das rochas, do beneficiamento e do manuseio dos minérios, etc.

As empresas de mineração devem estar cientes que não basta proteger apenas o ambiente restrito da jazida, devendo levar em consideração os reflexos que essa atividade pode ocasionar sobre a cultura, a organização social e o bem estar das comunidades locais.

As grandes mineradoras que têm compromisso com preservação ambiental apresentam projetos sofisticados de proteção aos ecossistemas tais como: reflorestamento para proteção e recuperação de áreas degradadas, proteção de mananciais, defesa da fauna silvestre, monitoramento dos efluentes das barragens de rejeitos, controle das detonações para desmonte das rochas, preservação de unidades de conservação, e a implantação de ações de saneamento básico.

Além disso, são executadas várias atividades com objetivo de desenvolver mudas, piscicultura, apicultura, educação e lazer ambiental.

De uma certa forma essas empresas destinam anualmente quantias consideráveis para esses projetos de conservação ambiental, dependendo dos efeitos ambientais pode atingir até US\$ 10 milhões.

Uma parte considerável dos recursos minerais brasileiros está situada em áreas menos desenvolvidas do País, onde as necessidades básicas da população não foram atendidas. É justamente neste território que encontram-se os garimpos e as pequenas empresas de mineração, responsáveis por uma grande parte da degradação ambiental das regiões brasileiras.

Como exemplo podem-se citar os pequenos produtores de minerais utilizados na construção civil (areia, brita, quartzitos), que exploram esses recursos minerais de forma aleatória e sem qualquer planejamento prévio, causando uma série de desperdícios e danos ao meio ambiente.

Torna-se imperativo a execução de ações por parte dos órgãos competentes de modo a reverter esse quadro negativo no setor mineral, e contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população nessas áreas afetadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Geologia

A pesquisa bibliográfica enfoca a geologia, a lavra e a forma de aproveitamento dos quartzitos, com observância aos impactos ambientais provocados por essas operações, nas áreas estudadas nos municípios de Várzea e Junco do Seridó, na Paraíba.

Os levantamentos feitos demonstram que existem na literatura brasileira informações limitadas sobre o aproveitamento técnico-econômico dos depósitos de quartzitos para serem utilizados como pedras ornamentais e de revestimento.

Na bibliografia disponível, as citações restringem-se às considerações sobre a geologia regional, lito-estratigrafia, gênese e lavra dos quartzitos de Várzea e Junco do Seridó, da Paraíba, envolvendo o Pré-Cambriano Nordeste, mais precisamente a Formação Equador do Grupo Seridó.

A região, onde estão localizadas as áreas de estudo neste trabalho, tem uma presença significativa na literatura geológica brasileira. Inicialmente, foi descrita por CRANDALL (1910) que publicou o Mapa Geológico dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, fazendo comentários sobre a geologia e a topografia dessa região. Posteriormente,

MORAES (1924) ampliou as informações geológicas existentes sobre essa região com algumas proposições.

A década de 60 ficou marcada com os debates sobre sua estratigrafia, destacando-se os estudos de FERREIRA & ALBUQUERQUE (1969) e EBERTH (1970). Outros trabalhos, como o de JARDIM DE SÁ (1978), evidenciaram a sua evolução tectônica.

O primeiro pesquisador a estabelecer uma definição estratigráfica para as rochas da região foi CRANDALL (1910), baseados em critérios litológicos, subdividiu-as em duas grandes unidades: Complexo Fundamental (gnaisses e xistos cristalinos) e Série Ceará (antigos xistos argilosos, quartzitos e calcários).

MORAES op. cit. (1924) limitou a área de ocorrência da Série Ceará a faixas isoladas, longas e estreitas, com orientação NE-SW, originárias de bacias preservadas da erosão, encaixadas em rochas mais antigas e separadas destas por discordâncias.

Em resumo, após análise das proposições de diversos autores, foi estabelecido um quadro estratigráfico geral do Pré-Cambriano no Estado da Paraíba (Figura 2), baseado nos esquemas definidos por BARBOSA et al (1970) e MEDEIROS LIMA et al (1980), que tentaram simplificar os modelos propostos por FERREIRA & ALBUQUERQUE (op. cit) e EBERTH (op. cit.).

Nesse quadro observavam-se duas unidades: a unidade inferior, considerada do Pré-Cambriano Indiviso, e a unidade superior, do Pré-Cambriano Superior.

O Pré-Cambriano Indiviso é representado pelos complexos Migmatítico-Granitóide e Gnáissico-Migmatítico, além de rochas granitóides (granitos, granodioritos, tonalitos, monzonitos) e gabróides (gabros e dioritos).

O Pré-Cambriano Superior é constituído pelo Grupo Seridó e unidades correlatas (micaxisto, gnaisses e xistos indiferenciados), Grupo Cachoeirinha, Rochas Plutônicas Granulares (granitóides e gabróides) e Rochas Filonianas (diques de pegmatitos, sienitos e riolitos).

De acordo com MEDEIROS LIMA et al (op.cit.), o Grupo Seridó é representado por uma sucessão rochosa lito-estratigraficamente empilhada, envolvendo um conjunto de rochas metassedimentares e um cortejo de rochas plutônicas granulares (granitóides, gabróides e dioritóides) e filonianas (diques ácidos e básicos).

P R É C A M B R I A N O	S U P E R G R U P O	Rochas filonianas		sienitos, dacitos, pegmatitos, etc.	
		Rochas plutônicas granulares:		Granitóides (granitos, granodioritos, tonalitos, monzonitos, sienitos); Gabróides (ultrabásicas serpentinizadas); dioritóides (quartzo-dioritos)	
		Grupo Cachoeirinha		filitos, xistos de baixo grau metamórfico, metassiltitos, calcários cristalinos e quartzitos	
	R E G I O D O	G S R E U R P I O D O	Formação Seridó	biotita xistos granadíferos	Micaxisto tipo Caralina; gnaisses e xistos indiferenciados
			Formação Jucurutu	Gnaisses diversos, calcários cristalinos. calcissilicáticas com scheelita	
			Formação Equador	quartzito muscovítico, quartzito feldspático, magnetita silimanita quartzito e metaconglomerado	
	I N D I V I S O	G C R A U I P C O Ó	Complexo gnáissico Migmatítico	gnaisse, gnaisses migmatizados, migmatitos, rochas graníticas e afins Gabros; intercalações de calcário cristalino, anfibólio e leptinitos	
			Complexo Migmatítico-Granitóide	Migmatitos oftalmíticos e flebíticos com núcleos graníticos indiferenciados	

Fonte: Adaptada de Dantas e Caúla (1982).

Figura 2 – Modelo Estratigráfico Geral do Pré-cambriano na Paraíba.

Entretanto, apesar das justificativas apresentadas pelos autores acima, o Mapa Geológico da Paraíba, editado pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba-CDRM, em 1982, não considera essas rochas plutônicas como integrantes de Grupo Seridó, mas situadas acima do mesmo, devido a sua natureza ígnea e seu comportamento intrusivo e discordante nos metassedimentos.

O conjunto de rochas metassedimentares é constituído da base para o topo, por uma sequência clástica psamítica-psefítica basal (Formação Equador), uma sequência pelítica-química (carbonática) mediana (Formação Jucurutú) e uma sequência clástica-pelítica superior (Formação Seridó).

As rochas quartzíticas representam a unidade basal da sequência supracrustal da região do Seridó, apresentando no topo um metaconglomerado, que de acordo com MEDEIROS LIMA et al (op. cit.) trata-se do maior registro litológico de discordância erosiva na região do Seridó e representam os primeiros indícios de desequilíbrio tectônico.

Na Paraíba predominam os quartzitos muscovíticos de coloração esbranquiçada até creme e cinza, apresentando textura granoblástica, granulação fina a média e foliação bem desenvolvida, sendo encontrados também quartzitos feldspáticos e magnetita-silimanita quartzito.

Os quartzitos na Paraíba, compreendem uma faixa que vai de Itajubatiba, próximo a Patos, até o Junco do Seridó, passando por Várzea. Na região de Patos constituem corpos lenticulares descontínuos e alongados no sentido E-W, enquanto que a leste de Quixaba se encontram bastante dobrados caracterizando um grande *drag* influenciado pelo Lineamento Patos.

Na região compreendida entre Passagem, Salgadinho e Junco do Seridó, uma das áreas objeto deste estudo, os quartzitos encontram-se, em sua maioria, encaixados na Formação Seridó, constituindo uma grande faixa anticlinorial a princípio com direção E-W desde o norte de Passagem até Salgadinho, passando a partir daí, a assumir a direção NE-SW, demonstrando um grande virgamento ou inflexão dos lineamentos estruturais, caracterizando um grande dobramento regional influenciado pelo Lineamento Patos.

Na faixa a oeste de Frei Martinho, nos limites com o Rio Grande do Norte, os quartzitos estão encaixados em núcleos anticlinoriais, provavelmente verticalizados, e exibem um

relevo bem acidentado, em constraste com o relevo regional, constituindo a Serra do Chapéu.

O Estado da Paraíba, segundo o conceito de Províncias Estruturais Brasileiras estabelecido por ALMEIDA et al (1977), acha-se compartimentado geotectonicamente em duas províncias distintas: Província Borborema e Província Costeira, cada uma delas caracterizando grandes regiões com feições de evoluções stratigráficas, tectônicas, metamórficas e magmáticas diferentes daquelas apresentadas pelas províncias confinantes, havendo entre elas, no entanto muitas relações de dependências em sua evolução estrutural.

A Província Borborema tem uma superfície aproximada de 380.000 Km<sup>2</sup>, compreendendo grandes porções dos estados nordestinos, notadamente de Sergipe ao Ceará, esta província, segundo ALMEIDA et al (op. cit.) coincide com a Região de Dobramentos Nordeste desenvolvida no decorrer do Ciclo Brasileiro, sendo confinada pelas províncias Costeiras (leste e norte), Paraíba (oeste) e São Francisco (sul).

Integrando-se os conceitos de ALMEIDA et al (op. cit.) e BRITO NEVES (1973) e aplicando-os ao Estado da Paraíba, verifica-se que a Província Borborema é caracterizada pelas seguintes unidades geotectônicas: sistemas de dobramentos Seridó, Pajeú-Paraíba, Piancó-Alto Brígida (sub-faixa Curimataú); zonas geoanteclineais de Teixeira e Nova Floresta e maciços medianos do Rio Piranhas e Pernambuco-Alagoas.

O sistema de dobramento do Seridó ocupa toda a região central do Rio Grande do Norte e parte da porção setentrional da Paraíba, compreendendo a bacia hidrográfica e regiões fisiográficas homônimas, cobrindo uma área aproximadamente retangular, com cerca de 16.000 Km<sup>2</sup>.

É limitado a oeste pelo Maciço Rio Piranhas, e a leste pela Zona Geotectônica de Nova Floresta, ambos limites mostrando evidências, de envolvimento na sua evolução. Ao norte é recoberto pelos sedimentos meso-cenozóicos da Bacia Potiguar e ao sul os seus metassedimentos se encontram fortemente deslocados pelo sistema de falhas do Lineamento Patos, justapondo-se, segundo este lineamento, com as unidades litológicas do sistema Piancó-Alto Brígida.

A inserção das duas mais importantes províncias minerais do Nordeste dentro da área abrangida por este sistema, as províncias Scheelitífera e Pegmatítica da Borborema, serviram de alvo para a efetivação dos inúmeros estudos econômicos e/ou científicos,

propiciando um enorme desenvolvimento dos conhecimentos geológicos, e tornando-a uma região clássica para os estudos do pré-cambriano nordestino.

Segundo BRITO NEVES (op. cit.), a individualização desse sistema como unidade geotectônica foi esboçada a princípio por SUSZCZYNSKI (1966), quando o considerou como uma depressão lateral ou intrageossinclíneo. SIQUEIRA & MARANHÃO (1971), reconheceram e propuseram uma organização, denominando-a de Geossinclinal do Seridó, nomeando seus elementos geotectônicos de acordo com o modelo estabelecido por AUBOUIN (1965).

Para BRITO NEVES (po. cit.), o sistema apresenta um quadro estrutural simples, com dobramentos paralelos longilíneos segundo a direção NE e cujos planos axiais se inclinam vertical ou subverticalmente para o leste, evidenciando uma compressão regional moderada, sendo mais forte no sentido oeste.

Na sua porção sul, as linhas estruturais sofrem uma brusca inflexão para oeste, devido a fase de movimentação dextrógira do Lineamento Patos. Os falhamentos presentes no sistema, se desenvolvem paralelos à direção do dobramento, alguns deles inversos e com plano de falha inclinado para leste, destacando-se aquele situado a leste de Picuí, que serve de limite entre o sistema Seridó e o geoanticlínico de Nova Floresta.

As manifestações magmáticas são evidenciadas pela existência de corpos graníticos e granodioríticos sintectônicos tipo Itaporanga e tipo Conceição, respectivamente, pelos granitos róseos finos, tarditectônicos tipo Itapetim e pelos pequenos corpos e filões de rochas básicas e ultrabásicas sintectônicas que ocorrem próximo aos limites com a zona geotectônica de Nova Floresta. Representando uma fase postectônica, ocorrem os inúmeros corpos pegmatíticos economicamente importantes, por encerrarem mineralizações de berilo, estanho, tântalo, nióbio, etc.

MEDEIROS LIMA et. al.(op. cit.) adotam um modelo tectônico, no qual é admitida a existência de uma bacia pré-cambriana relativamente rasa, situada sobre um embasamento mais antigo já dobrado, cuja longitude seja um tanto maior que a largura. Admitem, no entanto, alguma semelhança desta bacia com uma pequena geossinclinal, haja vista que teve uma grande história de sedimentação e várias fases de deformação sem a magnitude característica de um geossinclinal.

Segundo aqueles autores, a bacia em questão, de ambiente marinho com alguma contribuição continental, sofreu interrupções durante a sua evolução, devido a instabilidades crustais, acompanhadas de intensa tectogênese. Os blocos afundados por falhamentos propiciaram o aparecimento de maiores depressões permitindo uma maior acumulação de sedimentos, enquanto que outras depressões menores, instaladas isoladamente no embasamento também foram preenchidas por sedimentos.

Todo esse conjunto sedimentar foi posteriormente cisalhado, aquecido e dobrado, constituindo extensas faixas mobilizadas, como parte de um cinturão metamórfico móvel que, constitui um elemento tectônico de caráter complexo, envolvendo vários eventos tectonotermais.

MEDEIROS LIMA et al (op. cit.), estabelecendo analogias entre a Região do Seridó e os cinturões móveis de outras partes do mundo, concluem que aquela região constitui uma província tectônica formada por várias faixas móveis, cada uma delas com algumas centenas de quilômetros de comprimento e diversas dezenas de quilômetros de largura caracterizada por trends estruturais especiais, cristalização sintectônica dos minerais de acordo com as estruturas maiores, bem como, estilo estrutural com características de rochas metamórficas afins, presença de rochas graníticas, migmatitos e tectonitos metamórficos e aspectos geocronológicos.

Finalizando, AGRAWAL (1992) apresentou algumas considerações sobre os pegmatitos existentes na Província Borborema e os eventos tectono-metamórficos ocorridos no Grupo Seridó.

## 2.2. Lavra e Parâmetros Geomecânicos

A maioria das rochas e maciços rochosos são anisotrópicos, ou seja, existem variações de suas propriedades com a direção. A anisotropia está relacionada as variações evidenciadas pelos elementos de *fabric* das rochas dispostos em formas de acamamentos, planos de xistosidades, foliações, fissuramentos e juntas AMADEI & STEPHANSSON (1997).

A anisotropia é uma característica geral de rochas metamórficas foliadas (xistos, folhelhos, gnaisses e filitos), rochas sedimentares estratificadas (folhelhos, calcários, arenitos e carvão), e rochas cortadas por um ou mais sistemas de juntas fechadas. Todas essas rochas dispõem claras evidências de anisotropia mostradas em uma ou mais direções aparentes de simetria. Normalmente, a ortotropia e a isotropia transversa são usadas para descrever a simetria de rochas anisotrópicas AMADEI & STEPHANSSON (1997).

A isotropia transversa é mais usada para descrever a simetria das rochas com um sistema dominante de camadas, algumas como rochas foliadas e rochas sedimentares, ou maciços rochosos com um sistema de juntas predominante AMADEI & STEPHANSSON (1997).

BRADY & BROWN (1993) também atribuem algumas orientações preferenciais apresentadas pelo material rochoso, de *fabric* ou microestrutura, ou, devido a presença de acamamento ou planos de clivagem, ao comportamento de muitas rochas serem anisotrópicas. Fato concordado por MACEDO (1998), que também atribui a maior parte das características anisotrópicas das rochas, às variações de suas propriedades segundo uma ou mais direções aparente de simetria (isotropia transversa<sup>1</sup> ou ortotropia). Estas variações geralmente estão associadas a existência de uma *trama* bem definida MACEDO (1998), tais como: planos de fraqueza de acamamento, maioria das diáclases, planos de fraqueza de xistosidade, juntas, zonas de alteração ou de falhas, representando o termo coletivo “descontinuidades”. A maior parte das rochas sedimentares e metamórficas apresentam anisotropia em diferentes intensidades. Como exemplo as características atribuídas a gênese

---

<sup>1</sup> descrição de simetria de rochas com um plano de sistema dominante, como rochas sedimentares e foliadas ou maciços rochosos com um sistema de juntas

das rochas, devido as disposições preferenciais orientadas dos minerais constituintes, na maioria dos casos planares. Este fato pode ser notado nas diáclases apresentadas pelas rochas, onde as orientações preferenciais identificadas nos maciços rochosos imprimem uma anisotropia marcante LADEIRA (1964).

LADEIRA (op. cit.) atribui às anisotropias mecânicas nas rochas como consequência de seu passado geológico, em particular, ao processo tectônico que promovera o surgimento de estruturas planares de menor resistência a deformação e a ruptura.

Segundo FRIEDMAN apud LADEIRA (1964), definiu a anisotropia em 2 (dois) tipos:

- anisotropia primária - relacionada aos processos genéticos das rochas;
- anisotropia secundária - relacionada aos aspectos tectônicos e/ou agentes atmosféricos.

ROLIM FILHO apud PONTES (1998) por sua vez, trata os maciços rochosos como um conjunto de blocos monolíticos de rochas, separados por imperfeições geológicas, e que incluem, além do tipo litológico, todas as suas descontinuidades (sistemas de diáclases, planos de acamamento, xistosidades e falhas).

Todas as rochas encontradas na natureza tem algum tipo de descontinuidade, microfissuras e/ou macrofissuras, que influenciam as propriedades físicas e mecânicas das rochas, e conseqüentemente, nos resultados do desmonte de rochas, JIMENO et al (1995).

A Associação Internacional de Mecânica de Rochas (ISRM) propôs a definição de descontinuidades como sendo termo geral para qualquer descontinuidade mecânica em maciço rochoso, que apresenta baixa ou nenhuma resistência à tração. O termo abrange a maioria dos tipos de diáclases, juntas, planos de fraqueza do acamamento, planos de fraqueza da xistosidade, zonas de alteração ou falhas.

As descontinuidades em diferentes escalas são apresentadas abaixo:

*a) escala megascópica*

*b) escala regional- falhas e dobras.*

*c) escala mesoscópica- estratificação (cm - m); pseudo-estratificação (cm - m); laminação (mm - cm); xistosidade (mm - cm); diáclases (cm - m); falhas (cm - m); e dobras (cm - m).*

*d) escala microscópica-fabric*

As áreas de descontinuidades podem variar entre: planos de acamamento, planos de laminação e de foliações primárias, planos de xistosidade, fraturas e juntas JIMENO et al (1995).

As descontinuidades podem ser firmes, abertas ou preenchidas. Por esta razão, podem exibir diferentes graus de transmissão de energia do explosivo. As paredes destas descontinuidades podem até se comportarem como superfícies de reflexão de ondas, permitindo a atenuação e/ou a dispersão destas JIMENO et al (1995).

Planos de fraqueza e juntas se apresentam em maciços rochosos em diversas feições: abertas, fechadas, preenchidas, etc., que por sua vez, contribuem na propagação da energia dinâmica através de características específicas do maciço rochoso PONTES (1998).

Em estruturas descontínuas como as juntas (fechadas e de baixa coesão), a incapacidade de transmissão de tensão de tração está atrelada a moderada intensidade de reflexão das ondas de choque, que reflete na diminuição das alterações entre as ondas incidentes e as ondas refletidas ROLIM FILHO apud PONTES (1998).

Com relação as juntas, são consideradas por PONTES (1998) como estruturas geológicas que geralmente se apresentam nas mais variadas feições possíveis. Em juntas abertas, as fraturas induzidas pelo fogo (deflagração do desmonte) não se propagam até que estejam completamente fechadas e mesmo assim, em condições especiais. Quando fechadas e fortemente cimentadas, fraturas induzidas pelos desmontes podem se propagar.

Para criação de novas fraturas em juntas abertas ou fechadas, as fraturas geradas dependem da qualidade (físico-mecânica) da superfície subsequente que esteja na trajetória da onda de choque. Como a taxa de energia dinâmica transmitida através dessas interfaces geralmente é muito baixa, a propagação de fraturas além da junta, só é possível quando existem microfissuras no bloco subsequente, que por sua vez, se propagam com as reduzidas taxas energéticas então transmitidas, ROLIM FILHO apud PONTES (1998).

Os materiais constituintes dos maciços rochosos atrelam certas características físicas em função de sua gênese e dos processos geológicos posteriores. Isto se deve ao ambiente de formação, e em particular, da litologia, responsável pelas heterogeneidades causadas pela adição de constituintes minerais policristalinos, bem como das descontinuidades da rocha matriz (porosidade e fraturas), JIMENO (1995).

Se a fragmentação dos maciços rochosos está condicionada ao seu comportamento mecânico, que se reflete na eficiência e rendimento dos desmontes à explosivos, é necessário localizar e descrever as descontinuidades do referido maciço à escala da obra, ou apenas do local da obra LADEIRA (1964). Assim, as descontinuidades dos maciços atreladas à escala das obras, são:

- juntas de estratificação, pseudo-estratificação ou laminação;
- xistosidade;
- diáclases (fraturas sem movimento aparente);
- falhas (fraturas com movimento).

Os parâmetros associados às descontinuidades (I.S.R.M., 1981) dos maciços podem ser agrupados em:

- a) orientação das descontinuidades: definida geometricamente por seu rumo e mergulho ou pela direção e ângulo de mergulho. A projeção estereográfica é uma poderosa ferramenta para determinação das principais famílias de juntas, bem como suas orientações e mergulhos;
- b) espaçamento: distância perpendicular à direção das juntas. O espaçamento define o tamanho dos blocos, influi na forma de ruptura do maciço, tem forte influência na permeabilidade do maciço e nas características de infiltração de água;
- c) abertura: distância perpendicular que separa as paredes adjacentes de uma descontinuidade aberta, na qual o espaço intermediário contém ar ou água. Também pode ser definida a partir da largura de uma descontinuidade. Sua influência será mais evidente na verificação da permeabilidade dos maciços;
- d) persistência: extensão com que uma descontinuidade se manifesta. Será caracterizada pelo traço da descontinuidade em um plano que a intercepta e quando obtida em três direções, definirá a área da descontinuidade. Pode ser uma característica das famílias de juntas, tendo uma família maior persistência que outra. Pode ser determinante em problemas de estabilidade em rochas;
- e) rugosidade (das paredes de uma descontinuidade): caracterizada por um denteamento (grande escala) e por uma aspereza (pequena escala) que tende a ser eliminada durante os deslocamentos por cisalhamento. É potencialmente um componente importante de sua resistência ao cisalhamento, especialmente no

caso de feições sem deslocamento e intertravadas, por exemplo, em juntas não preenchidas;

- f) preenchimento: termo geral para os materiais que separam paredes adjacentes de uma descontinuidade, por exemplo, calcita, clorita, argila, silte, material falha, brecha, etc. Sua importância recai sobre a resistência ao cisalhamento, deformabilidade e permeabilidade;
- g) infiltração de água: resultante do fluxo de água que percola através das descontinuidades;
- h) número de famílias: determina tanto o comportamento mecânico quanto a aparência do maciço rochoso, através da quantidade que intercepta umas às outras;
- i) tamanho dos blocos: parâmetro extremamente importante para indicar o comportamento mecânico da rocha. É determinado pelo espaçamento, número de famílias (sistema) e pela persistência das descontinuidades que delineiam blocos potenciais;

Diante de todo o contexto exposto acima, devemos submeter o material de ensaios corpos-de-prova às particularidades geomecânicas apresentadas pelo texto. Assim, poderemos delinear melhor os maciços rochosos perante os resultados dos ensaios apresentados.

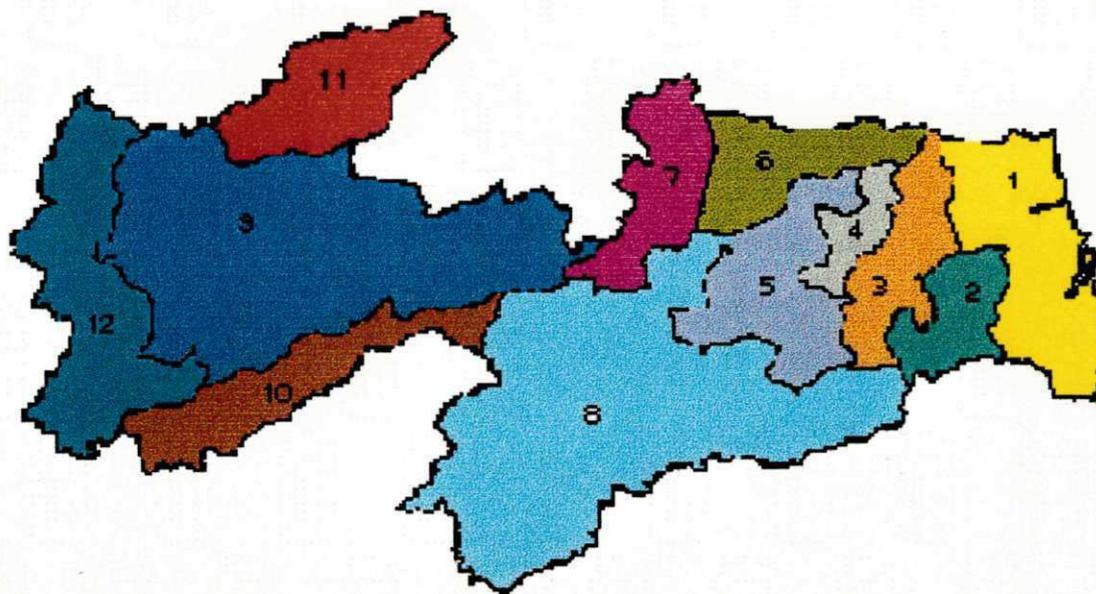
### 3. OS QUARTZITOS NA PARAÍBA

#### 3.1 Localização

As maiores jazidas de quartzitos estão situadas nos municípios de Várzea e Junco do Seridó, distantes 280 Km e 230 Km, respectivamente, da capital João Pessoa. O acesso às frentes de lavra do município de Várzea dá-se em sentido oeste através da BR-230 até o município de Santa Luzia, por aproximadamente 260 Km, e desta até Várzea no sentido NW por 20 Km, em seguida percorre-se 7Km em estrada vicinal que liga esse município as frentes de lavra de quartzito.

As frentes de lavra do município de Junco do Seridó são acessadas partindo da capital João Pessoa, pela BR-230, também no sentido oeste por aproximadamente 230 Km até esse município. Até os jazimentos de quartzitos percorre-se 5 Km, por estradas vicinais.

Segundo a organização política e administrativa do Estado da Paraíba, esses municípios, onde estão localizados nas áreas em estudos, fazem parte da micro-região Depressão do Alto Piranhas (Figura 3).



### Legenda

- |                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Litoral Paraibano              | 7. Seridó Paraibano           |
| 2. Agro-Pastoril do Baixo Paraíba | 8. Cariri Velhos              |
| 3. Piemonte da Borborema          | 9. Depressão do Alto Piranhas |
| 4. Brejo Paraibano                | 10. Serra do Teixeira         |
| 5. Agreste Paraibano              | 11. Catolé do Rocha           |
| 6. Curimataú                      | 12. Sertão de Cajazeiras      |
- fonte: IBGE

Figura 3 – Microrregiões Homogêneas do Estado da Paraíba.

### 3.2. Reservas

A Paraíba possui reservas consideráveis de quartzitos, entretanto não existem dados oficiais no Anuário Mineral Brasileiro-1997 do DNPM sobre as reservas medidas, indicadas ou inferidas de quartzito nesse Estado. A maior parte dessas reservas estão sendo exploradas de forma irregular sem controle do DNPM.

### 3.3. Geologia

Os quartzitos existentes nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte ocorrem em formações pré-cambrianas do Grupo Seridó, especificamente na Formação Equador. A Paraíba é geologicamente constituída, basicamente, pelas unidades lito-estratigráficas do pré-cambriano e mais restritamente pelas seqüências sedimentares paleo-mesozóicas (Figura 4).

Em linhas gerais, as direções estruturais assumidas pelo complexo de rochas do embasamento cristalino são efetivamente NE-SW com variações para ENE-WSW, destacando-se os grandes falhamentos associados aos lineamentos Patos, Tatajuba-Malta e Cariris Velhos, algumas falhas transcorrentes como as de Cacerengo e Pirpirituba (dextrógiras) e Guarabira (levógira), as falhas de cavalgamento das regiões de Picuí e Aroeiras-Macaparana, além dos diversos dobramentos sinformes e antiformes distribuídos por toda área de domínio das unidades pré-cambrianas.

Os conceitos geotectônicos existentes na região Nordeste demonstram para a Paraíba, uma compartimentação caracterizada pelas províncias Costeira e Borborema (Figura 5), estando esta última, por sua vez, subdividida nas unidades geotectônicas representativas dos sistemas de dobramentos Piancó-Alto Brígida, Pajeú-Paraíba, Curimataú e Seridó, dos maços de Rio Piranhas e Caldas Brandão e das zonas geotectônicas de Teixeira e Nova Floresta.

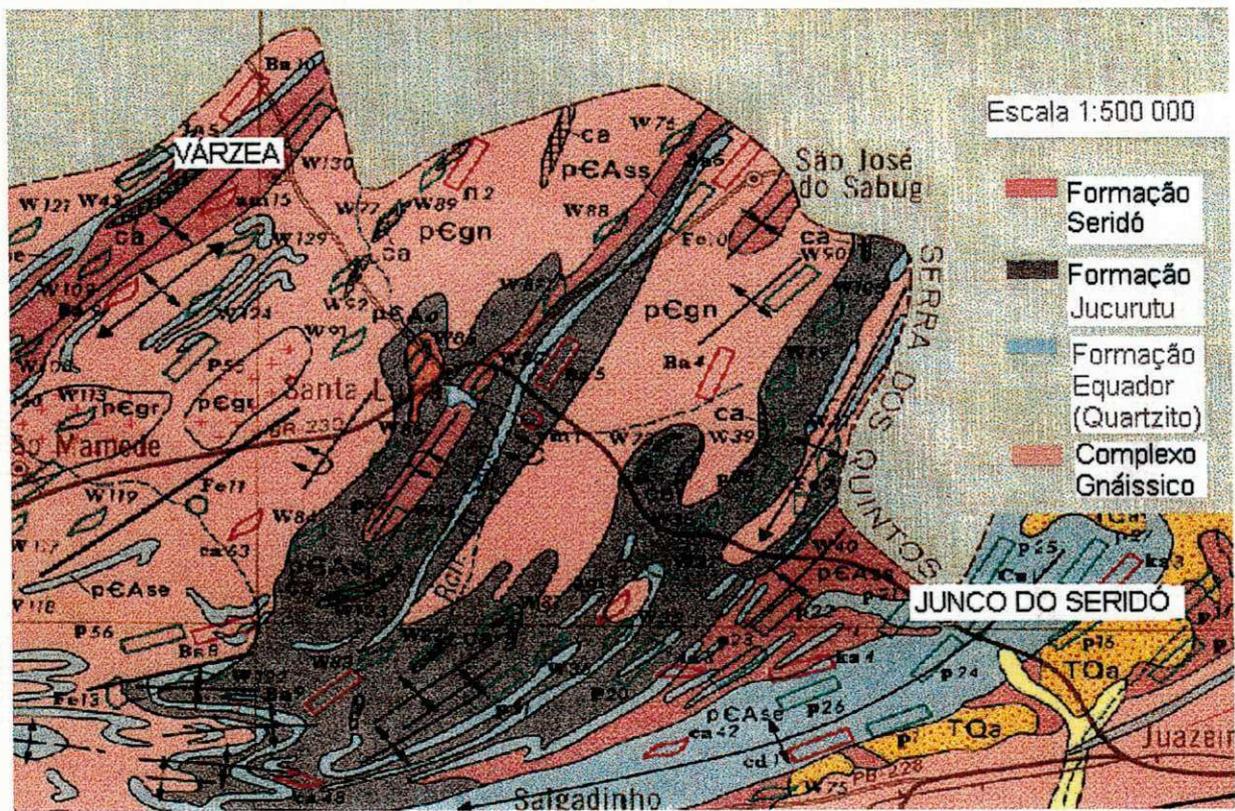
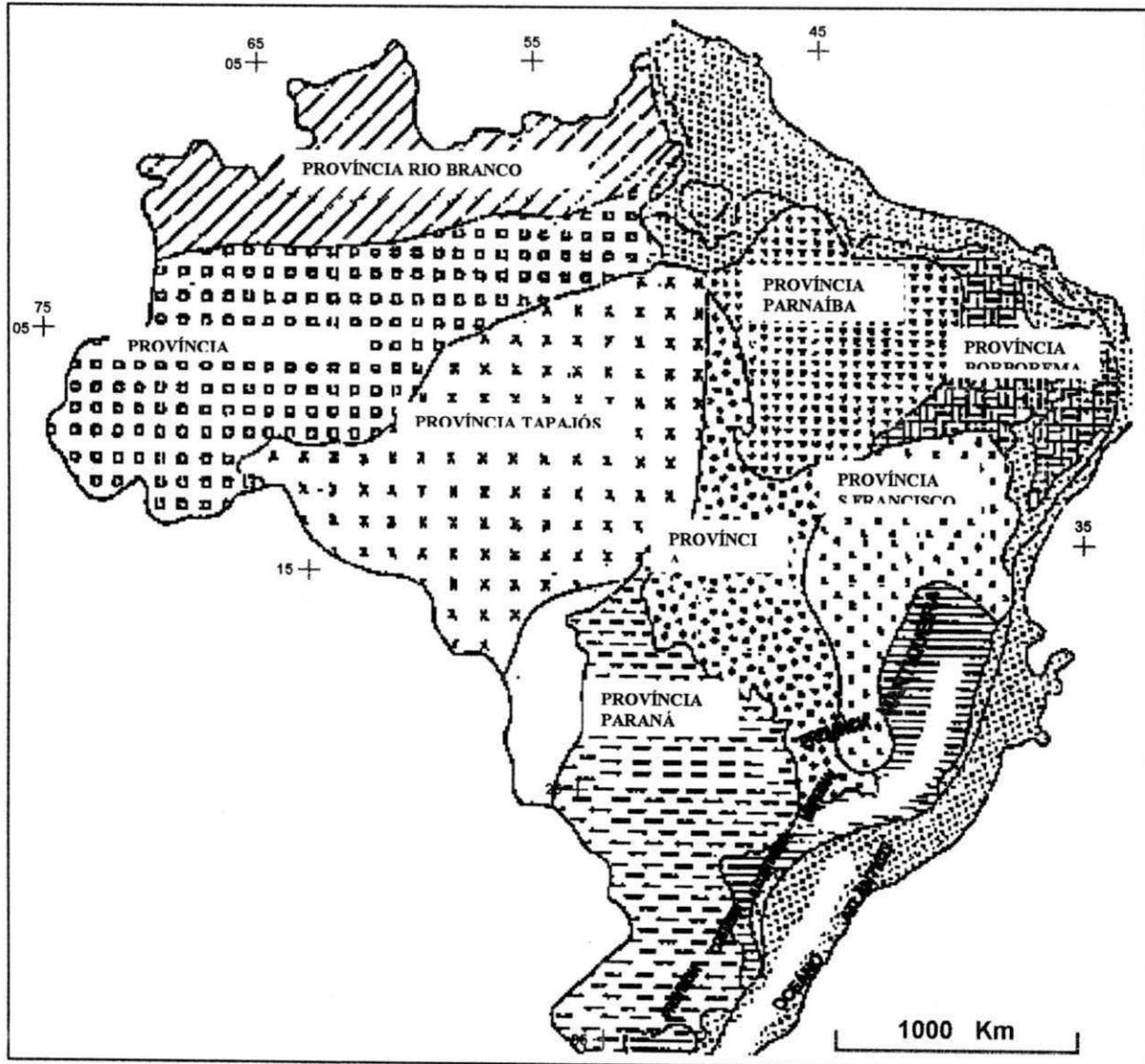


Figura 4 – Mapa Geológico da Paraíba



Fonte: Almeida *et al* (1977).

Figura 5 – Províncias Estruturais da Paraíba

### 3.3.1. Geologia Regional

A geologia da região pré-cambriana de ocorrência dos quartzitos, na Paraíba e Rio Grande do Norte, foi objeto de estudo de várias gerações de pesquisadores. Como já foi mencionado neste trabalho, os levantamentos científicos de CRANDALL (1910) foram os suportes básicos do conhecimento geológico na região nordeste. Até o momento já foram lançados e propostos vários modelos geológicos e tectônicos, não sendo objeto deste trabalho uma discussão detalhada sobre o assunto.

De acordo com BRITO NEVES (1975), os terrenos pré-cambrianos da área em estudo, sob o ponto de vista geológico, podem ser divididos em duas unidades fundamentais:

- a) Os terrenos gnáissicos-migmatíticos-graníticos, ou simplesmente os “maciços”, comparáveis ao “Complexo Fundamental” de CRANDALL (op.cit.);
- b) Os terrenos metassedimentares (e meta-vulcano-sedimentares) ou simplesmente os “sistemas de dobramentos”, comparáveis a “Série Ceará” de CRANDALL (op. cit.).

Conforme ALMEIDA et al (1977), essas unidades compõem o quadro geológico da região chamada de Província Borborema, onde estão os depósitos de quartzitos estudados nesta pesquisa.

Esses sistemas de dobramentos são constituídos por sequências metapelíticas e metapsamíticas, caracterizadas pela marcante linearidade dos elementos estruturais, resultantes de um período polifásico de deformação. Segundo JARDIM DE SÁ (1978), foram observadas pelo menos três fases importantes de deformação em alguns desses terrenos metamórficos e correlacionados, a essas fases, tipos de granitos aflorantes na sequência.

Os maciços migmatíticos-graníticos estão intercalados entre as faixas dobradas representando áreas mais estáveis, permitindo um relevo positivo responsável pelos principais pediplanos nordestinos.

As associações litológicas são caracterizadas por rochas gnáissicas, diversos migmatitos, variados tipos de granitos e raramente rochas básicas. Nas fases superiores

desses complexo ocorrem rochas metassedimentares, como quartzitos, semelhantes aquelas mapeadas nas faixas de dobramento.

Entretanto, vale salientar que algumas vezes essas rochas apresentam-se migmatizadas ocasionando proposições conflitantes sobre a discordância da cobertura metassedimentar /embasamento.

BRITO NEVES (op. cit.), baseado no número de fases de deformação nas mais variadas direções, enfatiza a enorme complexidade estrutural desses maciços, e o caráter policíclico com rejuvenescimento incompleto do ciclo Brasileiro.

Segundo BRITO NEVES (op. cit.) os metassedimentos de cobertura tem uma idade Brasileira, respaldado na maioria dos dados geocronológicos existentes, embora acredite que a relação entre as diversas fases de deformação e os ciclos não tenha sido devidamente resolvida.

Em resumo, observa-se que as controvérsias existentes são ocasionadas principalmente pelas idades dos eventos tectônico-metamórficos em relação aos ciclos, contudo todas as correntes de pensamento clamam pela necessidade de novas datações radiométricas através de métodos diversificados, concomitantes a um detalhado controle geológico e estratigráfico.

### 3.3.2 Estratigrafia

Considerando a existência de duas grandes unidades estratigráficas fundamentais (terrenos metassedimentares e complexos gnáissicos-migmatíticos-graníticos), diversos pesquisadores tentaram estabelecer colunas estratigráficas para a região do Seridó, todavia, em face a complexidade litológica e estratigráfica dessa área, normalmente essas colunas não refletiram de forma convincente o desenvolvimento crono e lito-estratigráfico dessa região, gerando inúmeras discussões.

Em linhas gerais, as diferenças oscilavam em torno do posicionamento dos grupamentos litológicos na coluna estratigráfica e em menor grau na composição litológica. Com base em estudos recentes sobre os aspectos geológicos regionais da Província

Borborema, MEDEREIROS LIMA (op. cit.) estabeleceu um modelo estratigráfico (Figura 6), onde determinou como embasamento um conjunto de rochas de composição gnáissico-migmatítica apresentando um elevado grau de deformação, intercaladas por faixas esparsas de corpos anfíbolíticos. As eventuais ocorrências de cobertura (quartzitos, carbonáticas, calcossilicáticas e xistos) sobre esse embasamento seriam restritos de calhas sinformais preservadas.

As rochas da cobertura brasileira foram empilhadas no Grupo Seridó, constituído por metapsamitos, metapelitos e as manifestações plutônicas (granitos, pegmatitos, etc.). A base da sequência é formada pela Formação Equador (quartzitos, metaconglomerados e itabiritos), seguindo-se da Formação Jucurutu (gnaisse, extensas lentes de calcário e níveis calcossilicatados com scheelita). O topo do grupo metassedimentar é constituído por uma extensa sequência de xistos de médio a baixo grau metamórfico denominado Formação Seridó.

Os corpos graníticos diapíricos estão agrupados sob a denominação de Rochas Plutônicas Granulares e incluem-se na sequência metassedimentar, ou englobando parte dessa.

As Rochas Filonianas Ácidas aparecem no embasamento e nas supracrustais, sendo considerado o evento mais tardio do Ciclo Brasileiro. As coberturas fanerozóicas, que incluem as formações mesozóicas e cenozóicas, estão assentadas discordantemente sobre o embasamento Pré-Cambriano. No topo da coluna estão as coberturas sedimentares e os aluviões de idades quaternárias.

Quaternário	Aluvião		Areias e cascalhos, com intercalações pelíticas	
	Coberturas Colúvio – Eluviais		Areias e cascalhos, com grãos de feldspato parcialmente caulinizados	
Terciário	Formação Serra dos Martins		Arenitos, argilosos e caulínicos e conglomeráticos com níveis pelíticos locais.	
Proterozóico médio	Grupo Seridó	Formação Seridó	Granada-biotita xisto, cordierita, granada-biotita xisto, calcário cristalino calcissilicáticas e quartzito.	Ortognaisses sin-tangenciais (augen).
		Formação Jucurutu/Ipueira	Biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss, muscovita quartzito, biotita xisto, calcissilicática, calcário.	Vulcânicas intermediárias a básicas.
		Formação Equador	muscovita quartzito e conglomerado;	
Proterozóico inferior	Complexo Serra dos Quintos		Biotita gnaiss, biotita e/ou hornblenda xisto, gnaiss arcoseano, muscovita-biotita/gnaiss, calcário cristalino, quartzito, itabirito, tactito com intercalações de ortoderivadas não-individualizadas	Augen gnaisses. Ortognaisse-tonalítico - granodiorítico-granítico
Arqueano	Grupo Caicó	Complexo Gnáissico-Migmatítico	Gnaisses, ortognaisses, biotita-gnaisses, gnaisses, migmatizados, migmatitos, rochas graníticas e afins, gabros, intercalações de calcário cristalino, anfíbolitos e leptinitos;	

Fonte: Adaptada de Dantas & Caúla (1982) e Ferreira (1998).

Figura 6 – Modelo Estratigráfico para Região Pesquisada

### 3.3.3. Gênese

Os quartzitos são rochas metamórficas constituídas essencialmente por grãos de quartzo orientados em camadas, podendo ter como minerais acessórios a muscovita, feldspato, epidoto, magnetita-hematita, clorita, entre outros. Os quartzitos resultam do metamorfismo sofrido pelos arenitos, onde o cimento que ligava os grãos de areia se cristalizou.

Nas rochas metamórficas, normalmente, alguns minerais pertencentes a rocha originária são conservados, enquanto outros são transformados em outros minerais com alterações em suas propriedades. Evidências indicam que os quartzitos foram originados por modificações dos sedimentos mais antigos.

As rochas quartzíticas são formadas pelo metamorfismos de contato ou regional. O metamorfismo de contato é produzido pela união do magma ascendente com as rochas vizinhas em um espaço variável, de poucos metros até alguns quilômetros (auréola de contato). Essas rochas originárias variam de estrutura e composição mineralógica, e adquirem alto endurecimento pela recristalização, devido a elevação de temperatura.

O metamorfismo regional ou dinamotermal é ocasionado pela subsidência em geossinclínios, mediante a ação da temperatura com o aumento de pressão, propiciando a recristalização, a formação de novos minerais e trocas essenciais na estrutura das rochas. Os quartzitos da Paraíba são, provavelmente, provenientes do metamorfismo regional.

As rochas quartzíticas apresentam uma xistosidade representada por uma orientação cristalográfica acentuada das micas, gerando a foliação que faz com que a rocha apresente planos de clivagens homogeneamente distribuídos.

### 3.4. Lavra

As rochas ornamentais encontram-se na crosta terrestre normalmente na forma de maciços rochosos aflorantes na superfície. Entretanto, podem, ocasionalmente, apresentar-se como grandes blocos rochosos desagregados desses maciços, que recebem a denominação de matacões.

Entre as rochas para ornamentação e revestimento destacam-se, por sua aceitação no mercado e produção, os granitos, mármore, quartzitos, ardósias e pedra-sabão. O mercado consumidor das rochas ornamentais teve um crescimento significativo nos últimos 10 anos, propiciando a expansão da capacidade de produção de países como o Brasil. Esses acontecimentos evidenciam a necessidade de ampliação dos estudos de controles geológicos, imprescindíveis para a caracterização tecnológica das jazidas, que proporcionarão a seleção do método de exploração adequado.

O método de lavra a ser escolhido será aquele que promova a extração das rochas ornamentais com menor custo, mais qualidade e seja compatível com a preservação do meio ambiente. A lavra de uma rocha ornamental é constituída por um conjunto de operações visando a obtenção de fragmentos do maciço rochoso, que podem receber a denominação de blocos no caso de granitos e mármore, ou lajões em se tratando de quartzitos e ardósias.

Vale ressaltar, que as operações de lavra das rochas ornamentais são precedidas pelo desmatamento e pela remoção completa do capeamento estéril (solo).

De uma forma geral, a lavra de rochas ornamentais é realizada a céu aberto através de bancadas. Neste tipo de lavra observa-se diversos métodos que podem utilizados na exploração de blocos ou lajões em pedreira.

A seleção do método adequado de lavra depende do tipo de rocha, de sua composição mineralógica, de seus aspectos geométricos e estruturais, associados às restrições operacionais dos equipamentos empregados. Normalmente, as jazidas de quartzitos existentes na maioria dos estados brasileiros, tais como Paraíba, Bahia, Minas Gerais, entre outros, são explorados há vários anos pelo método de lavra céu aberto, usando a técnica rudimentar manual (Figura 7).

Inicialmente efetua-se o desmatamento e a remoção completa do capeamento estéril, constituído geralmente pelo solo e rochas alteradas. De acordo com as características geométricas da jazida, esse capeamento pode atingir espessuras de até 30 m, o que muitas vezes inviabiliza a exploração desses depósitos. Posteriormente, é executada a extração direta de grandes placas ou lajões do maciço rochoso por esse sistema.

O sistema de carregamento e transporte, usado para conduzir o material desmontado das banquetas para a superfície, é constituído de pá-manual e carro-de-mão. Observa-se que esse sistema, apesar de simples, é bastante rústico e improdutivo, gerando uma baixa rentabilidade.

Outro aspecto negativo, observado com aplicação desse método, é que ele tem sido conduzido de forma aleatória e caracterizado por uma série de irregularidades tais como a informalidade fiscal da atividade, deficiências na segurança e problemas ambientais.

A qualidade ambiental do processo extrativo de quartzitos é refletido pela formação de enormes pilhas de bota-fora e/ou rejeitos nas proximidades da cava (Figura 8).

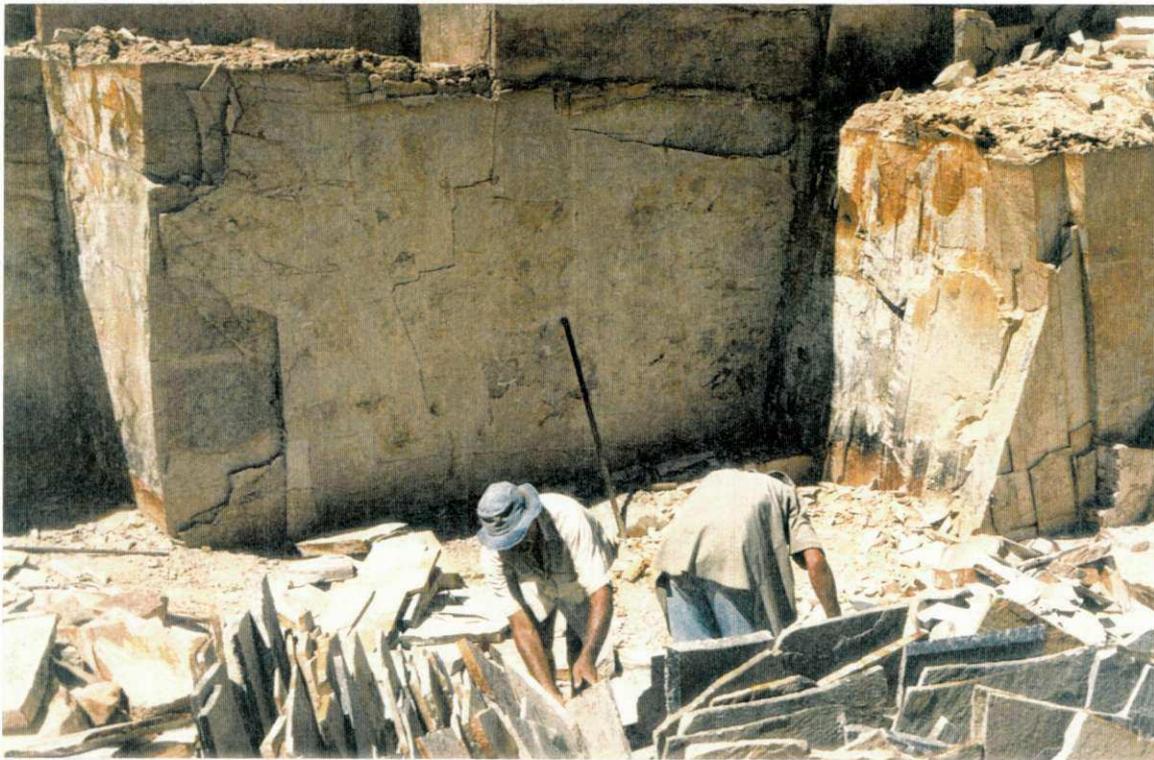


Figura 7 – Extração Manual de Quartzitos

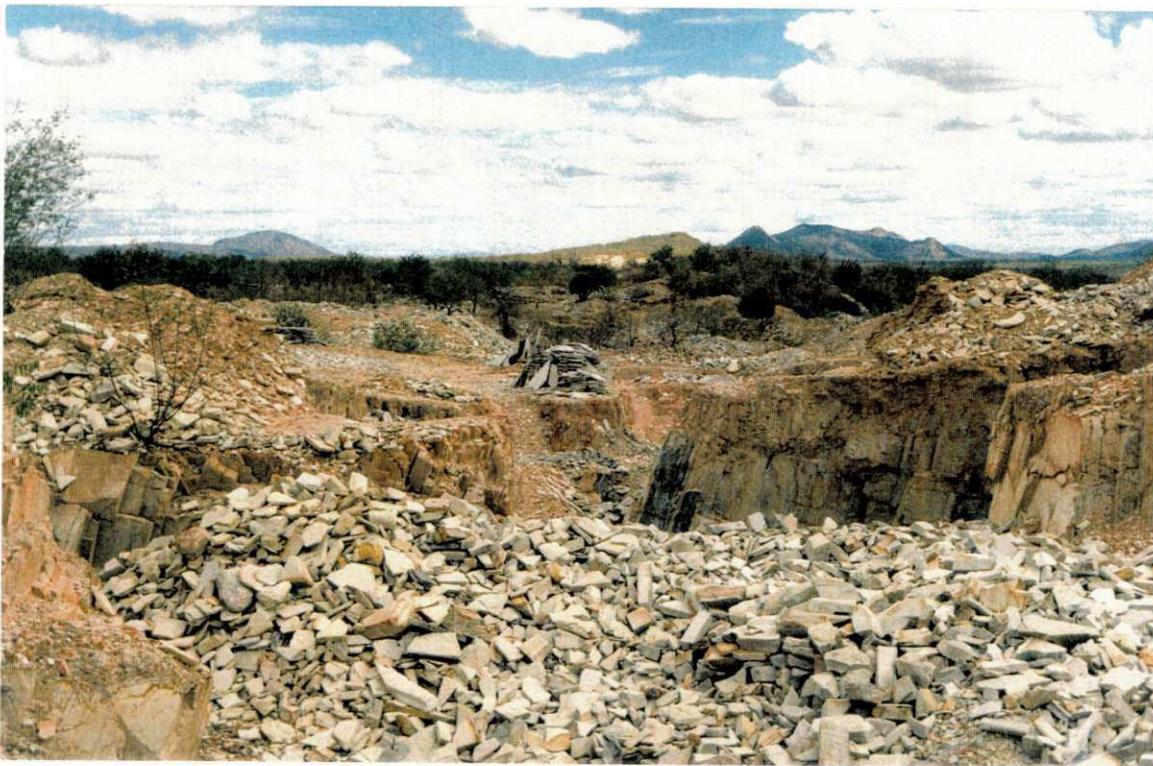


Figura 8 – Formação de Pilhas de Rejeitos na Cava

#### **4. CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DAS ÁREAS EXPLOTADAS**

A exploração de bens minerais implica em modificações significativa na estrutura física, biológica e antrópica das áreas onde estão localizada os jazimentos. Essas modificações oriundas da atividade mineral pode provocar menor ou maior impacto, conforme a sua posição geográfica, o método de lavra utilizado e o tipo de minério extraído.

Os estudos ambientais nas áreas mineradas devem levar em consideração essas particularidades técnicas que norteiam a mineração, evitando a adoção de medidas antes de uma análise preliminar dos fatores naturais que envolvem um empreendimento mineiro.

##### **4.1. Meio físico**

Segundo FORNASARI FILHO et al (1992), “meio físico é o conjunto do ambiente definido pela interação de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solos, rochas, água e ar) e tipos naturais de energia (gravitacional,

solar, energia interna da terra e outros), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana”.

#### 4.1.1. Clima

Conforme o Atlas Geográfico do Estado da Paraíba (1985), observa-se no Estado variações significativas nas condições climáticas, provavelmente influenciadas pelo seu relevo, acentuando-se no sentido Leste-Oeste.

As regiões próximas ao Equador, onde está inserida a jazida quartzítica em estudo, apresentam alta radiação de energia anual, determinando um clima semi-árido quente com chuvas de verão, com intenso grau de evaporação e pouca precipitação pluviométrica (entre 350 e 700mm), caracterizado por uma temperatura média anual de 26<sup>o</sup>C, tipo Bsh. Essa classificação é baseada nos estudos climáticos de W. KOEPPEN (1884), complementados e atualizados até os dias de hoje.

De acordo com o complexo quadro bioclimático do Estado, o bioclima nessa região é Subdesértico quente de tendência tropical (2b), apresentando uma estação seca muito longa. A umidade relativa do ar é de 6%. Anteriormente, fevereiro, março e abril eram considerados os meses mais chuvosos, entretanto, com as mudanças climáticas que estão sendo observadas no planeta, os índices pluviométricos nessa região, foram bastante reduzidos, verificando-se períodos mais prolongados de estiagem.

#### 4.1.2 Geomorfologia

As feições geomorfológicas do Estado da Paraíba são influenciadas principalmente por fatores estruturais (litologia e tectônica) e climáticos (atuais e antigos), considerando-se a proximidade do oceano importante modificador dos climas locais.

Levando-se em consideração a continentalidade crescente de leste para oeste, a Paraíba apresenta dois grandes conjuntos de formas de relevo ligadas ao clima: o Domínio Quente e Úmido Litorâneo e o Domínio Quente e Seco ou Semi-Árido.

Domínio Quente e Seco ou Semi-Árido ocupa a maior parte do território da Paraíba, caracterizando-se por climas secos, altas temperaturas, baixos índices pluviométricos e elevadas taxas de evaporação provocadas por uma distribuição irregular dos totais anuais de chuvas, influenciando significativamente os recursos hídricos locais.

Nesse domínio, destaca-se a seguintes umidade de relevo: o Planalto da Borborema (superfície e frente ocidental), as Superfícies Aplainadas do Sertão ou Pediplanos Sertanejos e as Áreas Cristalinas Elevadas (serras residuais).

As áreas mineradas de quartzitos, objeto deste estudo, estão situadas nas unidades geomorfológicas Planalto da Borborema (frentes de lavra de Junco do Seridó) e Superfícies Aplainadas do Sertão (frentes de Várzea).

O Planalto da Borborema apresenta a estrutura de um maciço, constituído de rochas cristalinas de idade pré-cambriana, deformado pela ação tectônica, gerando áreas elevadas, abaixadas, inclinadas ou alinhadas, seguindo determinadas direções.

Verifica-se, também, nessa unidade falhamentos com fraturas decorrentes desses esforços tectônicos sobre a sua rígida estrutura. Esses acidentes orientam as formas de relevo, tais como os alinhamentos de serras, as escarpas e muitos vales fluviais.

Com relação a topografia, a morfologia do Planalto é caracterizada por apresentar elevações em três níveis, escalonados, que variam de acordo com a altitude: a) nível Cariri (400-600m) é o de maior extensão espacial; b) nível Borborema (600-700m) é o melhor preservado; c) nível Cimeiro ou Teixeira (acima dos 900m), onde se encontra o Pico do Jabre, ponto culminante do Estado com 1.090m. Esses níveis são superfícies aplainadas, em várias épocas, pela ação da erosão, onduladas no conjunto, onde se destacam serras isoladas residuais, mais resistentes ao desgaste erosivo, e constantemente alinhadas, segundo determinadas direções (SE/NW e E/W).

Alguns trechos do Planalto da Borborema apresentam restos de uma cobertura antiga de rochas sedimentares, mais extensas no passado, cobrindo as rochas cristalinas, e gerando relevos de aproximadamente 600m de altitude, denominados chapadas e morros testemunhos.

No lado ocidental, após o município de Junco do Seridó (570m de altitude), no nível Cariri, o planalto termina em escarpa com desnível íngreme em direção às superfícies de aplainamento sertanejas.

As Superfícies Aplainadas do Sertão caracterizam-se por áreas relativamente baixas (250-300m) e planas, com colinas suaves, e recebem também a denominação de Pediplanos Sertanejos ou Depressão Sertaneja. Essas superfícies estão situadas entre a escarpa ocidental do Planalto da Borborema e os alinhamentos de serras na fronteira com os Estados vizinhos. A maior parte dessa área rebaixada, onde estão os depósitos de quartzitos de Várzea, são formadas por rochas cristalinas de idade pré-cambriana.

Nessa superfície aplainada podem emergir os famosos inselbergs ou morros isolados de topo convexo, como a Serra dos Porções nas proximidades de Várzea, e as elevações em forma de serras e cristas que acompanham as grandes linhas do relevo. As serras residuais podem ser chamadas de Áreas Cristalinas Elevadas que resistiram ao processo de pediplanação.

As serras atingem altitudes superiores a 700m, possuem condições climáticas agradáveis, menos secas que as áreas adjacentes, e recobertas por uma vegetação mais densa.

#### 4.1.3. Recursos Hídricos

A hidrografia da Paraíba caracteriza-se pela predominância dos rios intermitentes que diminuem seu volume d'água ou secam nos períodos de estiagem, e rios de regime pluvial que dependem das estações chuvosas. No Estado observa-se 8 bacias hidrográficas principais: as bacias dos rios Piranhas, Paraíba, Curimataú, Camaratuba, Mamanguape, Miriri, Gramame e Abiaí.

A bacia do rio Piranhas apresenta maior potencial hídrico, e drena toda região sertaneja algumas áreas da zona do Seridó, o rio Piranhas, principal rio dessa bacia, nasce no Alto Sertão da Paraíba, em Bonito de Santa Fé, e deságua no litoral do Rio Grande do Norte, no oceano Atlântico. No seu percurso natural de 200 Km banha vários municípios da Paraíba e

do Rio Grande do Norte. No domínio dessa bacia estão vários açudes como o de Coremas, Mãe d'água, Jatobá, Santa Luzia, entre outros.

Contudo, embora as áreas estudadas neste projeto estejam situadas na microrregião Depressão do Alto piranhas, nas proximidades das sub-bacias dos rios Sabugí e Seridó, verifica-se um baixo potencial hídrico nas suas imediações, com pequenos reservatórios d'água, como o açude Salão que abastece a cidade de Junco do Seridó e o açude Santa Luzia a 20 km de Várzea .

De acordo com os levantamentos hidrogeológicos disponíveis da região em torno do município de Junco do Seridó, o lençol freático está a poucos metros da superfície, sendo propício para perfuração de poços que poderiam suprir as necessidades básicas da população, para abastecimento doméstico e industrial, atendendo a atividade mineral.

Com relação ao município de Várzea, não existem levantamentos hidrogeológicos detalhados sobre outros aquíferos existentes na área, entretanto a cidade é abastecida pelos açudes Veados e Água Azul.

A irregularidade na distribuição das chuvas e a sucessão de períodos prolongados de estiagem são, provavelmente, os principais problemas dessas áreas semi-áridas. Toda água necessária para suprir as necessidades básicas da população advém de carros pipas e de alguns poços perfurados.

#### 4.1.4. Solos

O solo pode ser estudado sob o ponto de vista pedológico, considerando-o um componente natural da paisagem, levando em conta a sua origem, evolução e classificação. O mesmo resulta da ação do clima e de fatores biológicos, físicos e químicos sobre as rochas (intemperismo). A transformação da rocha em solo demanda tempo e depende da topografia ou forma de relevo.

O perfil do solo é formado por um conjunto de horizontes ou camadas paralelas à superfície da terra. O solo é denominado evoluído quando apresenta normalmente uma sequência de 4 horizontes (O, A, B e C) que assentam sobre a rocha a partir da qual ele se

formou (rocha-mãe). O clima e a natureza da rocha-mãe são condicionantes importantes na formação pedológica do estado da Paraíba.

Nas microregiões paraibanas recobertas por caatingas, como as áreas em estudo neste Projeto, a peculiaridade semi-árida influencia na evolução dos solos, que é lenta por falta de um fornecimento de matéria orgânica (detritos de vegetais) ou bloqueada durante a estiagem prolongada por falta d'água. Por outro lado, são susceptíveis a agentes externos erosivos.

As áreas no município de Várzea, onde estão as frentes de lavra pesquisadas, é caracterizadas por solos brunos não cálcicos, pouco espessos (0,5–1,0m) e pedregosos. Por outro lado, as frentes do Junco do Seridó apresentam solos podzólicos, com acumulação de argila no horizonte B, sobre rochas cristalinas, na depressão periférica e nas serras do semi-árido.

## 4.2. Meio Biótico

De acordo com o Atlas Geográfico do Estado da Paraíba (op. cit.), a sua vegetação é variada em consequência da diversidade das condições ambientais em seus inúmeros compartimentos morfológicos.

Os municípios de Várzea e Junco do Seridó, onde estão situadas as frentes de lavra de quartzitos, estão inseridos na formação vegetal caatinga, caracterizada por apresentar um número restrito de vertebrados que habitam suas florestas e seus entornos.

### 4.2.1. Flora

A Formação das Caatingas é também caracterizada por uma máxima adaptação dos vegetais a carência de recursos hídricos. A caatinga é um tipo de vegetação predominante no nordeste brasileiro, onde o termo parece significar “mata rala e descontínua”.

Segundo LINS & MEDEIROS (1993), o território paraibano é recoberto, em torno de 72%, pela caatinga, cobrindo as porções central e ocidental do Planalto da Borborema e toda Depressão Sertaneja, zonas de clima semi-árido. A definição de caatinga deve ser baseada nas condições ecológicas, florísticas, climáticas e fisiológicas. Diversas divisões já foram propostas para as caatinga, sendo algumas aceitas e outras questionadas por vários autores devido a aplicação de termos regionais usados na identificação de alguns tipos fisionômicos (BRASIL, 1981).

A caatinga abrange as formações xerófitas, formadas por muitas plantas suculentas, como as cactáceas. As espécies são, predominantemente, caducifólias, espinhosas, com folhas pequenas ou de lâminas subdivididas, existindo algumas sem folhas (áfilas), para reduzir ao máximo a perda de água por transpiração.

As caatingas da Paraíba foram agrupadas em quatro tipos:

- Caatinga Arbórea dos Relevos e Serras – apresenta população lenhosa alta, mais ou menos densa, com ou sem cactáceas;
- Caatinga Arbustiva Densa ou Caatinga Hipoxerófila - possui moitas densas, com poucas cactáceas e bromeliáceas;
- Caatinga Arbustiva Aberta – é um tipo mais ou menos aberta, com moitas esparsas, com forte densidade de cactáceas e bromeliáceas;
- Caatingas Claras, Abertas, Baixas, com Tapetes de Gramíneas - esses diferentes aspectos da caatinga ocorrem devido à flora, às condições edáficas e topográficas, e às ações antrópicas (pecuária intensiva, agricultura intinerante e corte de madeira).

As espécies vegetais observadas nas áreas em estudo são: capim penasco (*Aristida* sp.), xique-xique (*Pilosocereus gounellei* Weber), algumas espécies de catinqueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul) e jurema (*Mimosa* sp.), bem separadas entre si.

Esse tipo de vegetação está inserida no domínio das hiperxerófila e evidencia o alto grau de empobrecimento da caatinga do Seridó (Figura 9).



Figura 9 – Vegetação da Região do Seridó

#### 4.2.2. Fauna

De acordo com MARES et al (1981), as características de mosaicos de micro-habitats dependem de diversas condicionantes, tais como o tipo de vegetação, topografia, parâmetros pedológicos e atividade antrópica.

Neste trabalho serão apresentadas algumas espécies de aves, répteis e mamíferos, presentes na área em estudo, constituindo-se em um levantamento preliminar da fauna. Segundo VANZOLINI et al (1980), a fauna de répteis é bastante variada, predominando anfisbênios (cobra de duas cabeças), serpentes e largatos.

Levando em consideração as características abióticas da caatinga, semi-árido com solos argilosos, pedregosos ou arenosos e de estação seca intensa, e de acordo com SICK (1985), as aves presentes nessa micro-região são: bacurauzinho (*Caprimulgus hirudinaceus*), periquito (*Aratinga cactorum*), casaco de couro (*Pseudoxisura cristata*), cacã (*Cyanocorax*

cyanopagou), galo de campina (*Parcaria dominicano*), entre outros. Em épocas de chuvas, outras espécies de aves são atraídas pela caatinga, como marrecos, jaçanãs e arribação.

Segundo MARES et al (1981), os mamíferos presentes na caatinga estão relacionados com o tipo de vegetação e seus diversos tipos de habitats. Assim, o autor identificou as seguintes espécies: morcego (*Vampyrops lineatus*), tatu, gambá, tamanduá, gato do mato, sagui, entre outros.

#### 4.3. Meio Sócio-Econômico

Os municípios de Várzea e Junco do Seridó, que envolvem as áreas em estudo, fazem parte da microregião Depressão do Alto Piranhas e da zona fisiográfica do Seridó.

Embora façam parte da mesma microregião e mesma zona fisiográfica, esses municípios apresentam algumas diferenças sob o ponto de vista sócio-econômico.

O município de Junco do Seridó tem uma população de aproximadamente 8000 habitantes, distribuída em uma área de 160 Km<sup>2</sup>, que corresponde a uma densidade demográfica de 50 hab./Km<sup>2</sup>.

A atividade econômica predominante no município é a mineração, representada pela exploração de caulim, feldspato e quartzito, sob o regime de garimpagem, conforme estabelece a Portaria nº 1524 de 27 de outubro de 1982, publicada no Diário Oficial da União de 03 de novembro de 1982, que delimitava áreas destinadas a extração de substâncias minerais, exclusivamente por trabalhos de garimpagem. Entre essas áreas estão aquelas objeto desta Pesquisa.

Vale ressaltar, que a atividade mineral no Junco do Seridó destaca-se pela produção de caulim, sendo considerada a maior do Estado, gerando, junto com as explorações de outras substâncias minerais (quartzito, feldspato), cerca de 700 empregos diretos e 1500 indiretos.

Como o município está numa zona atingida pela estiagem prolongada, a pecuária é insignificante, a atividade agrícola, existente apenas na estação chuvosa, restringe-se a cultura de subsistência (feijão, milho, mandioca, fava, caju, manga, melancia, etc).

O município de Várzea tem uma população de aproximadamente 2210 habitantes, conforme dados recentes do último censo do IBGE, distribuídos em uma área de 138 Km<sup>2</sup>. Foi emancipado em 11 de janeiro de 1962.

No passado a atividade econômica do município caracterizava-se pela exploração de scheelita e a criação de ovinos. Entretanto com o encerramento das operações da mina Quixaba, em função da queda de preço da scheelita no mercado mundial, o panorama da atividade mineral no município sofreu modificações.

A exploração e beneficiamento do quartzito passou a ocupar um papel de destaque na economia do município. Atualmente, apesar da lavra ser clandestina, essa atividade mineral gera 200 empregos diretos e 450 indiretos. Segundo dados da Prefeitura de Várzea, essa atividade contribui com o recolhimento considerável de ICMS para o município.

Outro dado que merece reflexão é que a exploração de quartzito ocorre em áreas com baixo índice de escolaridade, baixo nível de saúde, e onde se verifica a existência de crianças, que deixam a escola para trabalhar nas frentes de lavra.

## 5. METODOLOGIA

Neste trabalho foi feita uma exposição sobre a situação atual da atividade mineral no Brasil, a vocação mínero-industrial da Paraíba, o desafio da mineração perante a questão ambiental e a inserção da exploração de quartzitos na Paraíba nesse contexto geral.

A geologia da região do Seridó, o tipo de lavra adotado, os parâmetros geomecânicos e a caracterização ambiental das áreas que explotam quartzitos na Paraíba também são discutidos neste trabalho.

A pesquisa foi realizada em duas etapas principais: levantamentos de dados no campo e pesquisa de laboratório. Nessas etapas foram efetuadas levantamentos geológicos básicos, caracterização tecnológica das jazidas, observação dos métodos adotados nas frentes de lavra visitadas e identificação superficial dos impactos ambientais nas áreas mineradas

Procurava-se respostas as seguintes questões principais:

- 1) Como era o comportamento geológico-estrutural nas frentes de lavra de quartzitos de Várzea e Junco do Seridó-PB?
- 2) Qual o perfil operacional das atividades de lavra nas áreas em estudo, e como o conhecimento das feições geológicas das áreas estudadas poderia facilitar a adoção de métodos mais racionais de exploração?

A hipótese do estudo antecipava que, de um modo geral, as frentes de lavra de quartzitos na Paraíba, são explotadas de forma rudimentar, sem levar em consideração as feições geológica-estruturais dos depósitos, gerando alguns danos ambientais e provocando desperdícios.

A base conceitual sólida aplicada neste estudo considera que a adoção de um método de lavra adequado para rochas ornamentais, como os quartzitos, deve levar em consideração as características geológicas e parâmetros geomecânicos do depósito a ser lavrado.

### 5.1. Levantamentos Geológicos Básicos

A seleção das áreas estudadas foi feita através de visitas de campo a várias minas nas proximidades de Várzea e Junco do Seridó, quando então foram escolhidas uma mina próxima à Várzea e outra na vizinhança de Junco do Seridó, de modo a se obter um quadro representativo da geologia e da lavra nessa região.

As primeiras áreas escolhidas estavam situadas a, aproximadamente, 6 Km a NE da cidade de Várzea, no sopé da Serra dos Porções, em uma zona limítrofe da Paraíba e o Rio Grande do Norte. Vale ressaltar, que essa Serra contém um importante depósito de quartzito que se estende de Várzea até o município de Ouro Branco-RN.

Em cada mina foram escolhidas frentes de lavra, também chamadas pelos garimpeiros de banquetas, onde foram realizados os levantamentos geológicos básicos, gerenciando-se as informações existentes na literatura disponível sobre as áreas em estudos, auxiliados por mapas regionais e folhas cartográficas da SUDENE. Nos trabalhos tradicionais de campo foram usados GPS, trena, martelo e bússola.

Nas frentes de lavra selecionadas para os estudos de campo foram executadas as seguintes atividades:

- Cadastramento dessas frentes e coleta de dados, através de observações e entrevistas, com os proprietários e/ou garimpeiros, sobre a produção, mercado consumidor, técnicas de extração, entre outras;
- Dimensionamento das frentes objetivando as medições de extensão, altura da bancada, largura da cava, e a sua latitude e longitude;
- Localização e cadastramento de fraturas em cada frente, onde foram feitas as medições de suas atitudes, e posteriormente agrupando-as em famílias de acordo com essas atitudes;
- Medição dos espaçamentos entre as famílias de fraturas paralelas e transversais;
- Obtenção das espessuras das camadas paralelas a foliação;
- Coleta de amostras para identificação superficial da composição mineralógica, cor, granulometria, textura, e um estudo mais detalhado sobre a sua resistência a tensão.

## 5.2. Pesquisa de Laboratório

As amostras de quartzitos coletadas no campo, serviram para preparar os corpos-de-prova para os ensaios tecnológicos de tensão. Os resultados dos testes estão apresentados nas tabelas 2 e 3, seguindo a recomendação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Essas amostras foram separadas por região, e feitos cortes com serra diamantada para os testes de tensão. As dimensões adotadas são aquelas especificadas pelas normas técnicas, conforme ABNT-NBR 12763 (1992).

Os ensaios foram realizados nas direções perpendiculares as estruturas das rochas. Este tipo de ensaio foi escolhido com o objetivo de determinar a tensão de ruptura por tração na flexão das rochas. Vale salientar, que a rocha estudada, deverá ser utilizada na indústria de construção civil como revestimento em edificações. Na região pesquisada os blocos e placas de quartzitos são retirados paralelamente a foliação, aproveitando-se a

maior fraqueza dos seus planos, por essa razão não foram feitos os experimentos nas outras direções.

A aparelhagem utilizada para a execução dos ensaios consiste de um equipamento para corte de rochas, composto por um disco diamantado capaz de cortar superfície tão plana quanto possível (Figura 10), e um paquímetro de 200 mm com divisões de 0,05 mm para medição dos corpos-de-prova.

Apresenta ainda uma prensa com capacidade de 24000 kN e resolução igual a 40 kN, dispendo de um prato inferior rígido e um prato superior suspenso na cabeça da prensa e munido de rótula, de modo a permitir pleno contato com o topo do corpo de prova, contendo um sistema de aplicação de carga que permita um carregamento progressivo e contínuo (Figura 11).

Figura 10 – Equipamento Utilizado para o Corte dos Corpos-de-Prova

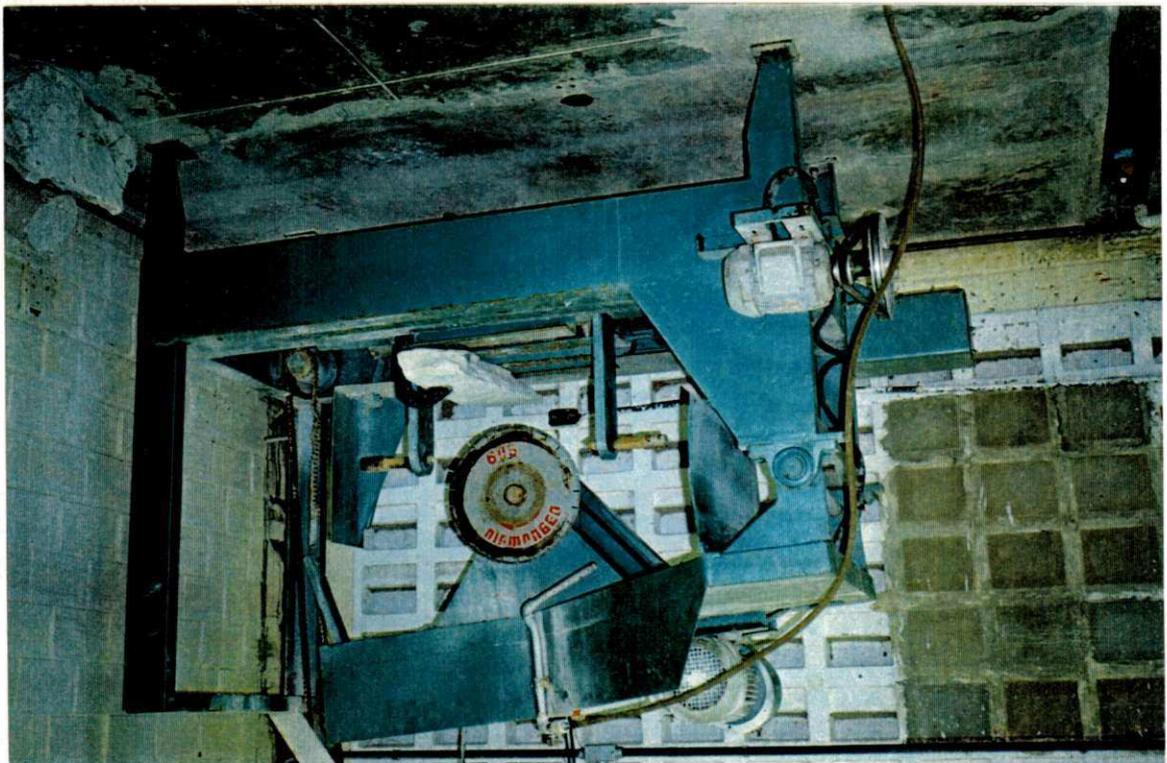




Figura 11 – Equipamento Utilizado para os Ensaios Tecnológicos de Tensão

### 5.2.1. Execução do Ensaio Geomecânico

As amostras representativas foram colhidas nas jazidas em quantidades tais que representavam todas as características da rocha; sendo assegurado volume suficiente para permitir a obtenção dos corpos-de-prova necessários para representar a variabilidade dos valores de tensão de ruptura.

Os corpos-de-prova foram preparados com formato prismático retangular com dimensões de aproximadamente 20 cm × 10 cm × 5 cm, garantindo-se superfícies planas e faces opostas paralelas (Figura 12). Posteriormente, foi traçada uma linha na seção transversal posicionada a meio comprimento do corpo-de-prova, perpendicular as suas arestas longitudinais, e também outras duas linhas paralelas com distâncias de 9 cm para cada lado da linha média inicialmente traçada. As medições das dimensões do corpo-de-prova foram efetuadas sobre três linhas demarcadas, registrando-se os valores finais como a média aritmética das medidas.



Figura 12 – Corpo-de-Prova Preparado para Ensaio Geomecânico

Como a rocha é foliada, assinalou-se a direção das estruturas no corpo-de-prova, o qual foi assentado sobre os cutelos inferiores, nas posições correspondentes às linhas demarcadas a 9 cm da linha média (com vão de ensaio de aproximadamente 18 cm). Em seguida, colocou-se o cutelo superior na posição correspondente a linha média traçada sobre o mesmo, aplicando-se pequena carga inicial para obter a estabilização do sistema corpo-de-prova/ cutelo/ prensa (Figura 13).

Fez-se o carregamento de modo lento e progressivo, a uma taxa de aproximadamente 4.450 N/min, até a ruptura do corpo-de-prova. A tensão de ruptura da rocha por tração na flexão ( $\sigma_f$ ) foi calculada pela seguinte expressão:

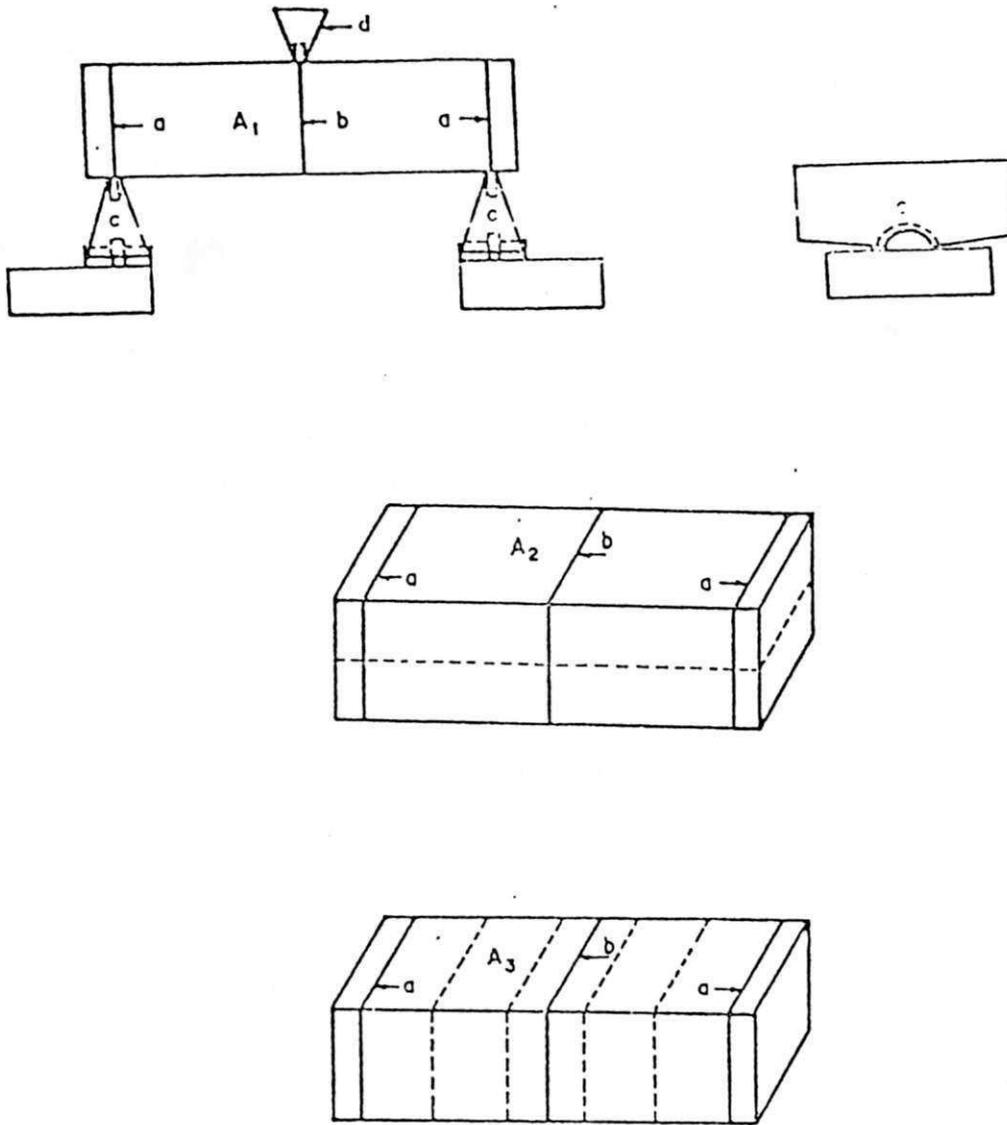
$$\sigma_f = \frac{3}{2} \times \frac{PL}{bd^2}$$

onde: P = força de ruptura, em N;

L = distância as duas linhas extremas traçadas no corpo-de-prova, em cm;

b = largura do corpo-de-prova, em cm;

d = altura do corpo-de-prova, em cm.



$A_1$  = corpo-de-prova na posição de ensaio

$A_2$  = corpo-de-prova para ensaio na posição perpendicular ao plano de corte

$A_3$  = corpo-de-prova para ensaio na posição paralela ao plano de corte

Obs.: As linhas hachuradas representam o plano de corte

a = linhas que delimitam o comprimento

b = linhas centrais

c e d = cutelos de apoio (ação-reação)

Figura 13 – Diagrama da Norma Adotada nos Ensaio

## 6. ANÁLISES E INTERPRETAÇÕES

### 6.1. Geologia

Os quartzitos de Várzea e Junco do Seridó apresentam coloração um pouco diferenciada. Os quartzitos de Várzea apresentam uma coloração creme e cinza, devido a presença da muscovita como principal mineral acessório. Por outro lado, as rochas quartzíticas predominantes do Junco do Seridó possuem cores variadas como vermelho, verde, marrom, creme, cinza, entre outras, determinadas provavelmente pela existência de minerais acessórios como a clorita, sericita, magnetita, hematita, entre outros.

Embora os depósitos de Várzea apresentem pequenas tonalidades de cores, esses jazimentos possuem um grande rendimento no processo de beneficiamento, devido a presença considerável de feldspato na sua composição, o que os torna menos friável que os depósitos do Junco, por essa razão são mais adequados para revestimentos de calçadas.

A qualidade dos quartzitos depende do grau de pureza dos arenitos, dos quais eles se originaram. A degradação física dos quartzitos é influenciada pelas impurezas mineralógicas existentes, que podem afetar a sua durabilidade. Um exemplo clássico é a

presença acentuada de micas observadas nos depósitos estudados que conferem a rocha um estado friável, provocando a separação em lâminas nos planos de clivagem.

Os quartzitos de Várzea e Junco do Seridó apresentam granulação fina, demonstrando um estado de alteração acentuado. Nos depósitos do Junco do Seridó essa granulação fina é mais evidente, e seu estado é mais friável (Figura 14).

Nos depósitos estudados as rochas encontram-se bastante deformadas, observando-se a presença de falhamentos e dobramentos. Nas frentes de lavra as características estruturais são bastantes variadas, em algumas, foi constatada a frequência de veios de quartzo e infiltração de argilas ao longo das fraturas, que podem comprometer o aproveitamento econômico dessas frentes.

Realizou-se um levantamento detalhado das fraturas das minas estudadas com o objetivo de quantificá-las, uma vez que a existência de um número acentuado de fraturas na rocha influencia diretamente o desmonte, provocando a fuga de grande parte da energia resultante da detonação, com desperdício de explosivos, conseqüentemente elevando os custos de lavra e reduzindo os índices de produtividade. As atitudes e as médias dos espaçamentos entre as fraturas nas minas de Várzea e Junco do Seridó estão expressos na Tabela 1.

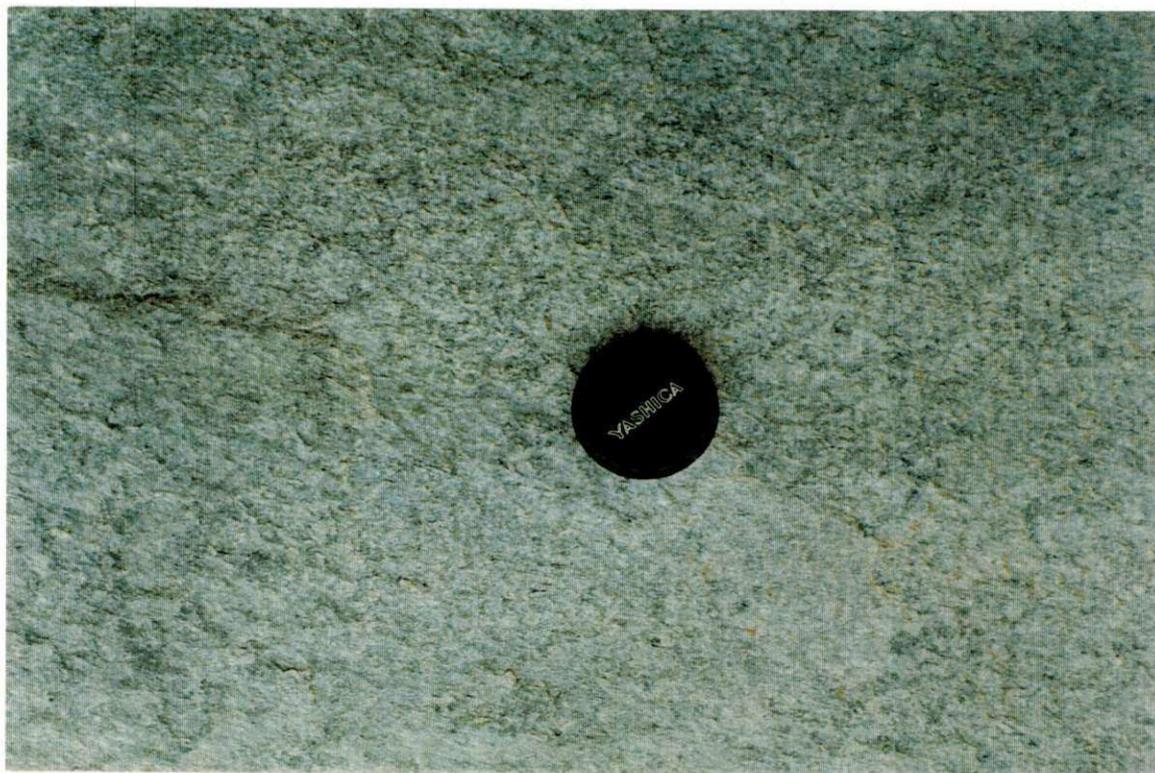


Figura 14— Granulação Fina nos Quartzitos de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba.

Tabela 1 – Azimutes e espaçamentos entre as fraturas nas áreas de Várzea e Junco do Seridó, Paraíba.

MINA	DIREÇÃO DA FRATURA	DIREÇÃO DO MERGULHO	ÂNGULO DE MERGULHO	ESPAÇAMENTO MÉDIA E DESVIO PADRÃO
Magno (Várzea)	310°	40°	85°	$\bar{x} = 10.6 \text{ cm } S = 11.4 \text{ cm}$
	310°	40°	72°	Ausente
	290°	200°	82°	Ausente
	310°	220°	68°	Ausente
	335°	245°	85°	$\bar{x} = 20.0 \text{ cm } S = 18.8 \text{ cm}$
	340°	70°	70°	Ausente
Neto (Várzea)	115°	62°	90°	Ausente
	120°	30°	68°	Ausente
	130°	40°	25°	Ausente
	120°	30°	45°	Ausente
	295°	30°	90°	Ausente
	300°	30°	60°	Ausente
Raífe (Várzea)	330°	55°	85°	Ausente
	330°	240°	60°	Ausente
	290°	200°	82°	Ausente
	320°	230°	32°	Ausente
	0°	E	76°	Ausente
	310°	62°	42°	Ausente
	305°	210°	68°	Ausente
	220°	130°	74°	$\bar{x} = 21.0 \text{ cm } S = 13.4 \text{ cm}$
Juvanil (Várzea)	325°	325°	74°	Ausente
	350°	260°	75°	Ausente
	205°	295°	90°	Ausente
Ipueira (Junco)	80°	170°	63°	Ausente
	310°	220°	59°	Ausente
	42°	132°	86°	Ausente
	340°	250°	59°	Ausente
	15°	132°	75°	Ausente
	54°	0°	90°	Ausente
	325°	0°	90°	Ausente
	25°	0°	25°	Ausente
	45°	135°	79°	Ausente
	10°	135°	55°	Ausente
	50°	0°	78°	Ausente

Nos quartzitos de Junco de Seridó e Várzea foram observadas partições nas lajes que variam de 1,8 a 3,5 cm de espessura. Nas áreas de Várzea, foi detectada uma zona com uma partição muito forte, provavelmente decorrente de um grande falhamento, onde verificou-se a existência de fraturas paralelas a foliação, bem nítidas e intensas, espessadas entre 3 e 4 cm.

Em Várzea, os quartzitos apresentam-se subverticalizados, com uma orientação NE-SW, possivelmente compondo o flanco de uma sinclinal. Por outro lado, de acordo com os levantamentos geológicos existentes, os quartzitos de Junco de Seridó encontram-se em camadas horizontais no núcleo de uma grande faixa anticlinal, com direção E-W, caracterizando um grande dobramento regional.

Nas observações de campo verificou-se a hipótese de que o comportamento estrutural desses depósitos influenciam a sua exploração, ou seja, a disposição subverticalizada e menos dobrada das jazidas de quartzitos de Várzea, propiciam um melhor aproveitamento desses depósitos, com uma maior recuperação e menor desperdício de material (Figura 15).

Nas jazidas de Junco de Seridó observou-se um perfil operacional diferente de Várzea, onde a horizontalidade das camadas de quartzitos dificultava a extração do minério, gerando uma baixa recuperação e conseqüentemente maior acúmulo de rejeito (Figura 16).

A rocha predominante nessas áreas estudadas é o quartzito, e não há nenhum outro tipo de litologia intercalada. A variação na textura e composição do quartzito é muito sutil nas pedreiras, e as características marcantes são fraturas e foliações. Por essa razão optou-se por fazer observações detalhadas de fraturas em cada escavação e, por conseguinte, não sendo necessária a elaboração de um mapa geológico.

Com base no valores mínimos recomendados pela ASTM C 616-95 (Tabela 2), os ensaios de tensão a flexão demonstraram que os quartzitos das pedreiras de Várzea e Junco do Seridó são de boa qualidade, pois os valores médios dos módulos de ruptura (Tabelas 3 e 4), observados nos ensaios com as amostras das pedreiras Magno (Várzea) e Ipueira (Junco do Seridó) estão acima da tensão mínima exigida. Constata-se também que os quartzitos não conservam calor e não retém água.



Figura 15 – Disposição Subverticalizada dos depósitos de Quartzito de Várzea.

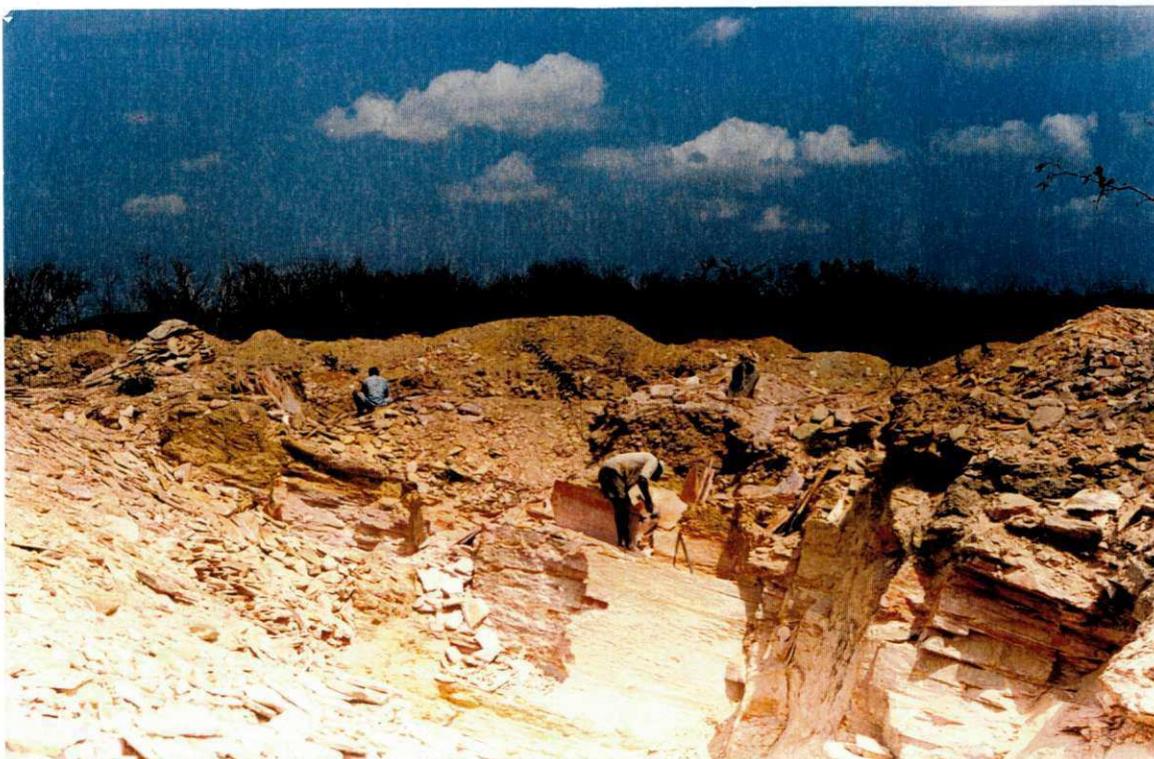


Figura 16 – Disposição Subhorizontal dos Depósitos de Quartzito de Junco do Seridó.

Tabela-2 Requisitos Físicos das Rochas

Propriedades	Rocha	Requisitos para o Teste
<i>Absorção Máx. em %</i>	Arenito	8
	Arenito Quartzítico	3
	Quartzito	1
Força de Compressão Min. em Psi (MPa)	Arenito	125 (2003)
	Arenito Quartzítico	150 (2400)
	Quartzito	160 (2560)
Densidade min. Em Lb/ft <sup>3</sup> (Kg/m <sup>3</sup> )	Arenito	4000 (27.5)
	Arenito Quartzítico	10000 (68.9)
	Quartzito	20000 (137.9)
Módulo de ruptura. min. em Psi (MPa)	Arenito	350 (2.4)
	Arenito Quartzítico	1000 (6.9)
	Quartzito	2000 (13.9)
Resistência a Abrasão	Arenito	2
	Arenito Quartzítico	8
	Quartzito	8

Fonte: ASTM, Designation: C 616 (1995)

Tabela 3 -Ensaio com as Amostras de Quartzitos da Pedreira Magno (Várzea, PB).

CORPO DE PROVA Nº	ESPESSURA MÉDIA (cm)	LARGURA MÉDIA (cm)	CARGA DE RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA	
				(Kgf/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
1	4,8	9,6	1293,0	157,8	15,5
2	4,8	9,9	1240,0	146,8	14,4
3	5,0	10,1	1040,0	111,2	10,9
4	4,9	10,0	1600,0	179,9	17,6
5	5,0	9,9	1520,0	165,8	16,3
Média			1338,6	132,3	14,9
Desvio Padrão			224,8	68,7	2,5

Tabela 4 – Ensaio com as amostras de quartzitos da pedreira Ipueira (Junco do Seridó, PB)

CORPO DE PROVA Nº	ESPESSURA MÉDIA (cm)	ESPESSUR AMÉDIA (cm)	CARGA DE RUPTURA (Kgf)	TENSÃO DE RUPTURA	
				(Kgf/cm <sup>2</sup> )	(MPa)
1	4,9	10,1	1440,0	159,8	15,7
2	5,2	10,1	1820,0	182,5	17,9
3	5,0	10,2	1400,0	152,0	14,9
4	5,4	10,0	1560,0	146,8	14,4
5	5,1	10,2	1440,0	148,4	14,6
Média			1532,0	157,9	15,5
Desvio Padrão			171,81	14,6	1,4

Embora ocorra grande freqüência de foliações (espessura de 2 a 4cm), os quartzitos são bastante resistentes a ruptura. Constata-se que essas rochas apresentam elevado grau de dureza, atingem o ponto sete na escala Mohs, com bastante resistência à abrasão e ao impacto, o que lhes garante uma grande durabilidade.

Nos diagramas estereográficos observa-se uma maior freqüência de fraturas nos depósitos de quartzitos da região de Várzea, que apresentam-se subverticalizados, com direção aproximada de  $312^\circ$ , uma vez que as pedreiras estudadas se localizam no flanco de uma dobra, dotado de um grande número de fraturas com espaçamentos pequenos entre elas (Figura. 17 a). Em Junco do Seridó, os depósitos de quartzitos encontram-se no sentido subhorizontal, paralelos a foliação, fazendo parte da crista de uma dobra, com as fraturas na direção de aproximadamente  $22^\circ$ , por essa razão não há grandes espaçamentos entre as fraturas, as quais ocorrem em várias direções (Figura. 17 b).

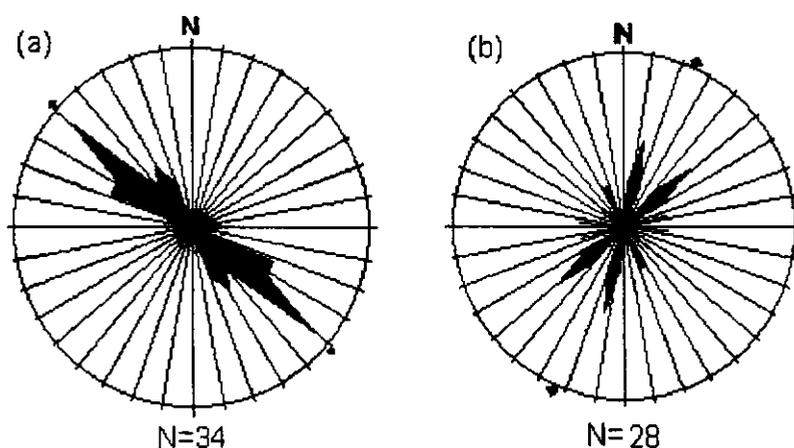


Figura 17 – Diagrama de freqüência de azimutes das fraturas nos quartzitos. (a) Área de Várzea. (b) Área de Junco do Seridó.

## 6.2. Lavra

Após as visitas de campo às minas selecionadas, e entrevistas com os proprietários e garimpeiros, observou-se que, na maioria das minas de quartzito, a lavra era feita a céu aberto, adotando-se um sistema de extração com desmonte manual, e que em poucas frentes de lavra era utilizado explosivos para a divisão da rocha.

As operações de lavra iniciavam-se com o desmatamento da vegetação existente, caatinga aberta e espaçada, e a remoção do capeamento, constituído de solo estéril e rochas alteradas. Concluído o decapeamento, a perfuração e o desmonte eram efetuados mediante um sistema completamente manual ou de um sistema utilizando marteletes pneumáticos e explosivos, conforme já foi mencionado. No sistema manual, a extração direta de grandes placas, ou lajões do maciço rochoso, começava pela perfuração com o uso de marreta e hastes de ferro, para abertura de canais ou furos, aproveitando os planos de clivagem de modo a dividir a rocha em duas partes, uma das quais manuseável, de onde era extraída as placas de quartzitos (Figura 18).

Segundo informações colhidas com os garimpeiros, normalmente um furo manual era feito por dois operários, que gastavam em média dois dias para concluí-lo. Em algumas frentes de lavra o comprimento do furo da bancada chegava até a 2 m com uma 1" de diâmetro.

O sistema de perfuração e desmonte, efetuado com martelos pneumáticos e explosivos (nitrato de amônia), foi observado em poucas frentes de lavra que buscavam uma produtividade maior. Nesses casos eram perfurados em média 4 furos com altura de 2,5 m e diâmetro de 1", com duração média de 40 minutos por furo. Após o desmonte do bloco rochoso, iniciava-se a subdivisão deste em placas ou lajões, usando marretas e talhadeiras. Todo esse material desmontado era carregado e transportado da praça para a superfície com pás manuais e carros de mão. Em seguida, as lajes eram esculpidas até o esquadrejamento final.

O material esquadrejado era distribuído na superfície com dimensões pré estabelecidas e transportado por caminhões até as unidades de beneficiamento, localizadas

estrategicamente nas proximidades das rodovias de modo a facilitar o seu escoamento para o mercado consumidor.

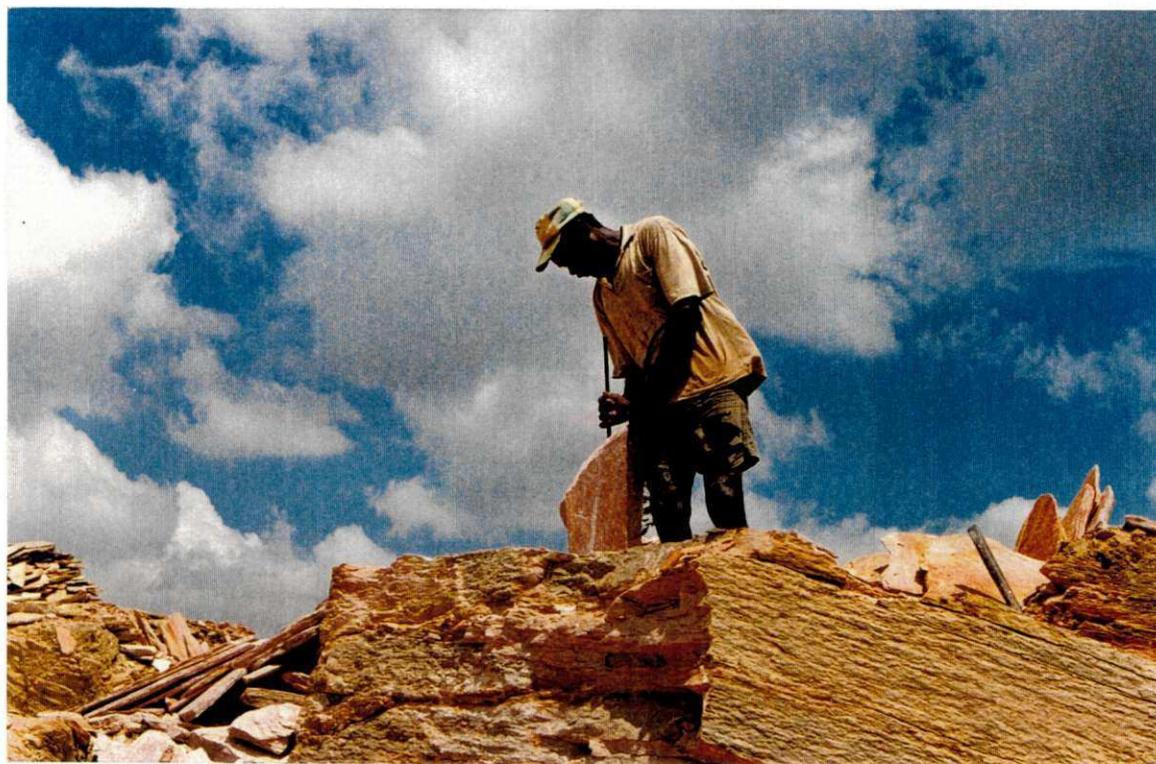


Figura 18 – Exploração das Placas de Quartzitos

Nas áreas estudadas, existem aproximadamente 150 banquetas em atividade, com produção semanal de 40 a 140 m<sup>2</sup> de quartzitos por banqueta. O quartzito era vendido nas banquetas em média por US\$ 2,00/m<sup>2</sup> com um custo de lavra de até US\$ 1,00/m<sup>2</sup>, o que demonstrava uma margem de lucro reduzida, devido a falta de uma tecnologia adequada para a redução dos custos operacionais. O quartzito beneficiado era comercializado em média por US\$ 3,00/ m<sup>2</sup>, nos padrões que variavam de 0.15m x 0.30m, 0.25m x 0.40m, 0.40m x 0.40m, entre outros, de acordo com as necessidades do cliente.

### 6.3. Impactos Ambientais

A mineração, como qualquer outra atividade econômica, provoca impactos sobre o meio ambiente, cuja a preservação e recuperação depende da adoção de técnicas apropriadas para execução de suas operações. A extração de quartzitos na Paraíba ocorre longe dos grandes centros urbanos, em pequenos municípios, situados no interior do Estado, em áreas constituídas de vegetação pobre, com reduzido potencial hídrico e com uma atividade econômica inexpressiva, dependente da mineração.

No caso da exploração do quartzito, verifica-se a existência de impactos ambientais que afetam o ecossistema e a população circunvizinha (Figura 19), sendo necessário o emprego de algumas medidas para minimizar ou eliminar esses danos

Como a região onde ocorre essa atividade tem um baixo potencial hídrico, não observa-se impactos ambientais significativos sobre a água. Da mesma forma, a limitada utilização de martelos e explosivos nos desmontes das frentes de lavra, minimiza os efeitos da poluição do ar, verificando-se apenas a propagação insignificante de partículas sólidas sedimentáveis ou em suspensão no sistema manual de produção de quartzitos.

Entretanto, as precárias condições de trabalho comprometem a segurança no ambiente interno das frentes de lavra provocando uma série de acidentes de trabalho, causados pelo desmoronamento de blocos rochosos.

Os impactos ambientais mais negativos, provocados por esse tipo exploração, foram observados sobre o solo, refletidos na modificação da paisagem, mediante a remoção indiscriminada da vegetação, e a disposição inadequada de um grande volume de rejeitos (Figura 20).

BENEFICIAMENTO	LAVRA						ATIVIDADES DE MINERAÇÃO	PARÂMETROS
	COMINUIÇÃO	TRANSPORTE	SEPARAÇÃO FÍSICA	DEPÓSITO DE REJEITO	SEPARAÇÃO QUÍMICA	LABORATORIOS		
								PH
								SOL. SEDIMENTÁVEIS
								METAIS TÓXICOS
								DBO
								OD
								TURBIDEZ
								COR
								ÓLEOS/GRAXAS
								TEMPERATURA
								NITRATOS/FOSFATOS
								RADIOATIVOS
								VAZÃO/DRENAGEM
								SÓLIDOS SUSPENSÃO
								RUIDO
								VIBRAÇÕES
								POEIRAS
								GASES/FUMOS
								SALINIZAÇÃO
								EROSÃO
								SUBS. TÓXICAS
								MODIF. PAISAGEM
								IMPACTO VISUAL
								ESTABILIDADE
								MIGRAÇÃO FAUNA
								ACIDENTES
								GERAÇÃO DE RENDA
								EMPREGOS
								SAÚDE/HIGIENE
								LAZER/RECREAÇÃO

Figura 19 – Matriz Representativa dos Impactos Ambientais nas Áreas Estudadas

Em consequência da remoção da cobertura vegetal e do solo, foi observado um considerável deslocamento da macrofauna nas áreas mineradas, e a eliminação parcial da microfauna.

Quanto aos aspectos sócio-econômicos, ficou evidenciado a existência de impactos positivos nas áreas mineradas, nas proximidades de Várzea e Junco do Seridó, mediante a geração de aproximadamente 600 empregos diretos e 1500 indiretos, a elevação da receita desses municípios pelo recolhimento de impostos e ampliação do comércio local.



Figura 20 –Degradação Ambiental nas Pedreiras de Quartzitos

## 7. CONCLUSÕES

As estatísticas publicadas no Anuário Mineral Brasileiro de 1997, do DNPM, demonstram que as reservas de quartzitos da Paraíba não são reconhecidas oficialmente, como tal não existe controle, por parte desse Órgão oficial, sobre a produção e a forma de exploração dessa substância mineral, com significativos prejuízos para a economia do Estado e do País.

Um Estado pobre como a Paraíba, onde as suas microrregiões não têm muitas opções econômicas, com a atividade agrícola castigada pela estiagem prolongada, precisa aproveitar melhor as suas riquezas minerais, adotando urgentemente uma política que estimule o desenvolvimento desse setor.

A exploração de quartzito nos municípios de Junco do Seridó e Várzea-PB ocorre de maneira rudimentar e precária resultado das condições econômicas e sociais da região. As minerações são muito pequenas e não dispõem de nenhum tipo de equipamento adequado, principalmente de segurança, e seus funcionários trabalham em condições precárias e sob regime de exploração.

A lavra é executada de maneira desordenada, sem uma seqüência espacial e temporal de operação. Esta é feita por garimpeiros da região, que recebem o mínimo de instrução sobre a mesma. Foi observada uma grande quantidade de rejeito no local, dificultando assim a

extração do quartzito, e aberturas de novas frentes de lavra, já que nas pedreiras não existem equipamentos para transporte do mesmo. Durante a lavra é produzida grande quantidade de rejeito devido a presença de foliação e fratura. O método de extração varia entre áreas estudadas causada pela a disposição de foliação nos quartzitos. A lavra de rochas com foliação marcante e com grande complexidade geológica, como no caso dos quartzitos, requer um investimento e preparação inicial, o que não é possível na região. Como resultado tem-se grande desperdício de rocha e a atividade de mineração de pequeno porte se faz no nível de garimpo.

Os jazimentos de quartzitos de Várzea e Junco do Seridó fazem parte da província estrutural Borborema, uma das mais pesquisadas e estudadas por cientistas e técnicos, essas áreas apresentam uma estrutura geotectônica bastante complexa, repleta de falhamentos e dobramentos.

Partindo-se das questões levantadas nessa pesquisa, chegou se a conclusão que o aproveitamento dos quartzitos, nas banquetas de Várzea e Junco do Seridó, é feito de forma rudimentar, conduzido por pessoas sem os conhecimentos técnicos adequados para executá-lo de forma mais organizada.

Nas áreas mineradas, foi observada uma quantidade significativa de rejeitos, que além de dificultar os trabalhos da frentes de lavra, causavam danos ao meio ambiente provocando mudanças na paisagem e no meio biótico.

A exploração dos quartzitos, influenciou o comportamento e a formação cultural dos habitantes nessas comunidades, observando-se impactos positivos no meio sócio-econômico, mediante a geração de emprego e renda em uma região pobre, castigada pelos efeitos da estiagem.

Assim, com base nos estudos efetuados nessa pesquisa, pode-se sugerir algumas recomendações para otimizar a exploração de quartzitos nas áreas estudadas:

- Desenvolver estudos geológicos aplicados de modo a reavaliar as reservas de quartzitos na Paraíba
- Conscientizar os pequenos produtores ou garimpeiros sobre a necessidade de se organizarem em cooperativas, de modo a estabelecerem o preço dos quartzitos em níveis compatíveis com os custos de produção, trazendo benefícios para melhorar as suas atividades operacionais;

- Desenvolver um amplo programa de formação e treinamento de mão de obra qualificada para trabalharem com extração de rochas ornamentais (especificamente os quartzitos), utilizando o potencial dos centros de tecnologia e pesquisa da região;
- Promover programas de conscientização sobre segurança no trabalho e controle ambiental nas áreas mineradas, de forma a reduzir o número de acidentes nas frentes de lavra e minimizar os danos ambientais causados por essa atividade econômica;
- Realizar pesquisas visando o aproveitamento econômico dos rejeitos gerados nas frentes de lavra e nas usinas de beneficiamento;
- Chamar a atenção das autoridades competentes sobre a vocação minero-industrial da Paraíba e a importância sócio-econômica da exploração organizada das jazidas de quartzitos em micro regiões do Estado;
- Desenvolver uma ação mais efetiva de marketing em feiras nacionais e internacionais da construção civil, mostrando a qualidade e a diversidade dos quartzitos da Paraíba, em especial de Várzea e Junco do Seridó.

## 8. ABSTRACT

The quartzite formations of Paraíba and Rio Grande do Norte states belong to the Equador Formation of Upper Proterozoic. These quartzites are explored and used as building material in the region. The objectives of this research are: to study the exploration of the quartzites in the Junco do Seridó and Várzea regions of Paraíba, considering their geological characteristics; mining methods adopted and; the environmental impacts caused by mining and measures that should be taken for rational use of these rocks. Also in this work it is intended to do the geological and technological characterization of the quartzites. In field studies observations were made about structures, thickness, fracture directions and model of occurrence of quartzites. The texture and structure vary considerably in the rocks. In the Várzea region the foliations in the quartzites tend to be vertical with the thickness varying between 2-3 cm and tend to be highly fractured. In the Junco do Serido region the quartzites have horizontal foliations with 2-3 cm of thickness and fracturing tend to be less. The mining is manual and the mining efficiency varies between pits. The sterile material is piled up around the pit causing strangulation and low mining rate. The extensive vertical foliations in Várzea and extensive horizontal foliations in Junco create serious mining problems in the region. Mechanical tests were conducted to determine the rock resistance to bending or flexion according to the standards established. The mechanical tests showed the quartzites of the region are very resistant with average values of the rupture module were above the minimum values recommended. The rock extraction varies between the mining areas caused by the foliated nature of the quartzites. The mining or extraction of the quartzites with strong foliations, high frequency in the fracture planes and high deformation make mining difficult resulting in considerable loss of rockmaterial. The environmental impact on the soil and the water in the region is minimum and the mining activities result only in damages to the landscape and other geomorphologic features of the region.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, V. N. 1992. Relationship between pegmatite emplacement and tectono-metamorphic events in the Seridó Group, Northeastern Brazil, *Bras. Geoc.*, p.22, 43-6.
- ALBUQUERQUE, J. P. T. Sinopse da geologia da folha seridó. Recife, SUDENE – Div. Geol., 1969. (Série Geologica Regional, 18).
- ALBUQUERQUE, J. P. T., Inventário hidrogeológico básico do nordeste, folha nº 15, Jaguaribe SE. Recife, SUDENE – Div. de Doc. , 1970. (Série Hidrogeologia, 32).
- ALMEIDA, F.F.M. & Hasui, Y. 1984. O pré-cambriano do Brasil. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 378p.
- AMADEI, B.; STEPHANSSON, O. Rock stress and its measurement. Cambridge, University Press/ Chapman & Hall, 1997. 490p.
- Annals of Carnegie Museum, v. 50, p.81-137. 1981.
- BARBOSA, ° Geologia econômica de parte da região do Médio São Francisco, nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM-PFPM, 1970. 97 p.
- BRADY, B. H. G.; BROWN, E. T. Rock mechanics for underground mining. 2<sup>a</sup> ed. Chapman & Hall, 1993. UK. 571p.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Anuário mineral brasileiro, Brasília. 1997.

- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Principais depósitos minerais do Nordeste Oriental, Recife. 1984.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/mapas. Rio de Janeiro, 1981. p. 23.
- BRESSAN Jr., A Brasil 92, perfil ambiental e estratégias. São Paulo, SMA, 1992.
- BRITO NEVES, B. B. de Elementos da geologia precambriana do Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27<sup>o</sup>, Aracaju. Anais. Soc. Bras. Geol., 1973. V. 2, p. 105-134.
- CRANDALL, R. Geografia, geologia, suprimento da água, transporte e açudagem nos estados orientais do norte do Brasil – Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Rio de Janeiro, IFOCS- Serv. Geol., 1910 (Série 1.Publicação, 4)
- DANTAS, J.R.A.; CAÚLA, J.A.L.; NEVES.; B.B.B., PEDROSA, I.L. 1982 Mapa geológico do estado da Paraíba. CDRM- Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba, Campina Grande, PB. 133p.
- EBERTH, H. The precambrian geology of the "Borborema Belt" (States of Paraíba and Rio Grande do Norte, northeastern Brazil) and the origin of its mineral provinces. Geol. Rundschau, Stuttgart, 53 (3): 1292-1326, 1970.
- FERREIRA, J. A. de M. Mapa Geológico da Província Sheelitífera da Borborema . SUDENE/DRN/Geologia. Recife, 1969.
- FORNASARI FILHO, N. et al. Alterações no meio físico decorrente de obras de engenharia. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. (Boletim 61).
- JARDIM DE SÁ, E. F. Evolução tectônica da região do Seridó; síntese preliminar, problemas e implicações. Currais Novos, UFRN, 1978. (inédito).
- JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; CARCEDO F. J. A. Drilling and blasting of rocks. Geomining Technological Institute of Spain. Cap. 16, 17, 18. A A. Balkema. Rotterdam.
- LINS, J. R. P. ; MEDEIROS, A. N. Mapeamento da cobertura vegetal nativa lenhosa do estado da Paraíba. João Pessoa, s. ed., s. d. (Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007).
- MARES, M. A. et al. The mamals of notheastern Brazil: a preliminary assessment.
- MARQUES, Marineide. A importância damineração para a economia do Brasil. Revista Brasil Mineral. Edição extra. p. 7-9. 1993.

- MEDEIROS LIMA, E. et al. Projeto Scheelita do Seridó, relatório final. Recife, DNPM/CPRM, 1980. 5v.
- MEDEIROS LIMA, E. et al. Projeto scheelita do Seridó; relatório final. Recife, DNPM/CPRM, 1979. (Relatório técnico).
- MORAES, L. J. Serras e montanhas do nordeste. 2v. Rio de Janeiro, IFOCS, 1924.
- PARAÍBA. Secretaria da Indústria, Comércio, Turismo, Ciência e Tecnologia. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. Projeto mineral do nordeste. S. 1., CDRM/PB, 1990.
- PARAÍBA. Secretaria da Indústria, Comércio, Turismo, Ciência e Tecnologia. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. Zoneamento minero-industrial do estado da Paraíba. S. 1., CDRM/PB, 1991.
- PARAÍBA. Secretaria de Educação. Atlas geográfico do Estado da Paraíba. João Pessoa, Grafset, 1985. p. 100.
- PARAÍBA. Secretaria de Energia e Recursos Minerais. Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado da Paraíba: texto explicativo. S.L., 1982.
- PONTES, J.C.:(1998). Estudo da fragmentação em desmonte com explosivos na pedreira Queimadas-PEDRAQ, PB. Dissertação de Mestrado, UFPB, 128p.
- SÁNCHEZ, Luiz Enrique. Apesar dos avanços, ainda há exemplos negativos. Revista Brasil mineral. nº 98. p. 12-19. 1992.
- SCORZA, E. P. Província pegmatítica da borborema. Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 1944. 58P. (Bol., 112).
- SICK, H. Ornitologia brasileira: uma introdução. Brasília, editora UNB, 1985. v 1.p.8.
- SILVA, L. A. A. Mecânica de rochas aplicada à mineração II. São Paulo, EPUSP, 1995. 120p. Curso apostilado/
- SIQUEIRA, L. P. de & MARANHÃO, R. J. L. A. Geossinclinal do Seridó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27<sup>o</sup>, Aracaju, 1973. Roteiro das excursões. Soc. Bras. Geol., 1973. Bol. 2, p. 44-6.
- VANZOLINI, P. E. ; RAMOS-COSTA, A. M. M.; VITT, L. J. Répteis das Caatingas. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 1980.

## 10. ANEXOS

### **Anexo A - Legislação Ambiental**

A Política Nacional de Meio Ambiente foi estabelecida através da Lei 6938, de 31 de Agosto de 1981. Essa Lei apresenta todos os fundamentos que estabelecem a proteção ambiental no Brasil, os quais foram regulamentados através de decretos, portarias, normas e resoluções durante a década de 80.

De acordo com Sanchez (1992), a legislação ambiental brasileira não é muito rígida e nem demasiadamente flexível, de um modo geral ela é adequada, e cobre maior parte das necessidades atuais do País. O maior problema é a implementação dessa legislação.

#### **Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**

Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Essa Lei estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, constitui o Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA, cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA e institui o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental. A Lei disciplinou o licenciamento de qualquer atividade modificadora do meio ambiente, físico e social.

#### **Lei Nº 7.347, de 24 de Julho de 1985**

Disciplina a ação civil pública por danos causados ao meio ambiente e dá outras providências, o poluidor poderá ser responsabilizado, através de ação civil, tendo por objeto a condenação em dinheiro ou cumprimento de obrigação de fazer ou não fazer.

**Resolução Conama Nº 001/86, de 23 de Janeiro De 1986.**

Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional Ambiente.

Regulamenta a Lei 6938 e define os empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental, determinando suas regras.

Os principais pontos dessa Resolução, com relação a mineração são:

- Toda atividade mineral é obrigada ao licenciamento ambiental.
- São estabelecidos critérios básicos e diretrizes gerais para elaboração do Estudo Impacto Ambiental-EIA e o respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente-RIMA.

**Resolução CONAMA Nº 006/86, de 24 de Janeiro de 1986**

Aprova os modelos de publicação de pedido de licenciamento em quaisquer de suas modalidades, sua renovação e respectiva concessão e aprova os novos modelos para publicação de licenças.

## **Constituição Federal : Título VIII**

### **Da Ordem Social**

#### **Capítulo VI – Do Meio Ambiente**

No seu artigo 225 estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

No parágrafo segundo desse artigo, “determina que a utilização de recursos minerais deixa o empreendedor obrigado pelo órgão a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da Lei.

#### **Decreto Nº 97.632, de 10 de Abril de 1989**

Dispõe sobre a regulamentação do ARTIGO 2 , inciso VIII da Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

Segundo o referido decreto, os novos empreendimentos no setor mineral deverão apresentar ao órgão ambiental competente o Estudo de Impacto Ambiental–EIA e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental–RIMA, contendo o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas–PRAD, prevendo o uso sequencial da área após o final da atividade de mineração.

**Lei Nº 7.805, de 18 de Julho de 1989**

Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Cria o regime de permissão da lavra garimpeira, extingue o regime de matrícula, e dá outras providências.

Essa Lei estabelece os deveres do permissionário da lavra garimpeira, entres os quais está a obrigação de compatibilizar as operações de lavra com a proteção ambiental, e responder pelos danos causados a terceiros, resultantes dessas operações.

Determina ainda que a criação de área de garimpagem fica condicionada a prévia licença do órgão ambiental competente.

**Decreto Nº 98.812, de 9 de Janeiro de 1990.**

Regulamenta a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, que cria o regime de permissão de lavra garimpeira, e dá outras providências.

Estabelece os órgãos ambientais competentes para o prévio licenciamento ambiental: IBAMA, no caso da atividade causar impacto de âmbito nacional, e órgão estadual, nos demais casos. Quando em áreas urbanas, a permissão de lavra garimpeira dependerá também de assentimento da autoridade administrativa do município de situação do jazimento mineral.

**Portaria do DNPM Nº 26, de 31 de Janeiro de 1990.**

Regulamenta o procedimento de habilitação a outorga da permissão de lavra garimpeira de que trata a Lei nº 7.805, de 18 de junho de 1989.

Exige entre os instrumentos de habilitação, a licença específica do órgão ambiental competente, para a outorga da permissão da lavra garimpeira.

**Resoluções CONAMA Nº 009/90 E 010/90, de 28 de dezembro de 1990.**

Regulam o licenciamento ambiental específico para as atividades de mineração, estabelecendo suas normas e procedimentos.

Estabelece que os empreendimentos, sujeitos ao regime de concessão, apresentem o EIA/RIMA, acompanhado do Plano de Aproveitamento Econômico da Jazida-PAE, na fase de Licença Prévia-LP, concomitante a fase de requerimento de concessão de lavra ao DNPM.

A fase de pesquisa mineral não está sujeita ao licenciamento ambiental, a não ser que haja produção de minério, com o uso de Guia de Utilização.

A Portaria de Lavra para uma jazida está condicionada a obtenção de Licença de Instalação-LI, que é concedida mediante a aprovação do EIA/RIMA, quando são analisados os impactos negativos e positivos identificados, e as propostas de mitigação desses impactos, retratadas através do Plano Controle Ambiental-PCA.

A Licença de Operação é requerida após obtenção da Portaria de Lavra e a implantação dos projetos existentes no PCA.

A critério do órgão ambiental competente as atividades dos empreendimentos de minerais da classe II, de emprego direto na construção civil, e que também estão sujeitas ao licenciamento ambiental, poderão ser dispensadas da apresentação do EIA/RIMA. Nesse caso, deverão apresentar um Relatório de Controle Ambiental-RCA, segundo as diretrizes do órgão ambiental.

**Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.**

Dispõe sobre as punições aqueles que causam danos ao meio ambiente, e dá outras providências.

Essa Lei pune com rigor o poluidor do meio ambiente, classificando como crime a destruição, dano, lesão ou maus tratos aos recursos ambientais.

A pessoa jurídica poderá ser responsabilizada criminalmente e sofrer liquidação forçada na hipótese infringir a legislação ambiental.

As penas tem uniformização e graduação adequadas, com as infrações claramente definidas.

**Decreto-Lei Nº 227, de 28 de fevereiro de 1967.**

Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985 (Código de Minas), de 29 de janeiro de 1940.

- Ficará obrigado o titular da concessão, além das condições gerais que constam deste código, ainda, às seguintes, sob pena de sanções previstas.
- Responder pelos danos e prejuízos a terceiros, que resultem, direta ou indiretamente, da lavra;
- Promover a segurança e a salubridade das habitações existentes no local;
- Evitar poluição do ar, ou da água, que possa resultar dos trabalhos de mineração;

Tomemos as definições contidas no Artigo 3 da Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 da Política Nacional do Meio Ambiente que define, "Para fins previstos nesta Lei entende-se por:

**I) Meio Ambiente** – o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

**II) Degradação da qualidade ambiental** – a alteração adversa das características do meio ambiente;

**III) Poluição**– a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- A) Prejudique a saúde, a segurança eo bem-estar;
- B) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- C) Afetem desfavoravelmente a biota;
- D) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- E) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais

estabelecidos;

**IV) Poluidor**– a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental

**V) Recursos ambientais** – a atmosfera, as águas anteriores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera”.

Bressan Jr. (1992) destaca a Cosntituição Federal de 1988 que “elevou o meio ambiente à condição jurídica de bem de uso comum do povo” a qual “atribui à coletividade e ao próprio poder público o dever de zelar pela sua proteção e preservação.”A Constituição Estadual (Paraíba) também reserva um capítulo ao meio ambiente, baseado na carta magna da União.