



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE/PRODEMA**



**A EXTRAÇÃO DO CAULIM NO MUNICÍPIO DE EQUADOR-  
RN: IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS E SOCIAIS**

**FERNANDA LOURENÇO DA SILVA**

2017  
Natal – RN  
Brasil

**FERNANDA LOURENÇO DA SILVA**

**A EXTRAÇÃO DO CAULIM NO MUNICÍPIO DE EQUADOR-RN:  
IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS E SOCIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: **Prof. Dr. Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Sebastião Milton Pinheiro da Silva**

2017

Natal – RN

Brasil

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Leopoldo Nelson - Centro de Biociências - CB

Silva, Fernanda Lourenço da.

A extração do caulim no município de Equador-RN: implicações ambientais e sociais / Fernanda Lourenço da Silva. - Natal, 2017.

93 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Biociências. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/ PRODEMA.

Orientador: Prof. Dr. Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa.

Coorientador: Prof. Dr. Sebastião Milton Pinheiro da Silva.

1. Degradação ambiental - Dissertação. 2. Mineração de caulim - Dissertação. 3. Semiárido - Dissertação. 4. Sensoriamento remoto - Dissertação. 5. Doenças respiratórias - Dissertação. I. Aloufa, Magdi Ahmed Ibrahim. II. Silva, Sebastião Milton Pinheiro da. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BSCB

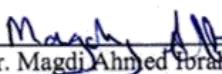
CDU 502/504

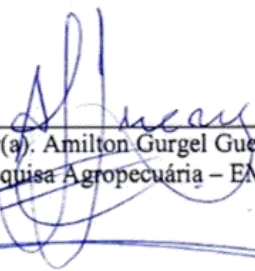
## FERNANDA LOURENÇO DA SILVA

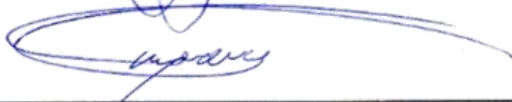
Dissertação submetida ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: **23 de agosto de 2017.**

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

  
\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). Amilton Gurgel Guerra  
Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMPARN

  
\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a). Fernando Moreira da Silva  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

## AGRADECIMENTOS

Ao Criador, por não me permitir desistir diante do novo e me manter preparada para o resultado que vier.

À minha sobrinha Maria Isabela Rocha Lourenço, que aos seus 3 anos de idade me faz esquecer dos problemas e relaxar quando os momentos de tensão aparecem. Minha pequena, espero que um dia, ao ler isto, você saiba que sem nossos momentos de brincadeira e carinho eu não teria conseguido segurar a pressão. Te amo, pequena.

Àqueles que, mesmo sem nem saber o que é um mestrado, estiveram ao meu lado. Minha mãe, Maria de Fátima pelo apoio psicológico e suporte, por me mostrar que a vida não cabe no Lattes. Meu pai, Iranildo Lourenço, que foi companheiro de campo, segurança e motorista, sem ele as idas a campo não teriam ocorrido.

À minha família residente em Equador, Tio Lico e Dona Zefinha, aos meus primos Daniel, Isabel, Cecília e Marisa e em especial meu primo Marcos, que foi meu guia no município, arriscando-se por causa de uma prima que tava mexendo com uma questão tão complicada no município, a degradação ambiental. Enquanto viver não conseguirei agradecer a altura a esse Meu Primo Marcos.

Ao meu, agora, esposo, Jorge Luiz, que me conheceu no meio dessa caminhada e que junto com minha sogra, Helena, me deu colo quando as crises de ansiedade foram frequentes.

Ao professor Magdi, por aceitar orientar-me no programa. Ao professor Sebastião Milton, a quem dedico muita admiração, por toda ajuda, solicitude, paciência, e atenção na correção deste trabalho. Sem sua orientação e suas palavras de ânimo não teria conseguido.

Aos diversos amigos que se fizeram presentes nessa jornada louca e nova da minha vida. Em especial Paula Dorti Peixe, que se tornou uma amiga e referência de pessoa, humanidade, determinação, disposição e alegria. À Cleanto, que dedicou uma parte do seu corrido tempo para me ensinar alguns procedimentos básicos, sempre com muita paciência e boa vontade. À Tomaz, pela ajuda e materiais disponibilizados. A Lia e Brenda por escutarem minhas angústias por tantos dias e por tantas palavras de ânimo a mim proferidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida e que foi muito aproveitada para realização deste trabalho.

“Não é que o semiárido brasileiro seja pobre. Não é culpa do solo, nem tampouco do clima, a culpa é do bicho homem mesmo, que não sabe ver a riqueza desse lugar encantador. A culpa é da má gestão, da má distribuição de renda, do egoísmo de não pensar nos outros seres, da surdez e cegueira propositais, que não nos permite ouvir e ver o clamor da nossa Terra”

Fernanda Lourenço da Silva

## RESUMO

### A extração do Caulim no Município de Equador-RN: Implicações ambientais e sociais.

A problemática que envolve o Semiárido brasileiro vai muito além das questões climáticas e ambientais da região, abrange as esferas econômicas e sociais também. No entanto, essa região é a que apresenta maior vulnerabilidade aos efeitos da desertificação no Brasil, agravadas pelas diversas formas de uso e ocupação do solo. A mineração é uma delas, pois desencadeia uma gama de impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade, dentre esses impactos ambientais destaca-se a alteração da vegetação, a intensificação de processos erosivos, contaminação do solo, da água e do ar; na esfera social, atenta-se para insalubridade das atividades, tanto dos envolvidos diretamente, como da população de entorno das áreas de mineração. No Rio Grande do Norte, o Seridó é a região mais susceptível aos efeitos da desertificação por fatores climáticos, que tem sido agravado pela presença de mineradoras de diversos segmentos. O município de Equador/RN possui o maior polo produtor de Caulim do RN. Esse minério é extremamente versátil na indústria, podendo ser utilizado desde a fabricação de cerâmica branca a tintas. Entretanto, a extração nesse município ocorre de forma desordenada, sem atender aos preceitos do desenvolvimento sustentável. Uma releitura da situação a partir do emprego de tecnologias mais modernas de estudo do ambiente, como o sensoriamento remoto, motivou o presente estudo e, para isto, elegeram-se como objetivos da pesquisa: i) avaliar o comportamento do dossel da vegetação de caatinga em dois anos distintos, considerando o estresse hídrico para cada período analisado, ii) verificar a extensão do desmatamento provocado pela extração mineral do caulim nas encostas e topos das elevações locais e a degradação decorrente da atividade extrativista; e, iii) considerando a insalubridade da atividade, analisar se o padrão de dispersão do material particulado fino proveniente dos processos de extração até o beneficiamento tem afetado a saúde da população urbana. Para atingir os objetivos propostos, foram aplicadas transformações Tasseled Cap (TC) para duas cenas da órbita 215.065, sendo uma de 21/09/2001 (ETM+/LANDSAT 7) e a outra de 13/09/2016 (OLI/LANDSAT 8) a fim de analisar os componentes verdor e brilho da TC e assim verificar as áreas de vegetação fotossinteticamente ativa, as suas extensões em épocas distintas, as áreas de extração e concentração de material particulado proveniente do caulim e os problemas advindos da extração do minério. A TC verdor para o ano de 2001 variou de -0.168 a 0.178, quanto mais próximo de 0,5 indica maior atividade fotossintética da vegetação. Para a cena OLI/LANDSAT 8, de 2016, os valores variam de -0.178 a 0.280, denotando atividade fotossintética maior, embora em termos de extensão areal sua ocorrência seja muito menor. Quanto à TC brilho, os resultados obtidos demonstram a variação de concentração desse tipo de material particulado no solo. No ano de 2001, os valores obtidos variam de 0.113 a 0.867, e quanto mais próximo de 1, maior a presença de material particulado no solo proveniente da atividade mineira e de solo exposto. Na imagem de 2016, o valor varia de 0.052 a 1.391, demonstrando um aumento percentual do material particulado no terreno. Posteriormente, foram selecionados os casos de doenças respiratórias (Broncopneumonia, Bronquite, Asma, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica, Insuficiência Respiratória Aguda, Pneumonia, Pneumoconiose, Silicose, Tumor Pulmonar, Edema Pulmonar e Neoplasia Pulmonar) registrados na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE) no período de 2001 a 2015 para verificar quais dessas doenças são mais frequentes no município. Os dados associados a essas enfermidades foram: Idade do Paciente, bairro que reside e mês que deu entrada no hospital. Esses dados foram organizados em planilhas e passaram por análises descritivas. A pneumonia foi o diagnóstico mais registrado (134 casos), seguido pela broncopneumonia (107) e asma (59). A silicose apresentou apenas dois casos registrados no período em estudo e o diagnóstico pneumoconiose apresentou três casos. As crianças entre 0 e 5 anos são as mais acometidas pelos diagnósticos verificados, uma vez que fatores como o baixo peso ao nascer, a desnutrição, a falta ou curta duração do aleitamento materno, a ausência de imunização, a contaminação do ar doméstico e a baixa renda familiar, à qual está associada a aglomeração de pessoas, torna a criança ainda mais susceptível a essas doenças. Por fim, foi utilizada a análise geoestatística para predizer quais bairros do município de Equador-RN apresentam maior probabilidade de desenvolvimento de doenças respiratórias com base nos dados de vento e de saúde do município entre os anos de 2001 e 2016. A análise geoestatística seguiu os seguintes passos: análise primária dos dados, geração de semivariograma experimental, seleção e ajuste do modelo apropriado, geração da superfície e validação cruzada. Os resultados obtidos para a análise geoestatística permitiu inferir que existe maior probabilidade de ocorrência de doenças respiratórias nos bairros "Alto da Bela Vista" e "Prefeito José Marcelino de Oliveira", áreas ao norte e centro da sede municipal de Equador, em contrapartida à porção periférica desta sede municipal, onde a probabilidade de ocorrência é substancialmente menor. Infere-se que a probabilidade de ocorrência de doenças respiratórias nesses bairros foram maiores devido às acelerações orográficas e interações entre o deslocamento atmosférico e as formações montanhosas sofridas pelos ventos provenientes do Leste e a sua proximidade com município de Junco do Seridó-PB, que apresenta uma atividade extrativista de Caulim ainda maior que Equador.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semiárido, mineração, degradação ambiental, Tasseled Cap, geoestatística, doenças respiratórias.

## ABSTRACT

### **Extraction of Kaolin in the Municipality of Equador-RN: Environmental and social implications.**

The issues surrounding the Brazilian semi-arid region go far beyond the climatic and environmental issues of the region, covering the economic and social spheres as well. However, this region presents the greatest vulnerability to the effects of desertification in Brazil, aggravated by the different forms of land use and occupation. Mining is one of them, since it triggers a range of negative impacts on the environment and society, among these environmental impacts are the alteration of vegetation, intensification of erosive processes, contamination of soil, water and air; In the social sphere, attention is paid to the insalubrity of the activities, both of those directly involved, as well as of the population surrounding the mining areas. In Rio Grande do Norte, Seridó is the region most susceptible to the effects of desertification by climatic factors, which has been aggravated by the presence of mining companies from various segments. The municipality of Equador/RN has the largest producing pole of Kaolin do RN. This ore is extremely versatile in the industry and can be used from the manufacture of white ceramics to paints. However, the extraction in this municipality occurs in a disorderly way, without complying with the precepts of sustainable development. A re-reading of the situation from the use of more modern technologies of environmental study, such as remote sensing, motivated the present study and, for this, it was chosen as research objectives: i) to evaluate the canopy vegetation canopy behavior in two distinct years, considering the water stress for each period analyzed; ii) to verify the extent of deforestation caused by the mineral extraction of kaolin in the slopes and tops of the local elevations and the degradation resulting from the Extractive activity; and, iii) considering the insalubrity of the activity, to analyze if the dispersion pattern of the fine particulate material from the extraction processes to the beneficiation process has affected the health of the urban population. In order to reach the proposed objectives, Tasseled Cap (TC) transformations were applied to two scenes of the 215.065 orbit, one of 09/21/2001 (ETM + / LANDSAT 7) and the other of 13/09/2016 (OLI / LANDSAT 8) in order to analyze the greenness and brightness components of the TC and thus verify the areas of photosynthetically active vegetation, their extensions at different times, the areas of extraction and concentration of particulate matter from kaolin and the problems arising from the extraction of the ore. The greenness TC for the year 2001 ranged from -0.168 to 0.178, the closer to 0.5 indicates greater photosynthetic activity of the vegetation. For OLI / LANDSAT 8 scene, from 2016, the values vary from -0.178 to 0.280, denoting greater photosynthetic activity, although in terms of areal extension its occurrence is much smaller. Regarding the TC gloss, the results show the concentration variation of this type of particulate material in the soil. In the year 2001, the values obtained vary from 0.113 to 0.867, and the closer to 1, the greater the presence of particulate matter in the soil from the mining activity and exposed soil. In the image of 2016, the value varies from 0.052 to 1.391, demonstrating a percentage increase of the particulate material in the terrain. Subsequently, cases of respiratory diseases (Bronchopneumonia, Bronchitis, Asthma, Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Acute Respiratory Insufficiency, Pneumonia, Pneumoconiosis, Silicosis, Pulmonary Tumor, Pulmonary Edema and Pulmonary Neoplasia) were enrolled in the Integrated Maternal and Child Unit of Equador (UMIIE) in the period from 2001 to 2015 to verify which of these diseases are most frequent in the municipality. The data associated to these diseases were: Patient's age, neighborhood residing, and month admitted to the hospital. These data were organized in spreadsheets and underwent descriptive analysis. Pneumonia was the most commonly diagnosed (134 cases), followed by bronchopneumonia (107) and asthma (59). Silicosis presented only two cases recorded in the study period and the pneumoconiosis diagnosis presented three cases. Children between 0 and 5 years old are the most affected by the diagnoses, since factors such as low birth weight, malnutrition, lack or short duration of breastfeeding, absence of immunization, contamination of domestic air and low family income, to which the agglomeration of people is associated, makes the child even more susceptible to these diseases. Finally, geostatistical analysis was used to predict which districts in the municipality of Equador-RN are more likely to develop respiratory diseases based on wind and health data from the municipality between 2001 and 2016. The geostatistical analysis followed the following steps: primary analysis of the data, generation of experimental semivariogram, selection and adjustment of the appropriate model, surface generation and cross validation. The results obtained for the geostatistical analysis allowed us to infer that there is a greater probability of occurrence of respiratory diseases in the "Alto da Bela Vista" and "Prefeito José Marcelino de Oliveira" districts, areas to the north and center of the municipal headquarters of Equador, in exchange for the portion periphery of this municipal seat, where the probability of occurrence is substantially lower. It is inferred that the probability of occurrence of respiratory diseases in these districts was higher due to the orographic accelerations and interactions between the atmospheric displacement and the mountain formations suffered by the easterly winds and its proximity to the municipality of Junco do Seridó-PB, which presents an extractive activity of Kaolin still greater than Equador.

**KEYWORDS:** Semi-arid, mining, environmental degradation, Tasseled Cap, geostatistics, respiratory diseases.

## LISTA DE FIGURAS

### Introdução geral e revisão da literatura

<b>Figura 1</b> - Áreas susceptíveis à desertificação e área de incidência de secas .....	04
<b>Figura 2</b> - Núcleos de desertificação do Seridó – PB/RN (% Cobertura Vegetal – 2015) .....	08
<b>Figura 3</b> - Banqueta para extração de Caulim no município de Equador/RN .....	09
<b>Figura 4</b> - Influência dos bens minerais na economia nacional em 2014 .....	11
<b>Figura 5</b> - Curvas espectrais de diferentes alvos .....	16
<b>Figura 6</b> - Partes componentes de um sistema sensor .....	17
<b>Figura 7</b> - Processo de beneficiamento de caulim realizado em uma indústria de Equador/RN .....	21
<b>Figura 8</b> - Estrutura básica dos dados TM .....	23
<b>Figura 9</b> - Formato típico do gráfico TC com a localização espectral de algumas classes de alvos .....	24
<b>Figura 10</b> - Transporte de caulim .....	27

### Caracterização geral da área de estudo

<b>Figura 11</b> - Localização do Município de Equador/RN .....	29
<b>Figura 12</b> - Mapa Geológico do Município de Equador .....	29
<b>Figura 13</b> - Lavra subterrânea do Caulim .....	32
<b>Figura 14</b> - Carretel artesanal e iluminação através de velas dentro da mina .....	34
<b>Figura 15</b> - a) Depósito de rejeito próximo a indústria de mineração, mostrando área a ser preparada para receber mais resíduos; b) e c) Rejeito de caulim depositado na vegetação; d) Aspecto da vegetação em torno da zona urbana de Equador, próximo a pequena empresa de beneficiamento .....	35

### Material e Metodologia

<b>Figura 16</b> - Fluxograma da análise Geoestatística .....	41
---	----

### Capítulo 1 - Tasseled Cap aplicado aos estudos ambientais no município de Equador/RN.

<b>Figura 1</b> - Mapa de Verdor e brilho dos anos de 2001 e 2016 do Município de Equador .....	47
<b>Figura 2</b> - Município de Equador. a) Vegetação arborizada no alto da Serra das Queimadas; b) Exploração de caulim na porção sul da Serra das Queimadas; c) Município de Equador; d) Vegetação da porção sudeste e curso d'água; e) Vegetação da porção nordeste e curso d'água .....	48
<b>Figura 3</b> - Classificação por fatiamento do Verdor e Brilho nos anos de 2001 e 2016 do município de Equador .....	49
<b>Figura 4</b> - a) Áreas desmatadas para exploração do Caulim; b) Minas abandonas, .....	50

algumas soterradas com lixo urbano; c) Deposição do Rejeito de Caulim após o beneficiamento .....	
<b>Figura 5</b> - Áreas abandonadas de cultivos agrícolas .....	50
 <b>Capítulo 2 – Levantamento das doenças respiratórias na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador/RN, entre os anos de 2001 e 2016.</b>	
<b>Figura 1</b> - Garimpeiros trabalhando na extração do caulim em minas .....	61
 <b>Capítulo 3 – Análise de casos de doenças respiratórias no município de Equador/RN: uma abordagem geoestatística.</b>	
<b>Figura 1</b> - Localização da área de estudo .....	67
<b>Figura 2</b> - Fluxograma da análise Geoestatística .....	68
<b>Figura 3</b> - Gráfico QQplot, com plotagem dos dados amostrados .....	69
<b>Figura 4</b> - Gráfico QQplot, com plotagem dos dados amostrados .....	69
<b>Figura 5</b> - Superfície geoestatística aplicada sobre Limites dos Bairros da Sede Municipal de Equador/RN .....	70

## LISTA DE TABELAS

### Metodologia Geral

TABELA 1 – LANDSAT 7 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância .....	38
TABELA 2 – LANDSAT 8 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância .....	38
TABELA 3 – LANDSAT 5 parâmetros para o cálculo da reflectância espectral ...	39
TABELA 4 – LANDSAT 8 fatores para o cálculo da reflectância espectral .....	39
TABELA 5 - Coeficientes Tasseled Cap para ETM <sup>+</sup> /LANDSAT 7 .....	40
TABELA 6. Coeficientes Tasseled Cap para o sensor LANDSAT OLI/LANDSAT 8 .....	40

### Capítulo 1 - Tasseled Cap aplicado ao estudo da vegetação no município de Equador/RN.

TABELA 1 - Informações das imagens orbitais .....	45
TABELA 2 - Coeficientes <i>Brightness</i> e <i>Greenness</i> das cenas LANDSAT 7 ETM <sup>+</sup> .....	46
TABELA 3 - Coeficientes <i>Brightness</i> e <i>Greenness</i> das cenas LANDSAT 8 OLI	46
TABELA 4 - Dados pluviométricos dos quatro anos que antecedem os anos de estudo .....	46
TABELA 5 - Resultados obtidos de verdor e brilho da Transformação Tasseled Cap .....	46

### Capítulo 2 – Levantamento das doenças respiratórias na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador/RN, entre os anos de 2001 e 2016.

TABELA 1 - Porcentagem de diagnósticos pela idade dos pacientes .....	60
---	----

### Capítulo 3 – Análise de casos de doenças respiratórias no município de Equador/RN: uma abordagem geoestatística.

TABELA 1 - Frequência de ocorrência do vento por direção na estação meteorológica do Seridó para o período de 2001 a 2016 .....	71
---	----

## SUMÁRIO

<b>Introdução geral</b> .....	01
<b>Revisão da literatura</b> .....	11
<b>Caracterização geral da área de estudo</b> .....	28
<b>Metodologia geral</b> .....	36
<b>CAPÍTULO 1 – Tasseled Cap aplicado ao estudo da vegetação no município de Equador/RN.</b>	43
Resumo / Abstract .....	43
Introdução .....	44
Metodologia .....	45
Resultados e discussão.....	46
Conclusões .....	51
Referências Bibliográficas .....	51
<b>CAPÍTULO 2 – Levantamento das doenças respiratórias na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador/RN, entre os anos de 2001 e 2016.</b>	54
Resumo .....	54
Abstract .....	55
Introdução .....	55
Metodologia .....	57
Resultados e discussão.....	57
Conclusões .....	62
Referências bibliográficas .....	62
<b>CAPÍTULO 3 – Análise de casos de doenças respiratórias no município do equador/RN: uma abordagem geoestatística.</b>	65
Resumo / abstract .....	65
Introdução .....	66
Metodologia .....	67
Resultados e discussão.....	68
Conclusões .....	71
Referências bibliográficas .....	72
<b>Considerações Finais</b> .....	74
<b>Referências</b> .....	75
<b>Anexos</b> .....	82

## INTRODUÇÃO GERAL

O relevo local de uma determinada região pode ser alterado a partir de diversas atividades antrópicas de uso e ocupação do solo. Determinadas práticas, tais como mineração, agricultura, pecuária e expansão imobiliária tendem a deixar os solos degradados alterando o relevo local das regiões onde as transformações são realizadas. Como aponta Marques (2001):

Os relevos constituem os pisos sobre os quais se fixam as populações humanas e são desenvolvidas suas atividades, derivando daí valores econômicos e sociais que lhes são atribuídos. Em função de suas características e dos processos que sobre elas atuam, oferecem, para as populações, tipos e níveis de benefícios ou riscos dos mais variados. Suas maiores ou menores estabilidades decorrem, ainda, de suas tendências evolutivas e das interferências que podem sofrer dos demais componentes ambientais ou da ação do homem.

O entendimento na dinâmica do relevo local se faz importante para diagnosticar os danos ambientais, assim como gerar conhecimentos, que poderão servir de subsídios, principalmente, às esferas governamentais, para prognosticar a ocorrência de danos, evitá-los e propor ações de recuperação das áreas degradadas (Araújo, 2009).

A atividade humana interfere em diversos componentes da terra, tais como: a atmosfera, a vegetação, o solo e a água. Essa interação - homem x componente da terra - traz uma série de efeitos danosos no equilíbrio dos ecossistemas, tais como a redução ou destruição de hábitat, afugentamento da fauna, morte de espécimes da fauna e da flora terrestres e aquáticas, incluindo eventuais espécies em extinção, interrupção de corredores de fluxos gênicos e de movimentação da biota (Mechi e Sanches, 2010), entre tantos outros. Freeland (2005) enfatiza que vidas humanas têm sido perdidas, devido aos graves danos ambientais causados pelo mau uso da terra.

Todas as formas de alteração da paisagem causam impactos ao ambiente, em sua maioria, impactos negativos. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – Brasil CONAMA (BRASIL, 1986) impacto ambiental:

é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.

Quando essas alterações ocorrem no solo, propiciando a perda de componentes bióticos e abióticos, pode-se inferir que já existe um grau de degradação. Conforme Kendall e

Pimentel (1994) leva-se de duzentos a mil anos para formar 2,5 cm de solo, logo, a reversibilidade da condição degradada para condição restaurada é mais difícil de ser atingida, pois os processos de formação e regeneração do solo são muito lentos (Araújo, 2009).

A erosão do solo é forma mais conhecida de degradação e pode ser definida como a remoção e o transporte de materiais meteorizados (Florenzano, 2008). Além desta, a deterioração química – perda dos nutrientes, salinização na camada superior, acidificação e contaminação proveniente de diversas origens – e física – compactação do sol, elevação do lençol freático até a zona radicular das plantas e rebaixamento da superfície da terra – tendem a promover a formação de áreas degradadas.

Áreas degradadas podem ser definidas como extensões naturais que sofreram distúrbios, perdendo sua Capacidade de produção, podendo não recuperar suas funções ecossistêmicas (Moreira, 2004). Essas formas de degradação levam ou intensificam o processo de formação de zonas desertificadas.

A Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015 define, desertificação como:

a degradação da terra, nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores (condições naturais originais que tornam os ambientes mais frágeis susceptíveis a diversos processos de degradação) e vetores (forças que atuam sobre o ambiente e a sociedade, incluindo interferências humanas diretas e desastres naturais cuja ocorrência seja agravada pela ação antrópica), incluindo as variações climáticas e as atividades humana (BRASIL, 2015).

A desertificação é um processo lento que reduz a Capacidade produtiva do solo, sendo potencializado durante períodos prolongados de seca, o que pode ser verificado nos registros de mortes, pela falta de água, de espécimes vegetais resistentes à escassez de chuvas (Medeiros, 2008).

O Instituto Nacional do Semiárido (INSA) constata em seus estudos que no Brasil o espaço geográfico mais vulnerável aos efeitos da desertificação é a região Semiárida. Esta envolve 1.133 municípios, abriga uma população de 22.581.687 habitantes e corresponde a 982.563.30 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). É caracterizada pelas elevadas médias anuais de temperatura (27 °C) e evaporação (2.000 mm), com precipitações pluviométricas concentradas em três a cinco meses e irregularmente distribuídas no tempo e no espaço (Brasil, 2005).

A Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro define três critérios para que uma região seja considerada Semiárida (Brasil, 2005):

- i) A precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- ii) O índice de aridez, que deve ser de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico, que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- iii) O risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Os municípios que integram a região semiárida possuem benefícios assegurados em norma constitucional explícita. Pelo menos 50% dos recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste - FNE devem ser aplicados no financiamento de atividades produtivas dos municípios (Brasil, 2005a).

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos de Seca (PAN-Brasil), coordenado, em 2004, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) concebeu um documento correspondente aos macro-objetivos do governo federal, com base em quatro eixos, definidos com: i) Combate à Pobreza e à Desigualdade; ii) Ampliação Sustentável da Capacidade Produtiva; iii) Preservação, Conservação e Manejo Sustentável de Recursos Naturais; e iv) Gestão Democrática e Fortalecimento Institucional.

O documento ressalta as dimensões e os fatores responsáveis pelo processo de desertificação, aponta os espaços mais afetados pelas secas recorrentes na região Nordeste e define a Área Suscetível à Desertificação (ASD) e suas características (CGEE, 2016). Essas áreas formalmente não se enquadram no padrão climático considerado susceptível à desertificação, a razão de serem incluídas justifica-se pelo fato de apresentarem características comuns às áreas semiáridas e subúmidas secas. Elas também apresentam elevada ocorrência de secas e enclaves de vegetação típica do semiárido brasileiro que é a Caatinga (Brasil, 2007).

As ASD brasileiras compreendem 1.344.766,64 aproximadamente 15% do território nacional, abrangendo 1.491 municípios em nove Estados da região Nordeste, no norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo (CGEE, 2016). Apesar das ASD merecerem atenção, o processo de desertificação é mais atenuado nas áreas denominadas “miolo semiárido”. Carvalho e colaboradores (1973) verificaram que nesses espaços as secas são bem mais intensas, ocorrendo na faixa de frequência entre 81 e 100%, ali está o coração do semiárido, tal como mostrado no Mapa de Incidência de Secas (Figura 1).



Figura 1. Áreas susceptíveis à desertificação e área de incidência de secas. Fontes: CARVALHO et al. Plano Integrado para o combate preventivo dos efeitos das secas no Nordeste. Brasília, MINTER, 1973, p. 85.

Essas áreas apresentam certa homogeneidade física. Nelas, os solos são relativamente mais pobres do que nas demais zonas geoeconômicas do Nordeste, como a Zona da Mata, a Zona do Agreste ou os Cerrados da Bahia, Piauí e Maranhão. A precipitação pluviométrica nas áreas semiáridas situa-se, de fato, nos limites de 400 a 700 ou 800 mm de chuvas anuais (Carvalho & Oliveira, 2006 in: MMA, 2007 p. 22).

O Rio Grande do Norte possui área total de 52.811,126 km<sup>2</sup>, e destes, 98,42% está incluída nas ASD. Apresenta o maior percentual de áreas degradadas, quando comparadas aos outros estados da ASD, totalizando 6.689,14 km<sup>2</sup> de áreas fortemente degradadas, equivalendo a 12,87% da sua área mapeada (CGEE, 2016). Dados do IBGE (2010), apontam que cerca de 8,8% da população potiguar reside em ASD. A renda *per Capita* do Rio Grande do Norte nas ADS, em 2010, era de R\$ 545,42 (PNUD, 2013), correspondendo a 68,70% da média brasileira, que foi de R\$793,87 no mesmo ano.

O CGEE (CGEE,2016), sintetizou as principais informações sobre a ASD no Brasil de acordo com dados dos Planos de Ações Estaduais de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE), e para o Rio Grande do Norte apurou que:

Conforme o PAE/RN, o Estado apresenta 159 municípios incluídos na ASD. Na área referida, o nível de degradação é mais intenso no Núcleo de Desertificação do Seridó (municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador e Parelhas). Segundo se afirma no PAE, a localização do Núcleo corresponde ao Centro do Polígono das Secas (CGEE, 2016).

O semiárido potiguar apresenta os seguintes Domínios Naturais: Depressão Sertaneja, Tabuleiros e Colinas pré-litorâneas, Planaltos Sedimentares e Planície Litorânea. No entanto, a área de estudo – a ser descrita – encontra-se no domínio “Depressão Sertaneja”, que possui como características naturais predominantes:

Depressão interplanáltica semiárida (100 e 400 m de altitude) em rochas do embasamento cristalino, com superfícies pediplanadas nas porções centro-norte da Região, envolvendo os Sertões do Ceará, Rio Grande do Norte, da Paraíba, de Pernambuco e Alagoas. Rede hidrográfica muito densa, com rios intermitentes sazonais e com baixo poder de entalhe. Solos rasos com associações variadas e revestidos por caatingas que ostentam padrões fisionômicos e florísticos diversificados e com enclaves dispersos de cerrados e de matas úmidas. (CGEE, 2016).

Os principais problemas ambientais desse Domínio Natural também foram observados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2016): Regime pluviométrico muito irregular e com secas recorrentes; taxas elevadas de evaporação e de evapotranspiração com balanço hídrico deficitário; baixo potencial de recursos hídricos superficiais e subterrâneos; solos rasos e pedregosos; biodiversidade muito degradada; alta vulnerabilidade à expansão da desertificação em função de processos erosivos muito ativos.

As recorrentes secas produzem impactos negativos sobre as atividades humanas, tanto em termos ambientais, quanto econômicos e sociais. Tais impactos são mais agudos em

função do ainda baixo grau de desenvolvimento das forças produtivas naqueles espaços (Carvalho & Egler, 2003) - solos relativamente mais pobres. Arelado a isso, a população residente nessa área apresenta alta dependência da Caatinga para sua subsistência (Perez-Marin, 2012), aumentando a pressão sobre os recursos naturais desse bioma e, conseqüentemente, gerando inúmeros impactos ambientais e sociais.

Diversos autores, (Sampaio et al., 2003; Dubeux jr et al., 2005; Perez-Marin et al., 2012; Cordeiro, 2000; Leal et al., 2005), relacionam os processos promotores da desertificação, dentre eles: desmatamento; substituição da vegetação nativa por outras de ciclo de vida diferentes e/ou por pastos herbáceos ou culturas de ciclo curto; cultivo continuado de produtos agrícolas sem reposição de nutrientes – Perda da fertilidade; salinização do solo; uso de maquinário pesado – compactação do solo; e, processos erosivos.

A salinização e a compactação do solo tipificam áreas degradadas, e tendem a desencadear processos erosivos, que ao longo dos anos tem provocado redução da área agricultável, baixo rendimento das culturas e assoreamento de rios e reservatórios, com graves prejuízos à produtividade, à integridade do meio ambiente e à rentabilidade do agricultor (PEREZ-MARIN et al., 2012).

O desmatamento diminui a biomassa e, conseqüentemente, a redução da Capacidade de absorção de água pelo solo (Pacheco et al., 2014). Sem a cobertura vegetal o solo torna-se mais vulnerável a erosão e, exposto a luz solar há um aumento no albedo da superfície, oxidando a matéria orgânica, a morte dos microorganismos pelas altas temperaturas, diminuindo a fertilidade do solo e levando a perda do horizonte superficial (Barbosa et al., 2007).

Sampaio et al. (2003), atentam para o fato de que o sistema de produção vigente é o principal responsável pela perda de recursos naturais do semiárido, e conseqüentemente de degradação da Caatinga.

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2010), a caatinga é a vegetação predominante no semiárido brasileiro, e ocupa uma área de 844.453 km<sup>2</sup>, cerca de 10% do território nacional. Sua paisagem é marcada por um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas (savana estépica), que cobre a maior parte dos estados da região Nordeste e a parte nordeste do estado de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha (Leal et al., 2005). Seus atributos climáticos, hidrológicos e ecológicos condicionam seu ambiente natural como também as formas de ocupação humana (Botelho, 2010).

O clima, muito quente e sazonalmente seco, tem fortes reflexos sobre a hidrologia, o mundo orgânico e a sociedade sertaneja. A grande

variabilidade de deflúvios é decorrente das irregularidades interanuais nas chuvas e produz efeitos muitas vezes catastróficos, que se manifestam tanto por secas prolongadas como por inundações. A região também está sujeita a elevadas taxas de evaporação [...] que tornam os solos potencialmente vulneráveis aos processos de salinização. [...] O clima árido deu origem a solos com horizontes superficiais pouco espessos, com baixos teores de matéria orgânica. Apesar das características “adversas”, sua fauna e flora são bastante ricas e adaptadas a estas condições, haja vista as expressivas taxas de endemismo (Botelho, 2010).

Quando comparado aos outros biomas brasileiros, percebe-se que a caatinga é pouco estudada, talvez devido ao desconhecimento de suas potencialidades e peculiaridades. Ainda conforme Botelho (2010), a caatinga é um dos biomas brasileiros mais alterados pela ação antrópica, estima-se que cerca de 39% de sua área encontra-se antropizada, estando atrás apenas dos biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Há evidências de degradação ambiental em quase todas as partes do semiárido brasileiro e, em alguns locais, as alterações antrópicas são tão marcantes que formaram-se grandes Núcleos de Desertificação (Vasconcelos Sobrinho, 1971). Baseados nos estudos desse autor, o BRASIL (1998) identificou quatro áreas caracterizadas como de alto risco à desertificação conhecidas como Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB e RN) e Cabrobó (PE).

foi constatado que o fator antropogênico para a intensa degradação, de uma maneira geral, foi a substituição da caatinga por práticas de agricultura, pecuária e retirada de madeira para produção de lenha e carvão. Alguns fatores associados foram a mineração e a extração de argila de solos aluviais. Entretanto, sabe-se que o grau do impacto antropogênico nesses quatro núcleos é variável, pois as naturezas geomorfológica, pedológica e climática também são relevantes e, muitas vezes, distintas (MMA, 1998).

Em 2014, o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) incluiu mais dois núcleos, contabilizando atualmente seis núcleos de desertificação no Semiárido Brasileiro: 1º Cabrobó (PE), 2º Gilbués (PI), 3º Inhamus (CE), 4º Irauçuba (CE), 5º Jaguaribe (CE) e 6º Seridó (PB e RN), com 59 municípios inseridos no perímetro. Em geral, esses Núcleos são áreas com grandes manchas desnudas, presença ou não de cobertura vegetal rasteira e sinais claros de erosão do solo (Brasil, 2015).

A região de estudo deste trabalho está inserida no Núcleo de Desertificação do Seridó, portanto os demais núcleos não serão aqui investigados. Está localizado no centro do “Polígono das Secas”, em parte dos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba (Figura 2), região fitogeográfica do Seridó. O Núcleo abrange os municípios de Currais Novos, Cruzeta, Equador, Carnaúba do Dantas, Acari, Parelhas, Caicó, Jardim do Seridó, Ouro Branco,

Santana do Seridó, São José do Sabugi, Serra Negra do Norte, São João do Sabugi, Timbaúba dos Batistas, Jardim de Piranhas, São Fernando, São José do Seridó e Ipueira no RN, e na PB, Várzea, Santa Luzia, São Mamede, Salgadinho, Junco do Seridó, Juazeirinho, Tenório, São Vicente do Seridó, Cubati, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Baraúna, Picuí e Frei Martinho. A desertificação neste núcleo está relacionada particularmente a fatores climáticos, processos pedogenéticos e intervenções antrópicas.

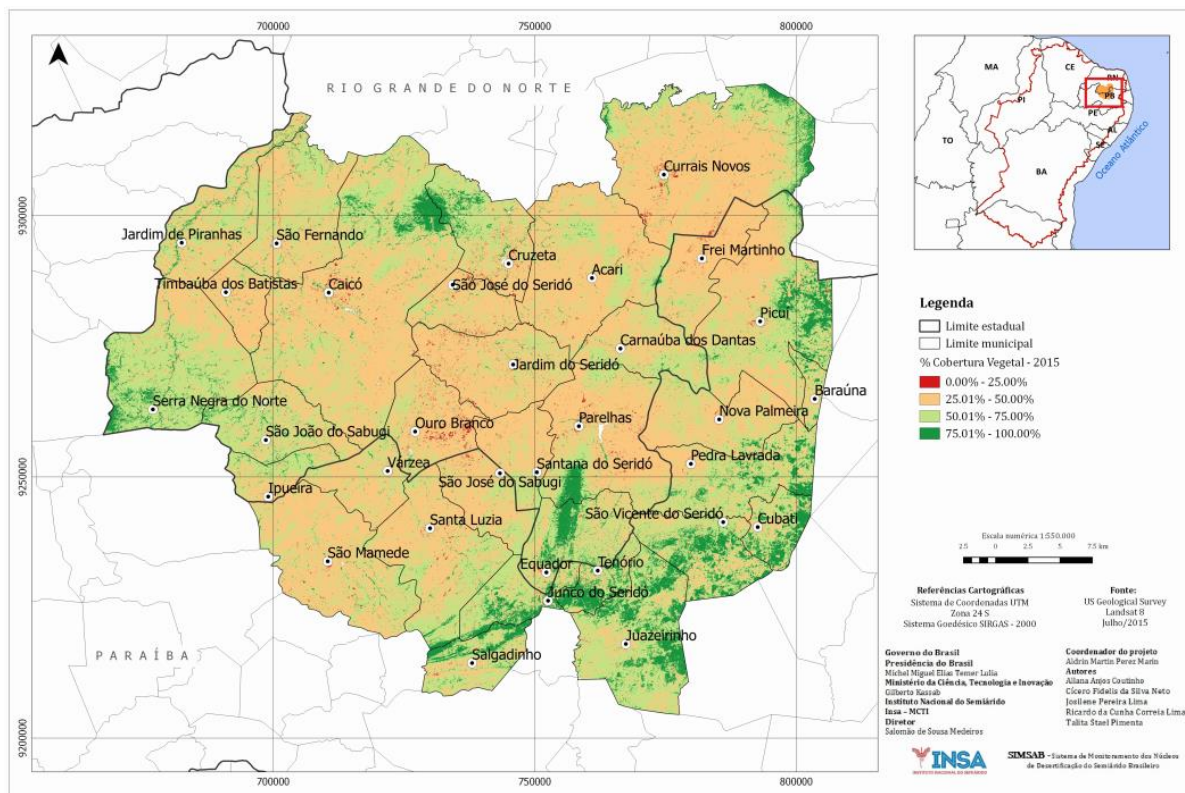


Figura 2. Núcleos de desertificação do Seridó – PB/RN, (% Cobertura Vegetal – 2015).

Fonte: INSA – MCTI, 2015.

O Núcleo de Desertificação do Seridó é caracterizado por solos rasos e pedregosos, topografia acidentada, clima semiárido, com médias de precipitação entre 300 e 800 mm, altas temperatura e baixa umidade, elevada evapotranspiração potencial; a vegetação é hiperxerófila arbóreo arbustiva esparsa (Lucena, 2016). As intervenções antrópicas nesse núcleo estão relacionadas com o corte da vegetação para lenha, utilização na indústria ceramista e pecuária extensiva. Na atividade cerâmica, grandes quantidades de argila são retiradas dos neossolos flúvicos, deixando crateras desiguais à amostra, imprestáveis para a agricultura (Sampaio *et al.*, 2003). A pecuária extensiva, por sua vez, leva a um consumo de toda a vegetação herbácea deixando o solo descoberto ainda mais tempo nas épocas secas e, quando no início das chuvas, ficando plenamente exposto à erosão pelas chuvas de grande

intensidade (Perez-Marin, 2012). Observa-se também na porção SSE desse núcleo intensa atividade mineradora para extração de caulim (Figura 3).



Figura 3. Banqueta para extração de Caulim no município de Equador/RN. Fonte: Registros da autora.

Sabe-se que as intervenções antrópicas não alteram apenas a paisagem natural, mas também modificam a forma que o homem se relaciona com os componentes naturais ao seu redor. Diversas são as atividades promotoras dessa modificação, dentre elas pode-se destacar a mineração, que contribui de forma decisiva para o bem estar e melhoria da qualidade de vida das gerações presentes e futuras. No entanto, esse tipo de atividade extrativista desencadeia uma gama de impactos negativos ao meio ambiente, entre os mais visíveis estão, o desmatamento com perda de fauna e flora, exposição e degradação dos solos e poluição do ar com particulados diversos. Além desses, pode-se destacar os problemas de cunho social, como conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, transtornos ao tráfego urbano (Farias, 2002) bem como, afetam a saúde da população e trabalhadores do ramo que, geralmente, trabalham em condições insalubres.

Portanto, se faz necessário que as atividades de extração mineral sejam baseadas nos preceitos do desenvolvimento sustentável, assumindo-se o caráter finito dos recursos naturais, bem como a sua conservação, preservação e restauração para a manutenção da diversidade biológica, da vida humana e do próprio crescimento econômico. A definição mais aceita e utilizada de desenvolvimento sustentável foi sugerida pela ex-primeira-ministra norueguesa Gro Harlen Brundtland em 1987, integrante da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e

Desenvolvimento (CMMAD), criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental.

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro (Brundtland, 1987).

Ao tentar incorporar essa definição em qualquer que seja a atividade, espera-se, - mesmo que utopicamente - que uma determinada sociedade se desenvolva igualitariamente, promovendo o crescimento, não apenas quantitativo, do ponto de vista econômico, mas também qualitativo, garantindo qualidade de vida para as presentes e futuras gerações.

Não há como tratar de degradação e/ou desertificação sem considerar a influência da sociedade sobre o meio ambiente. Em seu livro “*O Saber Ambiental*”, Enrique Leff (2001) atenta que a superexploração dos recursos naturais, a desestruturação do entorno ecológico, o dessecamento dos lençóis freáticos, a sucção dos recursos hídricos, a saturação do ar e a acumulação de lixo são alimentados pelos processos humanos. O autor nos condiciona a pensar no confronto existente entre duas racionalidades: *Capitalista X ambiental* e como podemos solucionar questões pertinentes que envolvem o homem - a capacidade de destruição, de entropia, de degradação dos ecossistemas e da maioria da população - e o meio ambiente - caracterizado por sua complexidade, inter-relações sistêmicas, científicas, econômicas, sociais e políticas.

Ou seja, há um confronto de valores e potenciais, onde a racionalidade ambiental é o efeito de um conjunto de interesses e práticas sociais que dão sentido e organizam processos sociais através de certas regras, meios e fins socialmente construídos (Leff, 2001). A partir dessas racionalidades descritas por Leff, podemos entender os confrontos físicos e cognitivos existente entre a sociedade e o meio ambiente, nos permitindo pensar socioambientalmente, ou seja, o pensamento do pesquisador não pode ser voltado apenas para uma esfera isoladamente, deve-se tratar ambiente e sociedade como um conjunto complexo de interações, onde um afeta diretamente o outro, como enfatiza Morin (1980), que a relação homem x natureza deve ser compreendida tendo em vista a noção de ecossistema, ou seja, como uma complexa rede que está constantemente interligada, e que uma depende da outra para manutenção da vida.

## REVISÃO DA LITERATURA

### *Mineração no Brasil*

O Brasil apresenta um alto potencial na mineração devido a grande diversidade de terrenos e formações geológicas em toda sua extensão, conferindo-lhe uma grande diversidade de minérios.

Segundo o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), em o Brasil conquistou posição de destaque no cenário global:

[...] tanto em reservas quanto em produção mineral, atingiu o valor de US\$ 40 bilhões, o que representou cerca de 5% do PIB Industrial do país. No Comércio Exterior, a indústria extrativa mineral contribuiu com mais de US\$ 34 bilhões em exportações de minérios [...]. Significativos investimentos precederam tal produção de bens minerais, os quais, para dar continuidade à exploração e ao aproveitamento de novos depósitos minerais, são estimados em US\$ 53,6 bilhões no período 2014/2018. (IBRAM, 2015)

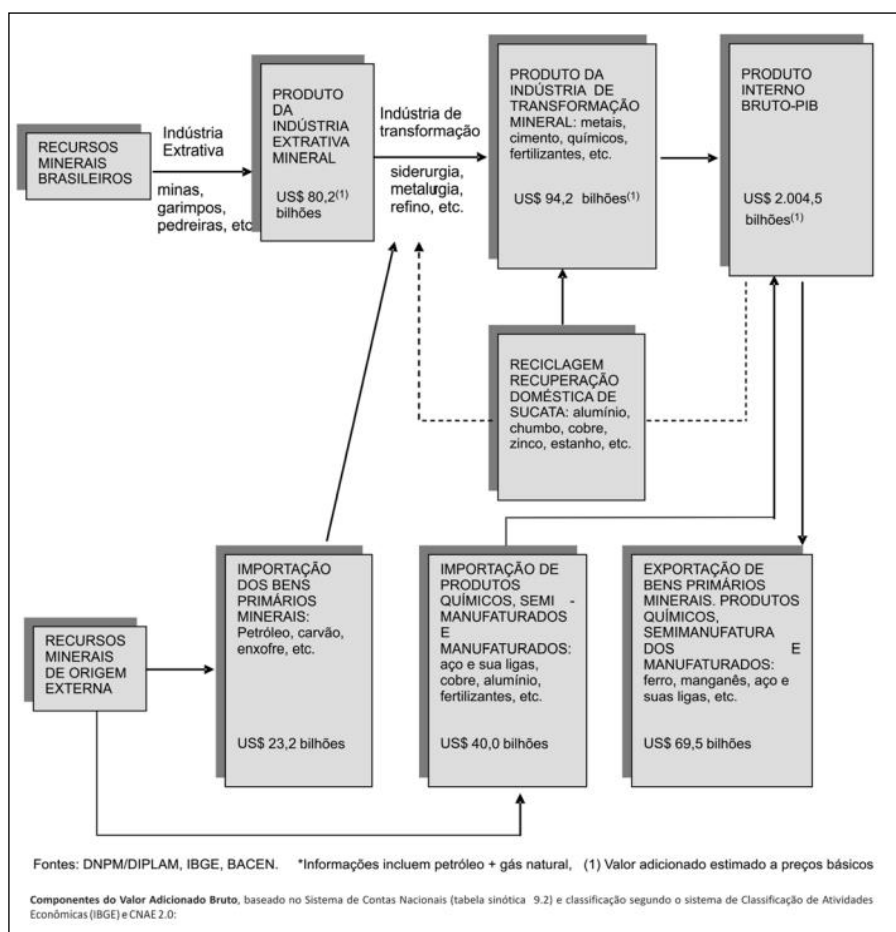


Figura 4. Influência dos bens minerais na economia nacional em 2014. Fonte: DNPM, 2015.

O Sumário Mineral de 2015, elaborado pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) ano base 2014, apresenta um fluxograma que mostra a influência dos bens minerais na economia nacional (Figura 4).

As informações incluem petróleo e gás natural e quando referido à Indústria Extrativa Mineral, as atividades referem-se à extração de carvão mineral e de minérios não metálicos; extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio; extração de minério de ferro, inclusive beneficiamento e aglomeração; e extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamento. Em relação à Indústria de Transformação Mineral, as atividades são referentes a fabricação de bebidas; refino de petróleo e coquearias; fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros; fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos; fabricação de produtos de borracha e de material plástico, fabricação de produtos minerais não metálicos; produção de ferro gusa/ferroligas, siderúrgicas e tubos de aço sem costura; e metalurgia de metais não ferrosos.

Em Julho/2015, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 2015), o setor Extrativo Mineral era responsável por 214.070 empregos diretos. O Informe Mineral 2º/2015, produzido pela Diretoria de Planejamento e de Desenvolvimento da Mineração do DNPM, mostra que o Índice da Produção Mineral (IPM) do país, que mede a variação na quantidade produzida de minérios, apresentou crescimento de 6,3% no segundo semestre de 2015 quando comparado a igual período do ano anterior. Embora tenha havido esse acréscimo, i) o indicador da produção industrial recuou 8,3% de janeiro a dezembro de 2015, comparativamente ao mesmo período do ano anterior; ii) o valor médio da Utilização da Capacidade Instalada (UCI) das substâncias minerais selecionadas para o cálculo do IPM foi 77,7%, o que representa um decréscimo de 7,5% em relação ao segundo semestre de 2014; iii) as exportações apresentaram uma diminuição de 29,8% em relação ao segundo semestre de 2014, enquanto o saldo comercial caiu 35,6% no mesmo período, e iv) as importações sofreram uma queda de 12,2%.

O DNPM explica que, apesar das quedas no setor, de forma geral, o comportamento do setor mineral brasileiro foi positivo com aumento do IPM de 6,3% (DNPM, 2015). Este comportamento foi alcançado, sobretudo, em função do aumento na quantidade produzida do minério de ferro, cobre, níquel e alumínio, além do cromo. Além disso, esse aumento foi influenciado pela otimização nas operações industriais, tais como reprogramação de sequenciamento de minas, redução de prazos de reformas de equipamentos e aumentos de Capacidade produtiva.

Ainda segundo o DNPM (2015), as quedas da produção no final de ano foram influenciadas, devido aos fatores econômicos, tais como menor demanda, redução de preços

das commodities e aumento de custos de produção atuaram na redução da produção mineral no semestre. Além dos fatores operacionais, tais como paradas de manutenção de equipamentos, não confirmação de teores/recursos geológicos e atrasos de frentes de lavra, além do desastre ambiental de Mariana-MG, também contribuíram como fatores negativos.

Quanto ao mercado de trabalho, apesar da redução de empregos diretos, o setor de extração mineral agrega um estoque de 830.929 trabalhadores e a extração mineral gera um efeito multiplicador de 3,6 postos de trabalho sobre a indústria de transformação mineral. Com relação ao salário médio do trabalhador durante os meses do 2º semestre de 2015, verifica-se que todos os grupos de atividades da mineração tiveram remuneração acima da média brasileira - R\$ 1.386,91. (DNPM, 2015)

Apesar de sua inquestionável importância econômica há diversos impactos socioambientais advindos da mineração que se contrapõem aos conceitos e meios de promover o desenvolvimento econômico com preservação ambiental. O Semiárido brasileiro é exemplo de como a ação humana está alterando o meio ambiente, devido à extração de seus recursos naturais de forma desordenada e com pouco esforço de recuperação, considerando, entre os principais deles, o desmatamento da Caatinga e a extração mineral.

Dentre as atividades de mineração na região semiárida, destaca-se a exploração do Caulim. O caulim é um material argiloso, com baixo teor de ferro, cor branca ou quase branca (Luz, 2005). Os depósitos da Região Nordeste e sul-sudeste são predominantemente primários, originados de pegmatitos e granitos, tem como principal constituinte a caulinita, um argilo-mineral pertencente ao grupo dos filossilicatos, de composição química teórica de 39,54% de  $Al_2O_3$ , 46,54% de  $SiO_2$  e 13,96% de  $H_2O$ , que devido às suas características de alvura e granulometria é utilizada, principalmente, na indústria de papel (*coating* e *filler*) e, secundariamente, na indústria química e cerâmica branca, cimento, pisos e revestimentos, refratários, isolante elétrico e construção civil (Luz, 2005).

Os dados do Sumário Mineral 2015 apontam que o Brasil importou 23,6 mil t de bens primários de caulim em 2014, o principal item importado foi “pias e lavatórios de porcelanas” - com cerca de 14,2 mil toneladas, sendo o produto que mais despendeu recursos, com US\$ 15,8 milhões. O valor total de compra foi de US\$49,6 milhões, sendo responsável por 44,5% do valor transacionado, movimentando US\$ 39,72 milhões. O caulim foi produto primário que mais foi importado pelo Brasil despendendo US\$ 8,5 milhões. Os principais países que exportaram o caulim para o Brasil foram: para os bens primários - Estados Unidos (83%), Reino Unido (7%), Barbados (3%), China (2%) e Alemanha (2%); para os bens manufaturados - China (82%), Colômbia (9%), Hong Kong (3%), Malásia (3%) e Índia (1%) (DNPM, 2015).

Os principais países de destino das exportações de bens primário de caulim foram: Bélgica (34%), Estados Unidos (26%), Canadá (15%), Finlândia (10%) e Itália (6%). Em relação ao caulim manufaturado, os principais destinos foram: Paraguai (18%), Estados Unidos (14%), Bolívia (13%), Argentina (12%) e Angola (11%) (DNPM, 2015).

No mercado interno, existem duas principais formas de aplicação, uma é para a fabricação de cimento e outra para a utilização na indústria de cerâmica branca (DNPM, 2010). Essas características fazem do caulim um bem mineral extremamente versátil e importante para a economia do país.

No Semiárido, a atividade de mineração é realizada em larga escala utilizando máquinas retroescavadeiras que abrem enormes galerias de extração mineral, notadamente nas encostas e topo de morros e elevações de destaque na topografia regional, e pode contar com a participação de garimpeiros informais que repassam o caulim bruto para as indústrias de beneficiamento. Dessa forma, a extração se torna o principal responsável pela modificação da paisagem natural, associada à deposição inadequada nas áreas de mata do rejeito gerado nos processos de beneficiamento do caulim. A poluição ambiental aérea por particulados e por deposição ao longo das vias de transporte em caminhões se estende por todos os trajetos considerados até os locais de armazenagem e beneficiamento. Embora a cadeia produtiva do caulim gere trabalho e renda, a extração rudimentar coloca em risco também a saúde e a segurança dos trabalhadores.

A partir dessa problemática, as duas racionalidades propostas por Leff (Capitalista X ambiental) são postas em xeque. Existe uma necessidade de mudança paradigmática da ciência e da organização social, para tanto a busca da compreensão dos (des)caminhos que o meio ambiente vem sofrendo ao longo da história que acaba refletindo sobre a problemática que esta posta para os movimentos ecológicos (Gonçalves, 1989). Morin (1980) propõe que a natureza, sociedade e homem podem ser pensados conjuntamente e suas implicações mútuas podem ser enxergadas. Porém, as intervenções humanas ignoram a profundidade das variações ecológicas que elas produzem. O pensamento conjunto torna-se muitas vezes utópico, devido à complexidade em ressignificar esses três elementos (natureza, sociedade e homem).

### *Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas*

Podemos entender modificações ocorridas em determinadas regiões de interesse a partir da utilização de diversas técnicas e metodologias. No meio físico, por exemplo, o entendimento de uso da terra ao longo do tempo pode mostrar a intensidade e a forma como a

organização social local (um município, por exemplo) influencia a natureza. Além disso, o conhecimento sobre o uso da terra ganha relevo pela necessidade de garantir sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas e trazidas à tona no debate sobre o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2013).

A supressão vegetal e a caracterização de áreas degradadas podem ser determinadas por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR). O manual técnico de uso da terra aponta que dados de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas e imagens de satélite, podem ser correlacionados com a cobertura da terra e usados para mapear o tema. (IBGE, 2013)

Porém, é necessário atentar que a utilização de sistemas sensores não registram as atividades de uso da terra diretamente, mas características da superfície da terra que retratam o revestimento do solo; as atividades de uso da terra correlacionadas à cobertura precisam ser interpretadas a partir de modelos, tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das atividades e localização no terreno (IBGE, 2013). Faz-se necessário que as imagens coletadas pelos sensores passem por técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Além disso, dados suplementares como o conhecimento de dados históricos, sociais e econômicos do local poderão ser correlacionados com os resultados de cobertura da terra, a fim de se ter a compreensão da natureza a partir da interação do meio ambiental com o meio social.

Meneses e Almeida (2012) definem Sensoriamento Remoto como uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto. No entanto, para se compreender intrinsecamente o SR é de fundamental importância o entendimento da interação que ocorre entre a Radiação Eletromagnética (REM) e os diferentes alvos dos quais se pretende extrair as informações. Para o caso do SR na superfície terrestre, esses alvos incluem os diferentes recursos naturais como a água, os solos, rochas e a vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2010).

Com base nisso, conceitua-se SR como:

Uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. (Meneses e Almeida, 2010). Estas imagens são adquiridas através de aparelhos denominados sensores remotos, que são colocados a bordo de aeronaves ou de satélites de sensoriamento remoto - também chamados de satélites observação da Terra. Um sensor a bordo do satélite gera um produto de sensoriamento remoto denominado de imagem (Rudorff, 2007).

Entende-se por REM a radiação eletromagnética ou energia radiante que se desloca através do vácuo, não necessitando de um meio físico para se propagar. A REM que se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, é, ao mesmo tempo, uma forma de onda e uma

forma de energia (Meneses e Almeida, 2012). Esses autores enfatizam a importância do entendimento dessas formas de propagação da REM, pois ao se analisar qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos alvos. Os modelos que explicam esse comportamento da REM são denominados ondulatório (onda) e corpuscular (energia).

O modelo ondulatório explica que uma partícula carregada eletricamente começa a vibrar e forma em torno de si um campo elétrico e um campo magnético, passando, então, a emitir energia radiante ou Radiação Eletromagnética (REM) (Silva, 2007). Já no modelo corpuscular, proposto por Planck e Einstein, a energia se propaga pela emissão de um fluxo de fótons. A energia de ambos os modelos se movem a velocidade da luz no vácuo ( $3.108 \text{ m/s}$ ).

A quantificação da energia de interação entre a REM e os alvos da superfície pode ser realizada através de técnicas de sensoriamento remoto:

A radiação eletromagnética ao interagir com os alvos da superfície terrestre pode ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. [...] Conhecendo o comportamento espectral da radiação refletida e/ou emitida de diferentes alvos da superfície terrestre, é possível identificar alvos semelhantes, em outros locais, baseado apenas nas semelhanças do comportamento espectral (Moreira, 2001).

Cada alvo possui uma assinatura espectral, ou seja, a reflectância de um objeto varia de acordo com comprimento de onda (Steffen, 2008). Assim, a partir dessa variação, cada alvo possuirá uma resposta diferente na faixa do espectro eletromagnético. Na Figura 5, pode-se observar o comportamento espectral de alguns alvos da superfície. A partir da resposta espectral de cada alvo determina-se, por exemplo, qual a melhor composição de bandas de imagens de satélites a serem utilizadas no Processamento Digital da Imagem.

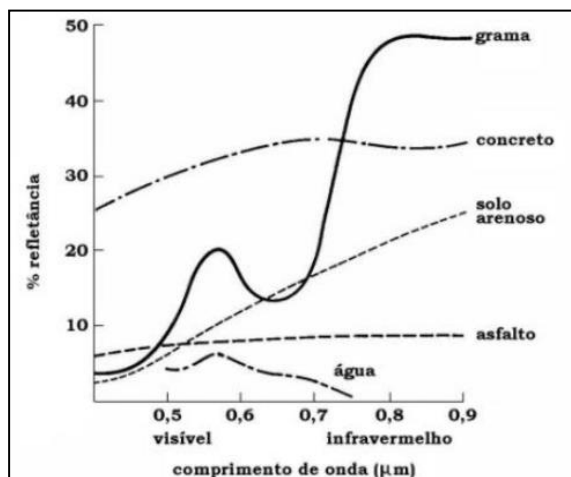


Figura 5. Curvas espectrais de diferentes alvos. Fonte: Moreira, 2001.

Steffen (2008) explica que “quando a radiação interage com um objeto, pode ser refletida, absorvida ou mesmo transmitida (no caso de objetos transparentes)”. Em geral a parte absorvida é transformada em calor ou em algum outro tipo de energia e a parte refletida se espalha pelo espaço. O fator que mede a Capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua reflectância, enquanto que a Capacidade de absorver energia radiante é indicada pela sua absorbância e, da mesma forma, a Capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua transmitância. Certamente um objeto escuro e opaco tem um valor baixo para a reflectância, alto para a absorbância e nulo para a transmitância. A reflectância, absorbância e a transmitância costumam ser expressas em porcentagem (ou por um número entre 0 e 1).”

Moreira apresenta um esquema simplificado, porém didático da constituição básica de um sistema sensor (Figura 6):

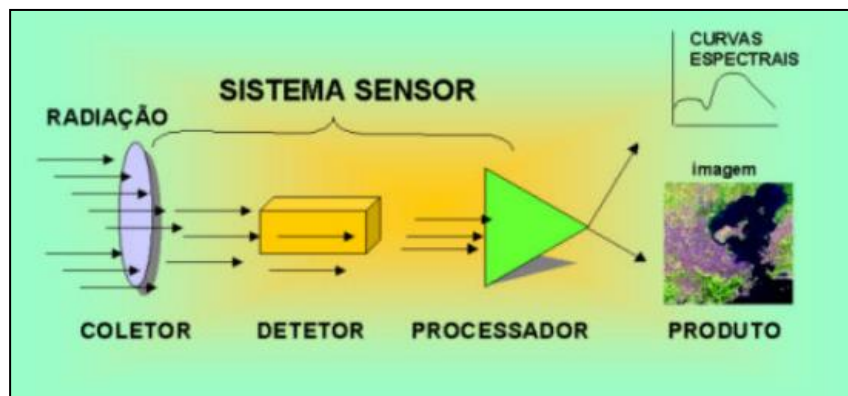


Figura 6. Partes componentes de um sistema sensor. Fonte: Moreira, 2001.

A atividade de SR está relacionada com um conjunto de técnicas de aquisição, processamento e análise de dados coletados por sensores remotos.

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de Tabelas (Moreira, 2001).

As imagens de sensores a bordo de satélites podem fornecer dados quantitativos que permitem o monitoramento e a quantificação da extensão da vegetação (Fonseca *et al.*, 2006).

Os diferentes alvos em SR podem ser estudados a partir da aquisição de imagens de satélites. Porém, trabalhos com imagens devem ser precedidos de uma série de procedimentos chamados de tratamento, que consistem prioritariamente da correção geométrica, e da identificação de padrões característicos das imagens para melhor visualização humana, além

da correção atmosférica da imagem (Abreu e Coutinho, 2014), uma vez que a radiação eletromagnética (REM) sofre atenuações pelos processos de espalhamento e absorção seletivos ao se propagar na atmosfera até chegar à superfície da Terra (Jensen, 2009).

Após a correção e calibração dos dados das imagens pode-se então processá-las para fins de realce e de extração de informações. Ou seja, a imagem será então manipulada em um programa de PDI, de modo que a entrada e a saída do processo sejam novas imagens com melhor aspecto visual das feições espaciais e espectrais para o analista humano interpretá-la. Atualmente, muitos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs incorporam técnicas e recursos variados de PDI.

Um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias é o potencial de um SIG em facilitar a produção de novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal Capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial e estudos de impacto ambiental, casos em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos (Prado, 2004).

O tutorial de geoprocessamento fornecido pelo INPE nos manuais do SPRING define SIG como um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies. Dangermond (1992) conceitua esses sistemas como um conjunto de hardware, software e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas.

Ainda segundo esse manual, o SIG é caracterizado por i) Integrar numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; ii) Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas. iii) Utilizado como ferramenta para produção de mapas; iv) Oferece suporte para análise espacial de fenômenos; e v) Permite a criação de banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Dentre os programas originariamente utilizados para tratamento de imagens podemos citar os softwares pagos eCognition, ENVI, ERDAS Imagine, PCI Geomatics, Microimages, os gratuitos SITIM/INPE, e, da mesma forma, como softwares SIGs pagos, ArcGIS/ARCMAP, os gratuitos, e mais recentes, Quantum Gis (Qgis), SPRING/INPE, gvSIG e TERRAVIEW/INPE. Para este estudo, o ArcGis 10.3 com licença para estudante foi escolhido para tratamento e análises das imagens trabalhadas.

Considera-se o Processamento Digital de Imagens (PDI) como a manipulação de uma imagem por computador de modo que a saída do processo seja, também, imagens, a fim de melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996). Contudo, extrair informação de imagens envolve o reconhecimento de objetos ou padrões, portanto requer grande Capacidade de cognição por parte do intérprete, devido à complexidade dos processos envolvidos e à falta de algoritmos computacionais precisos o bastante para realizá-lo de forma automática. O intérprete deve realizar levantamentos em campo, para reconhecer a área estudada, considerando suas principais características ambientais, sociais e até econômicas.

O processamento de imagens é configurado por algoritmos especializados, que disponibiliza para o usuário a aplicação de uma grande variedade de técnicas de processamento. Os algoritmos tratam matematicamente a imagem como um dado diretamente relacionado ao processo físico que o criou. Porém, a representação e o processamento matemático da imagem não é 100% a representação do mundo real. Por isso, sempre caberá ao usuário e não apenas ao computador, a análise e a interpretação dos dados contidos na imagem (Meneses e Almeida, 2012).

Para se chegar ao produto final, é necessário que as imagens passem por um pré-processamento, que consiste em corrigir preliminarmente os erros que os dados originais possam apresentar, melhorando a qualidade visual da cena. Nessa etapa aplicam-se a calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e atmosféricas. Esses processamentos evitam que imperfeições sejam realçadas em processamentos subsequentes, como as transformações de realces espectrais (Meneses e Almeida, 2012).

Após essa primeira etapa, as imagens corrigidas devem ser classificadas, ou seja, submetidas ao processo de extração de informações, a fim de reconhecer padrões e objetos homogêneos, permitindo assim mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse (Prado, 2004). Finalmente, com o objetivo de uniformizar as classes encontradas, pode-se ainda eliminar pontos isolados que foram classificados diferentemente de sua vizinhança, tornando a imagem classificada com aparência menos ruidosa, tornando sua apresentação e interpretação mais fáceis.

Para o presente estudo, foram feitas a reprojeção das cenas para o sistema SIRGAS 2000, a calibração dos dados para se obter a reflectância ao satélite (aparente) e o cálculo das TCs para os dois anos considerados. Em seguida, fez-se mapeamento das classes utilizando como base os dados coletados em campo, em termos de vegetação densa, vegetação esparsa, água e áreas de ocorrência de caulim.

Para o mapeamento, fez-se a vetorização de polígonos nos *rasters* de brilho e de verdor, indicando as áreas de atividade fotossintética mais alta ou mais baixa, ou indicando áreas onde a presença de material particulado era evidentemente alta, baseadas nas observações de campo. Desse modo, constatou-se a eficácia da aplicação da técnica da transformação TC e sua correlação com a verdade terrestre.

As imagens orbitais são essenciais na elaboração de zoneamentos, indicadores de sustentabilidade e competitividade, mapeamentos e monitoramentos do uso e da cobertura das terras (EMBRAPA, 2013). O uso de técnicas de sensoriamento remoto que resultem em dados precisos contribui significativamente para a obtenção de informações úteis a diversas áreas do conhecimento, principalmente para a área ambiental (Eduardo, 2013).

A missão Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT) é a mais utilizada para a análise do meio ambiente em escala regional, uma vez que sua primeira missão foi lançada na década de 1970, e, portanto, possui um acervo considerável de arquivos nas mais diversas áreas de aplicação, como mapeamentos temáticos diversos, na área de recursos naturais, agricultura, silvicultura, pedologia, queimadas, proteção e conservação da natureza, monitoramento ambiental, poluição e mapas de uso e cobertura das terras, atualização de mapas e dados cartográficos, mapas de aptidão agrícola das terras, identificação de áreas irrigadas, mudanças climáticas (EMBRAPA, 2013).

As cenas captadas por sensores embarcados em satélites são divididos em bandas específicas que captam o comportamento dos alvos na cena de forma fragmentada. Cada banda é responsável por captar a assinatura espectral do alvo. As imagens *raster* provenientes desses sensores são disponibilizadas em formato matricial, ou seja, são formadas por pixels, de 30 x 30 m, sendo assim sua resolução espacial de 30 m. Alguns produtos LANDSAT, também estão disponíveis com resolução espacial de 15 m, como, por exemplo, a banda 8 pancromática do OLI/LANDSAT 8.

As cenas LANDSAT são obtidas através do registro da radiação eletromagnética proveniente dos alvos, e que por sua vez sofrem com efeitos atmosféricos de atenuação, e falhas do sensor, entre outros. Essas alterações nas cenas ocasionam a redução dos reais valores que deveriam ser registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem (Zullo Jr., 1994). Eduardo atenta para:

O conhecimento das condições da atmosfera no momento da aquisição das imagens é de elevada importância para que a correção atmosférica resulte em dados precisos, já que permitem um melhor embasamento físico nas correções. Com esses dados aplicados a modelos matemáticos, é possível recuperar o percurso da radiação e reconstruir as características espectrais da superfície terrestre. (Eduardo, 2013)

Os valores espectrais atrelados a cada pixel da imagem devem ser corrigidas de acordo com os dados presentes em seus arquivos metadados (.MTL), estes possuem parâmetros de configuração das cenas LANDSAT, que permitem tratar as imagens, retirando quaisquer ruídos que possua, reconstruindo as características espectrais da superfície terrestre.

No tocante a estudos sobre a vegetação por SR é imprescindível voltar a atenção para uma série de variáveis, tais como: i) A escala de trabalho, ou seja, partes da planta, toda a planta, um conjunto de plantas e vários conjuntos de plantas espacialmente distribuídos; ii) O ambiente em que se encontram as plantas; iii) A época do ano, devido às condições de iluminação e disponibilidade hídrica; e iv) Os tipos e parâmetros das imagens utilizadas, conforme atesta Novo (2010).

### *Beneficiamento do Caulim*

Até chegar às diversas indústrias que utilizam esse minério tão versátil como matéria prima, o caulim, após a extração, passa pelo processo de beneficiamento, que consiste basicamente na desagregação através de misturadores, desareamento e peneiramento, estocagem em tanque de decantação e filtragem em filtro prensa. Esses processos são realizados, pois o caulim é uma rocha formada por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita, e contém outras substâncias sob forma de impurezas como areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro, titânio, entre outros (DNPM, 2010). Após o processo de filtragem no filtro prensa são formados discos pastosos que vão para secagem ao ar livre, ou em fornos a lenhas, depois, já seco, o produto é triturado, ensacado e comercializado (Figura 7).



Figura 7. Processo de beneficiamento de caulim realizado em uma indústria de Equador/RN.

## *Transformação Tasseled Cap*

Diversas operações matemáticas simples são utilizadas em técnicas de realce da vegetação (Crósta, 1993), que ressaltam o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2005).

Essas técnicas são conhecidas como Índices de Vegetação. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), a fundamentação da proposição de índices de vegetação reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo. Em princípio, se a densidade da cobertura vegetal de uma área for elevada, a reflectância na região do visível será menor devido a maior oferta de pigmentos fotossintetizantes, enquanto a reflectância na região do infravermelho próximo será maior devido às interações da REM com a estrutura celular da planta e o espalhamento múltiplo da REM nas diferentes camadas da folha.

As transformações espectrais são frequentemente empregadas pelos usuários de imagens obtidas por sensores orbitais, tanto para reduzir a dimensão dos dados armazenados, como para realçar espectralmente as feições de interesse representadas na imagem (Richards e Jia, 1998). A Transformação Tasseled Cap (Kauth e Thomas, 1976) é bastante utilizada e foi inicialmente proposta para o espaço tetra-dimensional a partir de imagens geradas pelo sensor MSS (Multispectral Scanner System) dos satélites da série LANDSAT 1, 2 e 3. Outros coeficientes correspondentes da TC também foram propostos para os sensores TM (Crist e Cicone, 1984a), MODIS (Zhang et al., 2003), ETM<sup>+</sup> (Huang *et al.*, 2002) e OLI (Baing *et al.*, 2014).

Kauth e Thomas (1976) utilizaram as quatro bandas (uma na região do verde, uma na região do vermelho e duas bandas na região do infravermelho próximo) do sensor MSS/LANDSAT (Multispectral Scanner System) com base na técnica de componentes principais, para gerar novas bandas com informação físicas – *Brightness* (maximizada a resposta do solo), *Greenness* (maximizada a vegetação) e *Wetness* (maximizada a vegetação senescente) (Kuntschik e Gleriani, 2007).

Simplificadamente, na Tasseled Cap, áreas completamente vegetadas definem o “plano de vegetação”, enquanto solos expostos definem o “plano de solos”. Entre estes dois existem áreas parcialmente vegetadas, nas quais a vegetação e os solos são visíveis. – zona de transição (Figura 8). A partir desses planos são obtidos seis componentes, dos quais três são mais relevantes: (i) verdor (*greenness*); (ii) brilho (*brightness*); e (iii) umidade (*wetness*) (Costa *et al.*, 2006).

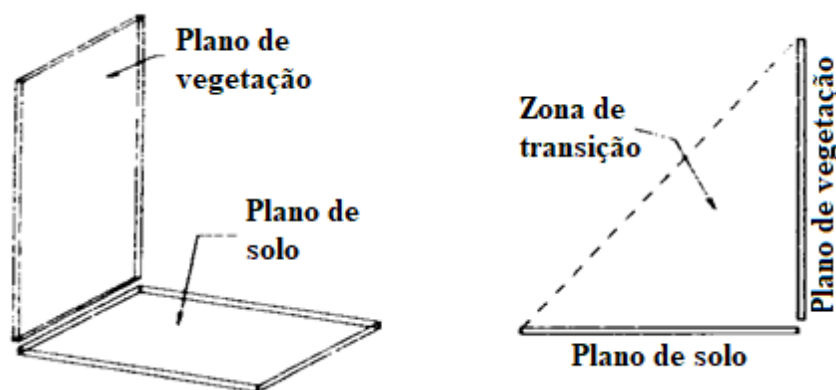


Figura 8. Estrutura básica dos dados TM. Fonte: Crist & Cicone, 1986.

i) **Brightness (Brilho)** – Quantifica como claro-escuro comporta-se uma determinada superfície. É tipicamente associada às características de solos, naturais e artificiais, e variações na topografia.

ii) **Greenness (Verdor)** – Medida do contraste entre as bandas do visível e do NIR, devido à dispersão de radiação infravermelha resultante da estrutura celular da vegetação verde e à absorção de radiação visível por pigmentos vegetais. As curvas de reflectância do solo são representadas com valores mais altos em "Brilho" enquanto são expressas em valores baixos de "Verde".

iii) **Wetness (Umidade)** – Contrasta a soma das bandas do visível e infravermelho próximo com a soma das bandas do infravermelho médio. Esta banda expressa primariamente a umidade do solo e em menor grau o status hídrico da vegetação (Gleriani et al., 2003).

A partir do lançamento do LANDSAT 4 e a inclusão do sensor TM (“Thematic Mapper”) com 6 bandas refletivas, Crist e Cicone (1984) adaptaram a transformação para esse novo sensor, com a utilização de novos coeficientes, o que proporcionou a geração e determinação de uma componente no lugar da “yelowness”, denominada “Wetness”, que é o contraste entre o infravermelho médio com as faixas do visível e do infravermelho próximo e que contém informações relacionadas às condições de umidade de solos e plantas.

Huang *et al.*, (2002), utilizaram cenas ETM<sup>+</sup>/LANDSAT 7 para mostrar a necessidade da transformação da imagem em nível digital (ND) para reflectância aparente como meio de minimizar os efeitos da geometria de aquisição e da atmosfera. Assim, novamente os coeficientes de transformação foram revistos.

Com o surgimento do satélite-sensor OLI/LANDSATLANDSAT 8, Baing *et al.*, (2014), derivaram dados do sensor OLI, a fim de obter novos coeficientes que pudessem ser usados na detecção remota de características da superfície, como vegetação, albedo e água.

Estes autores afirmam ainda que esses novos dados são muito úteis para estimativa de biomassa e produção primária.

Segundo Crist e Cicone (1984a e 1984b), o eixo da banda verdor corresponderia perfeitamente ao mesmo eixo criado pelas bandas do MSS, porém a banda brilho, apesar de possuir a maior parte da informação relacionada às variações no brilho dos solos, divide uma pequena parcela desta informação com uma terceira banda conhecida como umidade (*wetness*). Portanto, para este trabalho contou-se apenas com o estudo do “*Greenness*” e “*Brighness*”.

A transformação Tasseled Cap é uma ferramenta útil para comprimir dados espectrais em algumas bandas associadas às características físicas da cena (Crist e Cicone, 1984), propiciando potenciais aplicações no estudo da vegetação (Cohen *et al.*, 1995). Os coeficientes de transformação são calculados inicialmente pela variabilidade espectral de solos que compõem uma cena; os eixos seguintes são resultantes de ortogonalizações sucessivas do “plano do solo”. O termo “plano de solo” surgiu em consequência da maneira ilustrativa de representar a trajetória dos pixels em apenas três das quatro bandas (eixos) do sensor MSS, uma vez que a representação em quatro eixos é impossível (Gleriani, 2003) A Figura 9 ilustra o formato bidimensional típico da transformação espectral TC.

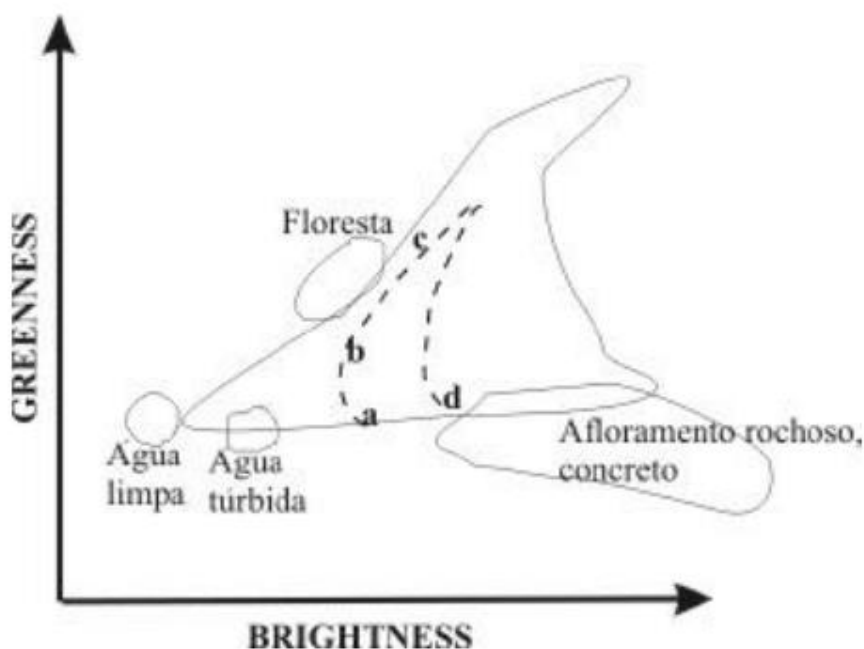


Figura 9. Formato típico do gráfico TC com a localização espectral de algumas classes de alvos. Os pontos (a) solo exposto, (b) desenvolvimento do dossel, (c) ápice do dossel e (d) senescência, descrevem a trajetória temporal dos pixels de uma cena agrícola.

Fonte: Adaptada de Crist e Cicone (1984, p.259) In: Gleriani, 2003.

Mather (1999), afirma que a transformação Tasseled Cap provê um sistema de coordenadas com base física para interpretação de imagens agrícolas obtidas em diferentes estágios do ciclo agrícola. Cohen et al. (1995), trabalhando com as florestas da região noroeste dos Estados Unidos, observaram que a transformação tem potencial aplicação no mapeamento de espécies, idade e estrutura e que os índices “*Greenness*” e “*Brighness*” apresentaram-se altamente sensíveis às variações espectrais dos tipos de cobertura do solo.

Logo, utilizar técnicas de sensoriamento remoto permite compreender a dinâmica da paisagem local atrelada às atividades antrópicas que estão ocorrendo. Juntos, possibilitam a análise do meio ambiente e suas alterações em função dos processos de atuação do homem e suas ações antrópicas.

### *Geoestatística*

Muitos métodos utilizados em técnicas de SR são baseados em funções matemáticas, no entanto, possuem limitações na representação da variabilidade espacial, pois desconsideram a anisotropia e a continuidade do fenômeno que se quer observar (Camargo, 1997), deixando sem resposta algumas questões importantes, como observa Burrough (1987), tais como: i) Qual o tamanho ideal do domínio ou da janela de estimativa? ii) Que forma e orientação devem ter a janela para se obter uma estimativa ótima? iii) Existem outros modos para estimar os pesos além daqueles baseados em função de distância? iv) Quais são os erros (incertezas) associados aos valores estimados?

Percebe-se assim que simples funções matemáticas não conseguem responder a questões observadas por Burrough (1987), uma vez que as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas (Camargo, 1997). Amostras pontuais formam um subconjunto limitado em relação à quantidade de posições e valores possíveis dentro de uma área de interesse (Prado, 2004). Diante desse cenário, faz-se uso de ferramentas alternativas para análise espacial de dados, como por exemplo, a geoestatística, que é compreendida como conjunto de técnicas utilizadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço ou tempo (Castro *et al.*, 2010).

O termo Geoestatística surgiu para focar o estudo estatístico de um fenômeno natural, por sua vez, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis (Journel & Huijbregts, 1978).

Por volta de 1950, na África do Sul, D. G. Krige concluiu que não poderia estimar de forma adequada o conteúdo de ouro em blocos mineralizados se não considerasse a configuração geométrica das amostras, ou seja, localização e volume (Sturaro, 2015).

Com o intuito de sanar as preocupações referentes à variabilidade espacial de algumas características do solo, modelos inferenciais foram e ainda são propostos. A krigagem é um desses modelos, e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971). Burrough (1987) pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes: i) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; ii) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e iii) um ruído aleatório ou erro residual.

para se obter valores em posições não amostradas utilizam-se algoritmos inferenciais que se baseiam no conjunto amostral disponível. Os SIG's atuais incorporam vários algoritmos de inferência para espacializar propriedades segundo uma estrutura de grade regularmente distribuída no espaço (Prado, 2004).

Entretanto, como aponta Felgueiras *et al.* (1999), raramente essa espacialização é acompanhada de informações sobre a qualidade dos dados gerados e estas são importantes para apoiar decisões baseadas nos mesmos.

Segundo Oliver *et al.* (1990), a krigagem considera os atributos ambientais como variáveis aleatórias, possibilitando a modelagem das incertezas associadas às inferências, e assim permitindo a espacialização de atributos ambientais amostrados pontualmente.

A krigagem é um estimador de média ponderada local que utiliza o critério de minimização da variância de estimação para definir os pesos associados a cada amostra considerada. Além disso, esse critério permite a criação de um mapa de incertezas de estimação associado ao mapa de atributos espacializados (Prado, 2004).

Para expressar a variabilidade espacial numa direção pré-definida, pode-se valer da função semivariograma, que representa basicamente a hipótese intrínseca. Na geoestatística a análise da variabilidade espacial por semivariograma é a etapa mais importante de todo o processo, pois o modelo de semivariograma escolhido é a interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigagem (Camargo *et al.*, 1997).

Resumidamente, entende-se que a geoestatística tem como característica principal analisar a distribuição espacial e/ou temporal entre as observações, determinando, através de semivariogramas, a distância ou período de tempo de dependência entre elas (Lima, 2007).

## *Direção do vento*

A poluição atmosférica vem sendo motivo de preocupação cada vez maior no mundo, tanto para a população quanto para os gestores da qualidade do ar em centros urbanos, devido ao aumento das emissões de poluentes decorrente principalmente da atividade humana (Santos, 2016). Os processos envolvendo a extração, transporte, beneficiamento e deposição do rejeito de caulim proporcionam a fácil dispersão desse material através dos ventos (Figura 10), uma vez que esse mineral se caracteriza por ser particulado e fino. Portanto, podemos considerar o vento como o principal agente responsável pela dispersão horizontal da poluição em uma determinada região.



Figura 10. Transporte de caulim.

Dados de direção do vento entre os anos de 2001 e 2016 foram analisados a fim de verificar a relação: *predição geoestatística x direção do vento*. As séries históricas foram obtidas da Estação 82690 Seridó (Caicó) – RN, através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP, que abriga dados meteorológicos diários em forma digital, de séries históricas da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (291 estações meteorológicas convencionais) num total de cerca de 3 milhões de informações, referentes às medições diárias, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial. No BDMEP estão acessíveis os dados diários a partir de 1961 das estações para as quais se dispõe em formato digital, de pelo menos 80% dos dados que foram registrados naquele período. As variáveis atmosféricas disponibilizadas para consultas no BDMEP são: precipitação ocorrida nas últimas 24 horas; temperatura do bulbo

seco; temperatura do bulbo úmido; temperatura máxima; temperatura mínima; umidade relativa do ar; pressão atmosférica ao nível da estação; insolação; direção e velocidade do vento (INMET, 2016)

A estação: 82690 - SERIDÓ (CAICÓ) – RN, localizada entre as coordenadas geográficas 37° 5' 00" W Gr. e 6° 28' 00" S, iniciou sua operação em 14 de março de 1995 e continua em operação. Os dados obtidos foram salvos em uma planilha \*.xlsx e em seguida foi feita uma análise de frequência de ocorrência de ventos para cada ano estudado.

Considerando o contexto exposto, e o pressuposto que a mineração é a principal atividade responsável pela formação de áreas degradadas na região, pretende-se:

- Avaliar o comportamento da vegetação em dois anos distintos considerando o estresse hídrico para cada período analisado, na perspectiva da preservação e recuperação ambiental;
- Avaliar a extensão do desmatamento provocado pela extração mineral do caulim nas encostas e topos das elevações locais e como a atividade tem degradado o ambiente;
- E, considerando a insalubridade da atividade, e alguns tipos de doenças alérgico-respiratórias, verificar se o material particulado fino proveniente dos processos de extração, transporte, armazenamento e beneficiamento tem afetado a saúde da população.

Com os resultados desses questionamentos, pretendeu-se fornecer subsídios para o planejamento de ações que conciliem desenvolvimento econômico social com qualidade ambiental, incluindo-se a preservação, a recuperação de áreas de vegetação nativa, em topos e encostas de elevações que são áreas de recarga e armazenamento de águas, a recuperação de áreas degradadas e para auxiliar o município em tomadas de decisão beneficiem a população e o meio ambiente que os cerca.

## **CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende o município de Equador-RN, delimitado pelas coordenadas geográficas, latitude 06° 47' 00" a 06° 59' 00" S e longitude 036° 46' 00" a 036° 33' 00" W Gr.. Com uma área de 264,985 Km<sup>2</sup>, está situado na Mesorregião Central Potiguar, Microrregião do Seridó Oriental (Figura 11). Distante, aproximadamente, 269 km de Natal, Capital do Estado. Faz fronteira ao norte com o município de Parelhas e ao sul, leste e oeste com o Estado da Paraíba.

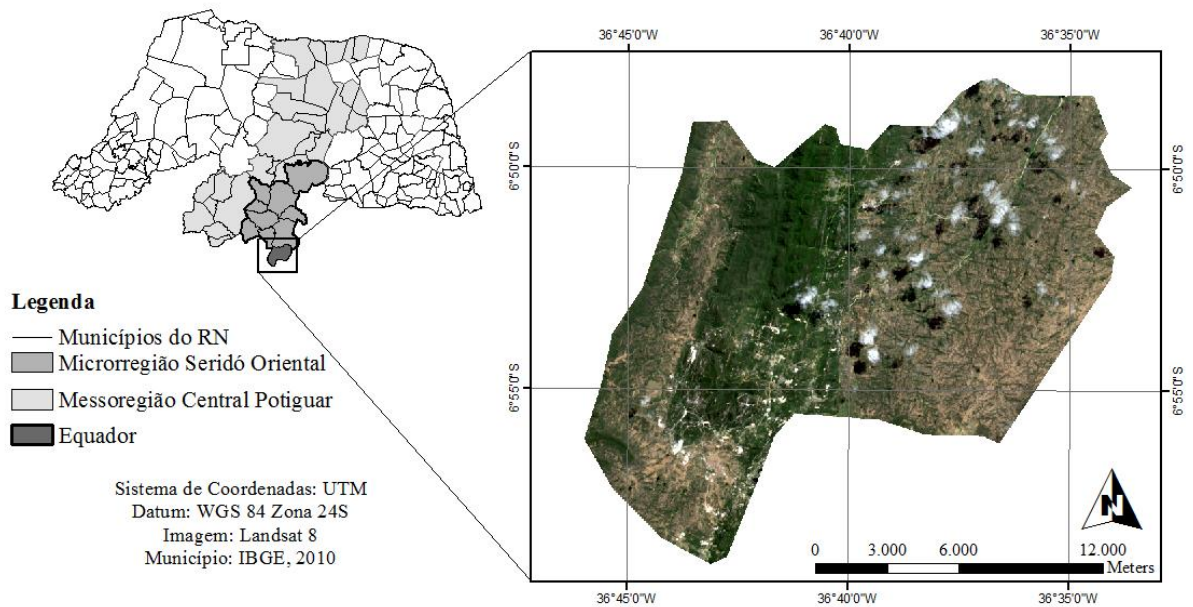


Figura 11. Localização do Município de Equador/RN. Fonte: autora

O município está inserido na província metalogénica denominada de Província Pegmatítica da Borborema (Scorza, 1944), no contexto da geológico da Faixa Seridó (Jardim de Sá (1994), representada pelos litotipos do Grupo Seridó, que é composto pelas Formações Equador (NP3s/se) e Seridó (NP3s/se). Deposito Colúvio-eluviais (NQc), além de rochas do Complexo Serra dos Quintos (PPsq) aflorantes no extremo oeste do município, complementam o quadro da geologia na região(CPRM, 2005), (Figura 12).

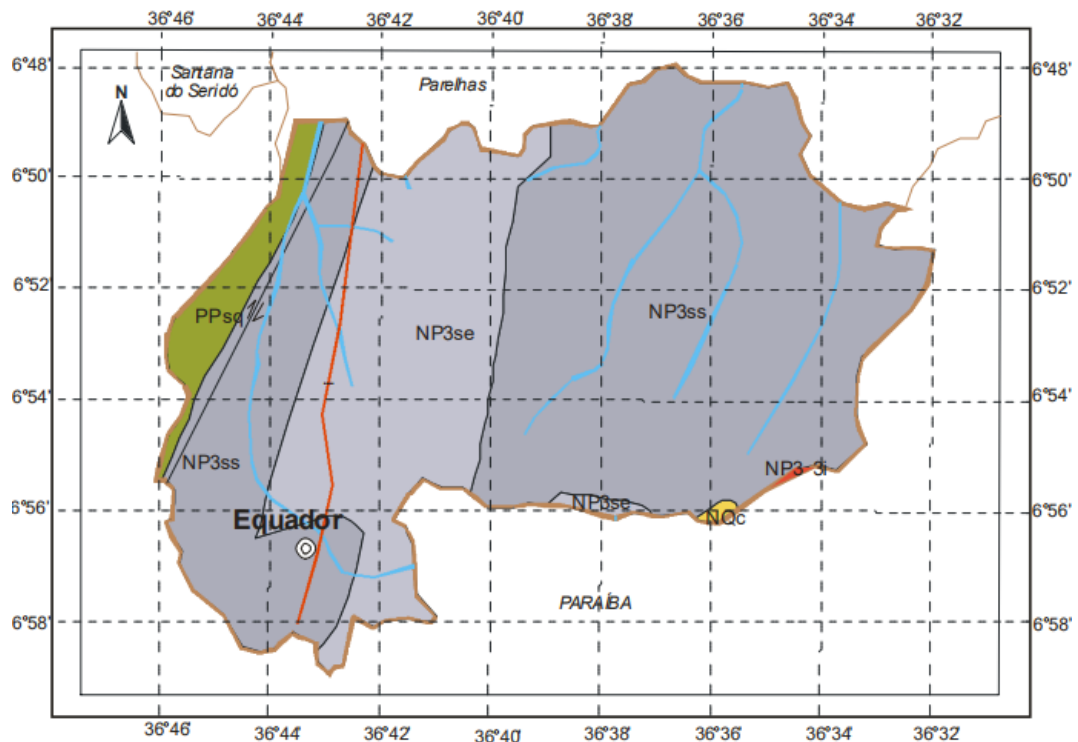


Figura 12. Mapa Geológico do Município de Equador. Fonte: CPRM, 2005.

A Faixa Seridó, compreende segmento dos dobramentos de rochas Pré-cambrianas soerguidas em forma de abóbodas (Ross, 2003). São maciços intensamente trabalhados por processos erosivos ao longo do Terciário, com altitudes que variam entre 50 a 800 metros, apresentando, geralmente, formas com topo retilíneos ou convexos esculpidos em litologias do cristalino (Bezerra Júnior & Silva, 2007).

O levantamento feito pelo IDEMA em 2008 aponta a predominância de Solos Litólicos Eutróficos - pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos, normalmente pedregosos e/ou rochosos, moderada a excessivamente drenados, pouco espesso, cascalhamento, de textura predominantemente média, podendo também ocorrer solos de textura arenosa, siltosa ou argilosa. Esses solos apresentam pequena espessura, com frequente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha no seu perfil, apresentando voçorocas e outras formas de erosão (Velo, 2011). Possui uma drenagem que vai de moderada a acentuada, a água que o solo absorve é lentamente perdida, porém o mantém úmido por um curto período de tempo, favorecendo processos erosivos (Vieira, 1983). Essas características conferem a esse tipo de solo um baixo potencial agrícola devido a sua pouca profundidade. Essa condição reduz o volume de terra disponível para o enraizamento das plantas e a retenção de umidade (Bezerra Júnior & Silva, 2007).

No tocante ao relevo, Felipe e Carvalho (1999), ressalta:

Data do Pré-Cambriano, compreendida basicamente por rochas antigas representadas predominantemente pelas rochas ígneas ou magmáticas e as metamórficas, sendo as duas comumente denominadas de terrenos cristalinos. Essa estrutura ocorre em grande parte do território do Estado e principalmente na mesorregião central.

Há presença e, conseqüentemente, extração de minerais que possuem importância econômica como: Argilas, Barita, Berilo, Cassiterita, Caulim, Tantalita, Mica e Scheelita são atribuídas a essa estrutura litológica (Bezerra Júnior & Silva, 2007).

Na classificação climática realizada por Valadão *et al.* (2010) para o Seridó/RN baseada no modelo de *Thornthwaite e Mather*, Equador enquadra-se na categoria DdB'2a', clima mesotérmico semiárido com excedente hídrico pequeno ou nulo, estando o município numa situação sub-úmida seca, ao passo que os demais, com exceção de Currais Novos, enquadram-se como semiárida. Com os dados mensais obtidos na EMPARN, verificaram ainda que Equador possui o menor total anual de precipitação (~ 400 mm) da microrregião. O período chuvoso compreende os meses de fevereiro a junho, com temperaturas médias anuais que variam entre máxima de 33,0 °C e mínima de 21,0 °C (CPRM, 2005).

A Caatinga é a vegetação predominante da microrregião Seridó Oriental, pode ser subdividida em i) Caatinga Hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhado, e ii) Caatinga Subdesértica do Seridó - vegetação mais seca do Estado, com arbustos e árvores baixas, ralas e de xerofitismo mais acentuado (IDEMA, 2008). Andrade-Lima (1981) caracteriza a vegetação do Seridó predominantemente em Caatinga arbustiva densa ou aberta, com indivíduos formados por árvores (em torno de 7 m) espalhadas em uma matriz arbustiva. Fatores como profundidade e permeabilidade do solo, frequência e quantidade de chuvas interferem na forma como a vegetação se organiza e as espécies que nela podem ser encontradas (Leal *et al*, 2003). Portanto, podemos encontrar áreas com vegetações de predomínio arbóreo ou apenas arbustivo. Nesses tipos de vegetação as espécies mais encontradas são pereiro, faveleiro, facheiro, macambira, xique-xique e jurema-preta (CPRM, 2005).

Ainda segundo dados do Projeto *Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea* (CPRM, 2005) o município de Equador:

Encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, sendo banhado pelas sub-bacias dos rios Malhada Grande e dos Quintos. Os principais corpos de acumulação são: os açudes Mamão (1.183.000m<sup>3</sup>), Equador (150.000m<sup>3</sup>) e Riacho Verde (100.000m<sup>3</sup>). O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e todos os cursos d' água tem regime intermitente.

Bem como:

Está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológicos Fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares dos Depósitos Colúvio-eluviais. O Domínio Fissural é composto de rochas do embasamento cristalino que englobam o sub-domínio rochas metamórficas constituído da Formação Seridó, Formação Equador e do Complexo Serra dos Quintos e o sub-domínio rochas ígneas dos Granitoides.

Com uma população estimada de 6.087 hab em 2015 (IBGE), o povoado teve início na vizinhança do Rio dos Quintos, em 1856, quando o Sr. Simão Gomes da Silva, pagando uma promessa doou um terreno para a construção de uma Capela em homenagem a São Sebastião. Inicialmente chamada de “Periquito”, devido ao grande número de pássaros dessa espécie existente nessa localidade. Em 1917 passou a se chamar Equador, em cumprimento a ordem vinda da Intendência de Jardim do Seridó, na época município Sede. O distrito foi criado pelo decreto estadual nº 603, de 31/10/1938, subordinando ao município de Parelhas. Elevado à

categoria de município com a denominação de Equador, por lei estadual nº 2799, de 11/05/1962, desmembrado de Parelhas, o município foi instalado em 17/03/1963 (IBGE, 2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), segundo o IBGE (2015), era de 0,623 em 2010. Em relação ao país, este valor é considerado como “médio desenvolvimento humano – 0,600 até 0,699”. O IDHM é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano (PNUD, 2010).

A economia de Equador está voltada basicamente para agropecuária, indústria e serviços (IBGE, 2014). As atividades de extração e beneficiamento de Caulim são os maiores responsáveis pelas receitas do município. Nessa região, a lavra do caulim é subterrânea e pode ser realizada de forma artesanal ou por meio de maquinários. Em média, as minas chegam a 20 m de profundidade, porém, podem atingir de exploração 70 m, em alguns pontos (Figura 13).



Figura 13. Lavra subterrânea do Caulim.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010), ano base 2009, o Rio Grande do Norte apresentava em relação ao caulim:

- i) Reserva lavrável de 153.654 t situada no município de Equador;
- ii) Produção bruta de 6.200 t;
- iii) Produção beneficiada 5.610 t;
- iv) Valor da produção beneficiada de R\$ 787.424,00;

- v) Porte das usinas: 1 de pequeno porte;
- vi) Principais empresas produtoras:
  - a. Caulim Caiçara Ltda - Participação de 1,66% Participação no valor total da comercialização da produção mineral na UF;
- vii) Investimentos na mineração – em minas:
  - a. Realizados em 2009: R\$ 1.535.200,00
  - b. Previstos em 3 anos: R\$ 730.584,00
- viii) Mercado consumidor - produtos beneficiados
  - a. Distribuição Setorial da Quantidade Consumida por Substâncias: Cerâmica Branca (70.00%), Produtos de Borracha (30.00%).
  - b. Distribuição Regional da Quantidade Consumida por UF: PB (70.00%), PE (10.00%), SC (10.00%), CE (10.00%).

Em pesquisa de campo constatou-se a presença de outras empresas produtoras de pequeno porte, entre elas: *Caulise* – 12 anos de atuação; *Procab Comércio de Minerais* – 4 meses de atuação; *Mineração Santa Clara* – 4 anos; *JPR Mineração Ltda* – 1 ano.

Segundo a SEDEC (2014), o RN é um tradicional fornecedor de matérias-primas de ótima qualidade, tais como feldspato e caulim para todo o Brasil. A existência de matéria-prima de qualidade e grandes fornecedores somados aos incentivos concedidos pelo Governo do Estado e a localização estratégica do RN na região Nordeste garantem competitividade para atrair outros grupos empresariais. Além de colocar as cidades do interior no mapa nacional da exploração mineral.

Esses dados mostram a importância das atividades ligadas à extração de caulim no município de Equador e no Estado do Rio Grande do Norte. No entanto, faz-se necessário voltar a atenção para o processo de degradação ambiental que vem ocorrendo na região.

O município em estudo apresenta depósitos primários de Caulim, classificados como intemperizados. Esse tipo de depósito ocorre em regiões de climas tropicais, quentes e úmidos, onde as condições físico-químicas são propícias às alterações dos feldspatos e ou outros aluminossilicatos presentes em rochas graníticas e metamórficas, que é o caso de Equador (Luz, 2005). O caulim de Equador apresenta-se associado a outros minerais, como feldspatos e micas, portanto é necessário que passe por processos de beneficiamento para que seja separado e assim melhor aproveitado pelas indústrias que o usará como matéria prima.

Os processos rudimentares de extração de caulim oferecem riscos à segurança dos trabalhadores nas minas de extração de Caulim do Rio Grande do Norte e Paraíba (Luz, 2005). Em Equador, observa-se que a descida a mina é feita através de uma corda presa a um

carretel de madeira, que fica sobre a entrada da mina, com um pedaço de galho, além disso, verifica-se que a escavação é manual com uso de picaretas e pás, não há sustentação nos túneis abertos, e o único ponto de luz dentro da mina são velas, devido a umidade e temperatura elevadas, os garimpeiros trabalham geralmente sem camisas e de bermudas.

No município de Equador, a extração do caulim era em sua grande parte feita de maneira artesanal e muito precária, sem o uso de EPIs, sem treinamento adequado e sem, em sua grande maioria, equipamentos mecanizados para auxiliar e agilizar a retirada do caulim. Os garimpeiros descem a uma profundidade inicial de 15 a 20 metros em cordas presas em carretéis de madeiras providenciadas por eles mesmos, a iluminação das galerias é feita através de velas espalhadas dentro da jazida (Figura 14). Ao ver necessidade, os garimpeiros chegam a abrir novas minas subterrâneas a fim de extrair mais Caulim, podendo atingir profundidades de até 70 m. A escavação é manual com uso de picaretas e pás, que depois do desprendimento da rocha é despejado em tambores que são içados em carretéis construídos pelos próprios garimpeiros, logo após a retirada das rochas é carregado um caminhão caçamba de maneira braçal (Andrade *et al*, 2015). Além disso, não há nenhum tipo de sustentação nos túneis abertos, facilitando o desabamento dessas minas.



Figura 14. Carretel artesanal e iluminação através de velas dentro da mina.

No entanto, a extração artesanal de Caulim, deu lugar à mineração mecanizada. As empresas da região tomaram para si o direito de garimpo no subsolo e acabaram substituindo os garimpeiros artesanais de suas atividades. Essa atividade mecanizada proporciona uma rápida modificação da paisagem na região, para além da retirada da vegetação pelas retroscavadeiras, há também o depósito desordenado de rejeitos, provenientes do beneficiamento, em locais como terrenos baldios, margens de rios, periferias da cidade, e até na própria mata de caatinga (Figura 15).



Figura 15. a) Depósito de rejeito próximo a indústria de mineração, mostrando área a ser preparada para receber mais resíduos; b) e c) Rejeito de caulim depositado na vegetação; d) Aspecto da vegetação em torno da zona urbana de Equador, próximo a pequena empresa de beneficiamento.

O principal estabelecimento de saúde do município é a Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE), que conta com um corpo médico de 10 plantonistas, que atendem nas modalidades de Clínico Geral e Obstetrícia. Quanto a estrutura física, a unidade possui 21 leitos, para internação de adultos, crianças e casos obstétricos, um laboratório de análises clínicas, uma sala de Raio-x que funciona desde 2003, mas que, segundo o diretor da unidade quebra constantemente, não conseguindo atender as demandas na região. O atendimento não é restrito a população de Equador, os habitantes da cidade vizinha de Junco do Seridó-PB, frequentemente procuram atendimento nessa unidade.

## METODOLOGIA GERAL

### *Aplicação da Transformação Tasseled Cap*

A técnica foi aplicada para espacializar e quantificar o material particulado no terreno, considerando os locais de extração de caulim, o transporte, com derramamento ao longo e nas margens das estradas, e os estoques nos pátios e locais de armazenamento e beneficiamento, e a extensão e estado da cobertura vegetal, em termos de atividade fotossintética *versus* estresse hídrico, em dois momentos distintos.

Para a realização do estudo no município de Equador/RN, foram selecionadas duas cenas da órbita 215.ponto 065 do satélite Land Remote Sense Satellite (LANDSAT), captadas pelos sensores ETM<sup>+</sup>/LANDSAT 7 e OLI/LANDSAT 8 embarcados nesse satélite. Os dados da imagem do sensor ETM<sup>+</sup> são de 28 de setembro de 2001, com ângulo de elevação do sol de 61.10405743 e ângulo azimutal de 81.31083398. Os dados da imagem do sensor OLI/LANDSAT 8 são 13 de setembro de 2016, com ângulo de elevação do sol de 61.15655601 e ângulo azimutal de 69.00286376.

As cenas ETM<sup>+</sup>/LANDSAT7 e OLI/LANDSAT 8 foram obtidas através do *site* do *United States Geological Survey* (USGS, 2014) e foram reprojetaadas para o sistema de coordenada projetada para SIRGAS 2000, sendo esse processo e os demais processos realizados apenas para as bandas utilizadas de cada cena LANDSAT.

Para ETM<sup>+</sup>/LANDSATLANDSAT 7 (USGS), utilizamos:

- Banda 1 (0.45-.52  $\mu\text{m}$ ), azul-verde, diferencia o solo da vegetação e vegetação decídua de coníferas.
- Banda 2 (0.52-0.61  $\mu\text{m}$ ), verde, que ressalta a vegetação de pico, útil para avaliar o vigor da planta.
- Banda 3 (0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ), que enfatiza a vegetação presente nas encostas.
- Banda 4 (0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ), Infravermelho refletido, com ênfase em biomassa e linhas costeiras.
- Banda 5 (1.55-1.75  $\mu\text{m}$ ), Infravermelho refletido, discriminando o teor de umidade do solo e da vegetação.
- Banda 7 (2.08-2.35  $\mu\text{m}$ ), infravermelho refletido, útil para o mapeamento de rochas de alteração hidrotermal associadas a depósitos minerais.

Para OLI /LANDSAT 8 (USGS), selecionamos:

- Banda 2 (0.43-0.45 $\mu\text{m}$  -azul), diferencia o solo da vegetação e vegetação decídua de coníferas.

- Banda 3 (0.53–0.59  $\mu\text{m}$  -verde), resalta a vegetação de pico, que é útil para avaliar o vigor da planta.
- Banda 4 (0.64–0.67  $\mu\text{m}$  - vermelho), enfatiza a vegetação presente nas encostas.
- Banda 5 (0.85–0.88  $\mu\text{m}$ - infravermelho próximo), identifica os limites entre a vegetação, a terra, a água e formas do relevo.
- Banda 6 (1.57–1.65  $\mu\text{m}$  - infravermelho médio), distingue o teor de umidade do solo e da vegetação.
- Banda 7 (2.11–2.29  $\mu\text{m}$  -infravermelho médio), determina o teor de solidez do solo e da vegetação.

Após a seleção e reprojeção das imagens, partiu-se para a calibração dos dados para se obter os valores de radiância e reflectância ao satélite, de acordo com os dados presentes no arquivos \*.MTL (metadados) que acompanham os arquivos das cenas consideradas.

Conforme Chander e Markham (2003), o cálculo de radiância é o passo fundamental para transformar os dados de imagem de vários sensores e plataformas em uma escala radiométrica comum, para conversão dos níveis de cinza para radiância foi utilizada a equação (1):

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde,

$L_{\lambda}$  = radiância espectral em Watts / ( $\text{m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m}$ )

$M_L$  = Fator multiplicativo de redimensionamento específico por banda (RADIANCE\_MULT\_BAND\_n do metadado)

$A_L$  = Fator de redimensionamento aditivo específico por banda (RADIANCE\_ADD\_BAND\_n do metadado)

$Q_{cal}$  = Valor quantizado calibrado pelo pixel em Número Digital (ND)

Salienta-se que o cálculo da radiância espectral foi aplicado tanto as bandas do LANDSAT 7 como as do LANDSAT 8. As TABELAS 1 e 2, apresentam os fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância das imagens LANDSAT 7 e 8 e suas respectivas bandas em estudo.

TABELA 1 – LANDSAT 7 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância.

Bandas	M <sub>L</sub>	A <sub>L</sub>
1 (0.45-.52 μm)	7.7874E-01	-6.97874
2 (0.52-0.61 μm)	7.9882E-01	-7.19882
3 (0.63-0.69 μm)	6.2165E-01	-5.62165
4 (0.76-0.90 μm)	9.6929E-01	-6.06929
5 (1.55-1.75 μm)	1.2622E-01	-1.12622
7 (2.08-2.35 μm)	4.3898E-02	-0.39390

Fonte: USGS

TABELA 2 – LANDSAT 8 fatores de redimensionamento para o cálculo de radiância.

Bandas	M <sub>L</sub>	A <sub>L</sub>
2 (0.43-0.45 μm)	1.2705E-02	-63.52316
3 (0.53–0.59 μm)	1.1707E-02	-58.53605
4 (0.64–0.67 μm)	9.8722E-03	-49.36090
5 (0.85–0.88 μm)	6.0413E-03	-30.20641
6 (1.57–1.65 μm)	1.5024E-03	-7.51206
7 (2.11–2.29 μm)	5.0639E-04	-2.53197

Fonte: USGS

Foi calculada a reflectância espectral no topo de atmosfera (TOA). Para as imagens LANDSAT 7 foram utilizadas a equação (2) e os parâmetros propostos por Chander *et al.* (2009).

$$R_{\lambda} = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / (E_{sun\lambda} * \sin(\theta_{SE})) \quad (2)$$

Onde,

R<sub>λ</sub> = Reflectância espectral no topo de atmosfera

L<sub>λ</sub> = radiância espectral em Watts / (m<sup>2</sup> \* sr \* μm) – calculada anteriormente

d = Distância entre a terra e o sol em unidades astronômicas;

E<sub>sunλ</sub> = Irradiância solar exoatmosférica média (Watts / (m<sup>2</sup> \* μm))

sin(θ<sub>SE</sub>) = Ângulo de elevação solar em graus radianos.

Deve-se atentar que a variável “d” – distância entre a terra e o sol – e a variável sin(θ<sub>SE</sub>) são específicos de cada cena e podem ser obtidos no arquivo \*.MTL fornecido.

Os dados utilizados estão resumidos na TABELA 3:

TABELA 3 - LANDSAT 7 parâmetros para o cálculo da reflectância espectral.

Parâmetro \ Imagem	2001	
d *	1.00705	
Esun <sub>λ</sub> *	Banda 1	1997
	Banda 2	1812
	Banda 3	1533
	Banda 4	1039
	Banda 5	230.8
	Banda 7	84.9
SUN_ELEVATION **	61.10405743	

Fonte: \* Chander *et al.* (2009). \*\* Metadado da imagem - USGS.

Para imagem LANDSAT 8 calculou-se a radiância espectral através da equação (3):

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (3)$$

Onde,

$\rho\lambda'$  = Reflectância espectral no topo da atmosfera

$M_p$  = Fator de escala multiplicativa de reflectância para a banda (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_n do metadados)

$A_p$  = Escala de reflectância aditiva para a banda (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_n do metadados)

$Q_{cal}$  = Valor do pixel em número digital (ND) da banda

Para o cálculo de reflectância espectral desta imagem foram utilizadas as constantes disponibilizadas nos metadados da imagem, como pode ser visto na TABELA 4:

TABELA 4 – LANDSAT 8 fatores para o cálculo da reflectância espectral.

Bandas	$M_p$	$A_p$
2 (0.43-0.45 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000
3 (0.53–0.59 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000
4 (0.64–0.67 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000
5 (0.85–0.88 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000
6 (1.57–1.65 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000
7 (2.11–2.29 $\mu\text{m}$ )	2.0000E-05	-0.100000

Fonte: USGS.

Realizadas as calibrações, partiu-se para o cálculo da Transformação Tasseled Cap.

A transformação Tasseled Cap consiste na aplicação de fatores multiplicativos específicos para cada banda da cena LANDSAT 7 e LANDSAT 8, porém de forma integrada, onde é possível não só ressaltar as informações de duas bandas espectrais, mais de outras bandas, uma vez que para o cálculo da Tasseled Cap são utilizadas informações espectrais de alvos captados por mais de duas bandas.

Para a análise e detecção de material particulado e solo descoberto nas cenas LANDSAT 7 e LANDSAT 8 foi selecionada a *feature brightness* (brilho) e para a análise e detecção da vegetação presente na área de estudo foi selecionada a *feature greenness* (verdor) que analisa a atividade fotossintética da vegetação. Para a obtenção dos resultados aplicaram-se as operações matemáticas (a) e (b), no *raster calculator* que é a ferramenta específica do *software* para operações com *raster*:

$$(a) \quad Ta_{CapETM+} = (coeff1 * band1) + (coeff2 * band2) + (coeff3 * band3) + (coeff4 * band4) + (coeff5 * band5) + (coeff7 * band7)$$

TABELA 5 - Coeficientes Tasseled Cap para ETM<sup>+</sup>/LANDSAT 7.

Feature	Coef. Banda 1	Coef. Banda 2	Coef. Banda 3	Coef. Banda 4	Coef. Banda 5	Coef. Banda 7
<b>Brightness</b>	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
<b>Greenness</b>	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630

Fonte: Huang *et al.*, 2002.

$$(b) \quad Ta_{CapOLI} = (coef2 * band2) + (coef3 * band3) + (coef4 * band4) + (coef5 * band5) + (coef6 * band6) + (coef7 * band7)$$

TABELA 6. Coeficientes Tasseled Cap para o sensor LANDSAT OLI/LANDSAT 8.

	Coef. Banda 2	Coef. Banda 3	Coef. Banda 4	Coef. Banda 5	Coef. Banda 6	Coef. Banda 7
<b>Brightness</b>	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.5080	0.1872
<b>Greenness</b>	-0.2941	-0.2430	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608

Fonte: Baing *et al.*, 2014.

Após o cálculo da TC, foi realizado o mapeamento através do fatiamento das imagens de verdor e brilho geradas na TC, utilizando como referência as áreas e os pontos coletados em campo para identificação das feições nas imagens geradas. Desse modo, vetorizou-se os polígonos a fim de quantificar a área de cada feição escolhida. Por fim, os pixels foram

realçados de acordo com as intensidades que se situam dentro dos intervalos especificados pelas classes indicadas dentre os valores máximos e mínimos de cada TC. Crósta (1992) explica que o fatiamento é geralmente feito de modo interativo, no qual o usuário define tanto a largura como o centro do intervalo desejado. Essa fatia é então ajustada até que as feições de interesse sejam realçadas e separadas das áreas sabidamente diferentes, sendo então representadas por um determinado valor de DN (número digital), radiância, reflectância ou TC. Neste estudo foram indicadas nas imagens de verdor e brilho feições previamente reconhecidas em campo, como corpos hídricos, áreas de extração de caulim, locais de depósito de rejeito, campos agrícolas, entre outros.

### *Geoestatística*

Para análise geoestatística de casos de doenças respiratórias no município de Equador/RN, foram coletados dados do período entre 2001 e 2016 referentes aos casos de doenças respiratórias registrados na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE), unidade mista de saúde do município que oferece serviços básicos de atendimento médico.

Em seguida, foram selecionados os casos de doenças respiratórias para compor o bando de dados a ser utilizado na aplicação geoestatística. Estes dados foram organizados em uma planilha do Excel da seguinte maneira: 1) segundo o nome popular da doença registrada; 2) idade do paciente; 3) mês, 4) trimestre e 5) ano em que foi registrada a ocorrência; 6) bairro onde reside o paciente; 7) coordenada geográfica do centróide da localidade; 8) Diagnóstico.

A respeito da coordenada geográfica, é importante ressaltar que se tratam de coordenadas pontuais que espacializam o centróide do setor censitário da localidade (rua, avenida, travessa, etc.) registrado na UMIIE.

O presente trabalho seguiu o fluxograma típico de análise geoestatística de dados espaciais, obedecendo aos seguintes passos:

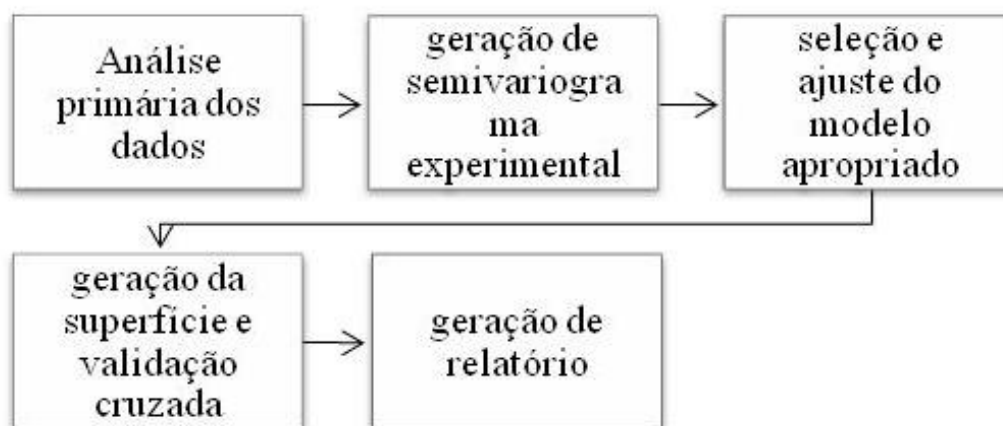


Figura 16. Fluxograma da análise Geoestatística.

A fim de operacionalizar uma abordagem de análise geoestatística aos dados coletados, viu-se necessário seu tratamento. Inicialmente este tratamento gerou a porcentagem global de casos da série de dados, com o intuito de se obter uma superfície que represente a probabilidade de ocorrência por casos analisados. Esta abordagem permite sintetizar a componente de informação geográfica, viabilizando a geração de semivariograma experimental.

O modelo de Krigagem utilizada foi o Ordinário, que apresenta comportamento parabólico em sua origem e representa as propriedades dos dados com uma variação que é suavizada ao longo da predição. Para que não houvesse nenhuma instabilidade no modelo de previsão gerado nesse trabalho e nas análises que o compõem, foram adotados os modelos dados de Nugget 2.978949, Sill 3.71279 e Range 962.41. Os mesmos foram tomados por padrão após a utilização do modelo ordinário no Software Arcmap 10.3, que determinou a melhor acomodação do modelo geoestatístico ao longo de toda a superfície interpolada e prevista.

A fim de investigar o grau de precisão da análise geoestatística, observando quais dados da planilha apresentam discrepâncias dentro da série de dados em estudo, foi realizada uma validação cruzada. Essa análise infere que valores próximos ou maiores que 1 denotam elevado grau de predição, enquanto que valores próximos a zero ou negativos denotam, em contrapartida, elevado grau de medição; enquanto que para *Stdd\_error* (isto é, erro estandardizado, 'padronizado'), valores negativos representam valores medidos.

## Capítulo 1

### TASSELED CAP APLICADO NA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA VEGETAÇÃO EM DOIS ANOS DISTINTOS NO MUNICÍPIO DE EQUADOR/RN.

### TASSELED CAP APPLIED TO THE EVALUATION OF VEGETATION BEHAVIOR IN TWO YEARS DIFFERENT IN THE MUNICIPALITY OF EQUADOR/RN.

#### **Fernanda Lourenço da Silva**

Mestranda do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)/UFRN, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [flourencos88@gmail.com](mailto:flourencos88@gmail.com)

#### **Sebastião Milton Pinheiro da Silva**

Doutor em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [smpsilva@cchla.ufrn.br](mailto:smpsilva@cchla.ufrn.br)

#### **Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa**

Doutor em Biologia e Fisiologia Vegetal pela Université Pierre et Marie Curie. Professor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [magdialoufal@gmail.com](mailto:magdialoufal@gmail.com)

ESTE ARTIGO SERÁ SUBMETIDO A REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E, PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DESTA REVISTA ([http://abes-dn.org.br/?page\\_id=1017](http://abes-dn.org.br/?page_id=1017)) (ANEXO)

#### **RESUMO**

A mineração no semiárido potiguar é uma atividade que desencadeia impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade, como a alteração da vegetação e a intensificação de processos erosivos. Foram aplicadas transformações Tasseled Cap (TC) para duas cenas da órbita 215.065, uma de 21/09/2001 (ETM+/LANDSAT 7) e outra de 13/09/2016 (OLI/LANDSAT 8) para analisar os componentes verdor e brilho da TC e verificar as áreas de vegetação fotossinteticamente ativa, suas extensões em épocas distintas, áreas de extração e concentração de material particulado proveniente do caulim e os problemas advindos da extração do minério. A TC verdor/2001 variou de -0.168 a 0.178 e em 2016 variou de -0.178 a 0.280, quanto mais próximo de 0,5, maior atividade fotossintética. A TC brilho/2001 variou de 0.113 a 0.867 e em 2016 variou de 0.052 a 1.391, quanto mais próximo de 1, maior a presença de material particulado no solo e de solo exposto.

Palavras chave: Caulim, Sensoriamento Remoto, Semiárido, Tasseled Cap, degradação.

#### **ABSTRACT**

Mining in the semi-arid potiguar is an activity that triggers negative impacts on the environment and society, such as vegetation change and intensification of erosion processes. Tasseled Cap (TC) transformations were applied to two scenes of the orbit 215.065, one of 09/21/2001 (ETM + / LANDSAT 7) and one of 09/13/2016 (OLI / LANDSAT 8) to analyze the components greenness and brightness of the TC and verify the areas of photosynthetically active vegetation, their extensions at different times, areas of extraction and concentration of particulate material from kaolin and the problems arising from the extraction of the ore. The TC greenness/2001 ranged from -0.168 to 0.178 and in 2016 ranged from -0.178 to 0.280, the closer to 0.5, the greater the photosynthetic activity. The TC brightness/2001 ranged from 0.113 to 0.867 and in 2016 ranged from 0.052 to 1.391, the closer to 1, the greater the presence of particulate matter in the soil and exposed soil.

Key words: Kaolin, Remote Sensing, Semi-Arid, Tasseled Cap, Degradation.

## INTRODUÇÃO

A agricultura, a agropecuária e a mineração são as principais atividades que degradam o espaço no semiárido (Carvalho, Gariglio e Barcellos, 2000). No entanto, quando o solo não satisfaz as necessidades de trabalho e renda para a população, por meio da agricultura, os minerais podem garantir uma renda que sustente famílias direta e indiretamente. A mineração contribui de forma decisiva para o bem estar e melhoria da qualidade de vida das gerações presentes e futuras, porém, essa atividade desencadeia uma gama de impactos negativos ao meio ambiente, entre os mais visíveis estão, o desmatamento com perda de fauna e flora, exposição e degradação dos solos e poluição do ar com particulados diversos. Além desses, pode-se destacar os problemas de cunho social, como conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, transtornos ao tráfego urbano (Farias, 2002), também, problemas de saúde da população e trabalhadores do ramo, como doenças respiratórias, entre elas silicose, pneumonia, insuficiência respiratória aguda. A insalubridade das atividades extrativistas também é um problema comum, muitas vezes os garimpeiros não dispõem de equipamentos de proteção individual e trabalham em condições precárias de iluminação dentro da mina.

Dentre as atividades de mineração na região semiárida brasileira, destacamos a exploração do Caulim, que é um bem mineral extremamente versátil e importante para a economia do país. Segundo DNPM (2010), as principais aplicações desse minério são como agentes de enchimento *filler* no preparo de papel; como agente de cobertura *coating* para papel *couché* e na composição das pastas cerâmicas, além de ser usado em menor escala na fabricação de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, adesivos, cimentos, inseticidas, pesticidas, produtos alimentares e farmacêuticos, catalisadores, absorventes, dentifrícios, clarificantes, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, detergentes e abrasivos, além de cargas e enchimentos para diversas finalidades. As principais indústrias mineradoras de caulim nessa região estão instaladas na região da Província Pegmatítica de Borborema do Seridó (Scorza, 1944), localizadas nos municípios do Equador (RN) e Junco do Seridó (PB). Estima-se que essas mineradoras perdem em torno de 50% de caulim durante o beneficiamento (Nascimento *et al.*, 2013). Leite *et al.* (2007) atribui essa perda à ineficiência dos processos de fragmentação e classificação nas usinas de tratamento de minérios.

As principais formas de aplicação desse minério na província são para a fabricação de cimento; utilização nas indústrias de cerâmica branca e refratários; emprego nos sistemas de fabricação de tinta e na indústria de Papel (DNPM, 2010; Silva, 2001).

No Rio Grande do Norte, o Município de Equador se destaca pela exploração e beneficiamento desse minério. As indústrias de extração e beneficiamento de Caulim são as maiores responsáveis pelas receitas do município. Nessa região, a lavra do caulim é subterrânea e realizada de forma artesanal. Em média, as minas chegam ter 20 m de profundidade, podendo atingir, em alguns pontos de exploração, 70 m, segundo alguns garimpeiros da região.

Essas atividades promovem uma gama de modificações socioambientais na região. Uma delas refere-se ao aumento de áreas degradadas, devido à retirada da vegetação e abertura de galerias subterrâneas, potencializando processos erosivos; diminuição da Capacidade fotossintética das plantas e contaminação dos corpos hídricos e da terra, promotores da infertilidade do solo. No meio social, atenta-se para as condições de trabalho insalubre dos garimpeiros, que não utilizam nenhum tipo de EPI, arriscando suas vidas nas galerias; além do acometimento de doenças respiratórias que podem desencadear doenças crônicas na população, devido à dispersão dos rejeitos gerados após o beneficiamento do caulim.

Portanto, conhecer sobre o uso da terra, e torna-se relevante pela necessidade de garantir sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas e trazidas à tona no debate sobre o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2013). Conhecer seus impactos e vulnerabilidades é crucial.

A partir do uso de ferramentas computacionais surgidas para o processamento digital de imagens de satélites e, posteriormente, para processamento de dados geoespaciais chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pode-se coletar, checar, integrar e analisar dados e informações relacionadas com a superfície da Terra (Avelino, 2004). Desde o advento da primeira imagem obtida pelo sensor MSS (Multispectral Sensor System) em 1972, que o sensoriamento remoto tornou-se uma tecnologia das mais eficientes geotecnologias para estudos ambientais, sempre em franca expansão e evolução tecnológica ao longo dos anos. As transformações espectrais têm sido frequentemente empregadas pelos usuários de imagens obtidas por sensores orbitais, tanto para reduzir a dimensão dos dados armazenados, como para realçar espectralmente as feições de interesse representadas na imagem (Richards & Jia, 2000). Os produtos gerados subsidiam o planejamento de ações ambientais preventivas e corretivas, a fim de minimizar o impacto ambiental decorrente da atividade mineradora e para a criação de políticas de crescimento da atividade agrícola de acordo com a natureza peculiar da fisiografia de uma região (Nascimento, 2011).

A Tasseled Cap (TC) (Kauth-Thomas) é um tipo de transformação espectral projetada para analisar e mapear mudanças de vegetação registradas por variados sistemas sensores embarcados em satélites. Foi

desenvolvido em 1976 por R.J. Kauth e G.S. Thomas do *Environmental Research Institute of Michigan* (ERIM) (Kauth & Thomas, 1976). A TC pode ser definida como uma transformação linear dos dados multiespectrais que projeta a informação da vegetação e do solo em um plano simples dentro de um espaço de dados multiespectrais. Isso permite distinguir diferenças na vegetação, no reconhecimento dos vários estágios do desenvolvimento de culturas agrícolas em relação a outros elementos ambientais e no monitoramento das condições da vegetação (Brites, 1996; Jensen, 1996).

A TC consiste basicamente na transformação dos dados da imagem em um novo sistema de coordenadas com um novo conjunto de eixos ortogonais: *brightness* (brilho), associado a solos nus ou parcialmente cobertos, de efeito antrópico ou não, como concreto, asfalto, cascalho, afloramentos de rocha e outras áreas descobertas; *greenness* (verde), associado a vegetação verde; e, *wetness* (umidade), relacionado à senescência da vegetação (Huang *et al.*, 2002). A partir desse estudo inicial, outros autores como Huang (2002) e Baig (2014) desenvolveram novos coeficientes para sensores diferentes do MSS.

O objetivo do presente trabalho é analisar os componentes verdor e brilho da TC e verificar as áreas de vegetação fotossinteticamente ativa, as suas extensões em épocas distintas, as áreas de extração e concentração de material particulado proveniente do caulim, além dos problemas advindos da extração desse minério.

## METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho foram adquiridas do repositório *Earth Explorer* – USGS (United States Geological Survey - <http://earthexplorer.usgs.gov/>) imagens do satélite Land Remote Sense Satellite (LANDSAT) (órbita 215 / ponto 065) captadas pelos sensores ETM<sup>+</sup> e OLI embarcados nesse satélite (TABELA X).

TABELA 1. Informações das imagens orbitais. Fonte: USGS

Sensor	Data	Ângulo de Elevação Solar	Ângulo azimutal
ETM <sup>+</sup>	28/09/2001	61.10405743	81.31083398
OLI	13/09/2016	61.15655601	69.00286376

As cenas LANDSAT 7 ETM<sup>+</sup> e LANDSAT 8 OLI baixadas via repositório USGS foram reprojatadas para o sistema de coordenada projetada SIRGAS 2000 UTM Zone 24S, orientando as imagens para o hemisfério sul, sendo esse processo e os demais foram realizados apenas para as bandas utilizadas na TC. Na LANDSAT 7, foram selecionadas as bandas 1 (azul-verde), 2 (verde), 3 (vermelho), 4, 5 e 7 (diferentes comprimentos de ondas do infravermelho refletido). Na LANDSAT 8, as bandas selecionadas foram 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo), 6 e 7 (diferentes comprimentos de onda do infravermelho de onda curta).

A partir dos dados presentes nos arquivos .MTL (metadados) foi realizada a correção atmosférica, a fim de corrigir as alterações nas cenas provenientes dos gases e da umidade presentes na atmosfera da terra e de falhas no sensor, posteriormente foi realizada a TC ao se aplicar coeficientes multiplicativos específicos para cada banda da cena LANDSAT 7 e LANDSAT 8, porém de forma integrada, onde é possível ressaltar as informações de sete bandas espectrais, para que as informações de outros alvos captados também sejam analisadas. Após esse procedimento, as imagens para os anos de 2001 e 2016 foram recortadas, adotando o limite político do município em estudo.

Para a análise e detecção de material particulado e solo descoberto nas cenas LANDSAT 7 e LANDSAT 8 foi selecionada a *feature brightness* (brilho) e para a análise e detecção da vegetação presente na área de estudo foi selecionada a *feature greenness* (verde) que analisa a atividade fotossintética da vegetação. Para a obtenção os resultados, foi aplicada a seguinte operação matemática:

- Cálculo Sensor OLI:

$$\text{TasCap}_{\text{OLI}} = (\text{coeff2} * \text{band2}) + (\text{coeff3} * \text{band3}) + (\text{coeff4} * \text{band4}) + (\text{coeff5} * \text{band5}) + (\text{coeff6} * \text{band6}) + (\text{coeff7} * \text{band7})$$

- Cálculo Sensor ETM<sup>+</sup>:

$$\text{TasCap}_{\text{ETM}^+} = (\text{coeff1} * \text{band1}) + (\text{coeff2} * \text{band2}) + (\text{coeff3} * \text{band3}) + (\text{coeff4} * \text{band4}) + (\text{coeff5} * \text{band5}) + (\text{coeff7} * \text{band7})$$

Os coeficientes utilizados para o cálculo das cenas LANDSAT 7 ETM<sup>+</sup> e 8 OLI foram propostos por e Baig *et al.* (2014), respectivamente:

TABELA 2. Coeficientes *Brightness* e *Greenness* das cenas LANDSAT 7 ETM+.

	Coeficiente Banda 1	Coeficiente Banda 2	Coeficiente Banda 3	Coeficiente Banda 4	Coeficiente Banda 5	Coeficiente Banda 7
<b>Brightness</b>	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
<b>Greenness</b>	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630

TABELA 3. Coeficientes *Brightness* e *Greenness* das cenas LANDSAT 8 OLI.

	Coeficiente Banda 2	Coeficiente Banda 3	Coeficiente Banda 4	Coeficiente Banda 5	Coeficiente Banda 6	Coeficiente Banda 7
<b>Brightness</b>	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.5080	0.1872
<b>Greenness</b>	-0.2941	-0.2430	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608

Após esse procedimento, foi realizada uma classificação por fatiamento a partir das imagens de verdor e brilho geradas na transformação TC. O método de classificação utilizado realça os pixels cujas intensidades se situam dentro de um intervalo especificado (a fatia), isto é, entre um máximo e um mínimo. Esta classificação permitiu o realce das regiões com a atividade fotossintética mais alta ou mais baixa e de áreas de solo exposto.

Devido a ausência de informações de chuva para o município de Equador no ano de 2001, a sua estação chuvosa foi caracterizada a partir dos dados do posto pluviométrico da Emater localizado em Parelhas, distante cerca de 30 km do município em estudo. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, para fins climatológicos uma estação abrange um raio de 100km em torno da estação (WMO, 2008).

Até o mês de Setembro, período de aquisição das imagens desse estudo, foi registrada a precipitação de 280 mm para 2001 e 527,6mm para o ano de 2016. Observou-se também as precipitações para os quatro anos que antecedem os anos de 2001 e 2016, conforme apresenta a TABELA 4:

TABELA 4. Dados pluviométricos dos quatro anos que antecedem os anos de estudo. Fonte: EMPARN.

Ano	Precipitação (mm)	Média (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Média (mm)
1997	444	492,1	2012	224,6	297,3
1998	204		2013	238,1	
1999	365		2014	465,5	
2000	955,5		2015	261,1	

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A transformação TC é empregada quando se quer reduzir os dados e aumentar a percepção de características físicas da cena, obtendo-se novas bandas através do seu ajuste linear original. Deste modo, as informações são rearranjadas em relação a novos eixos que estão relacionados diretamente com as características físicas da cena, o brilho, o verde e a umidade (Schramm & Vibrans, 2007). Os resultados obtidos para a classificação TC verdor e brilho para o ano de 2001 e 2016 são apresentados na TABELA 5 abaixo:

TABELA 5. Resultados obtidos de verdor e brilho da Transformação Tasseled Cap.

	2001		2016	
	Maior Valor	Menor Valor	Maior Valor	Menor Valor
Verdor	0,178077	- 0,168496	0,280007	- 0,178824
Brilho	0,867798	0,113136	1,39123	0,0526796

Observa-se que 2016 apresentou maior valor de verdor (0,280007), mostrando que, em comparação a 2001, a vegetação na área de estudo teve maior atividade fotossintética. Os valores obtidos de verdor neste estudo podem ser explicados ao comparar o regime hídrico para os anos estudados. O acumulado de chuva, até o mês de setembro de 2016 (527,6mm), foi maior que o acumulado até setembro de 2001 (280mm), isso mostra que algumas áreas apresentaram uma atividade fotossintética maior. Entretanto, ao se analisar o TC brilho, verifica-se que o ano de 2016 apresentou maior valor de brilho (1,39123) indicando que as áreas com material particulado e/ou solo exposto foram maiores q em 2001, conforme observado na Figura 1b. Ao observar a Figura 1a, verifica-se que a extensão de vegetação fotossinteticamente ativa de 2001 é maior que em 2016, isso pode ser explicado a partir da análise do acumulado de chuvas dos anos que antecedem os

períodos estudados. A média pluviométrica dos anos que antecedem 2016 foi menor que 300mm (TABELA 4) caracterizando assim um período de seca prolongada. Infere-se, portanto, que a vegetação não tenha se recuperado desse período de seca e que o desmatamento para desenvolvimento da prática mineral influenciou na redução de áreas com vegetação.

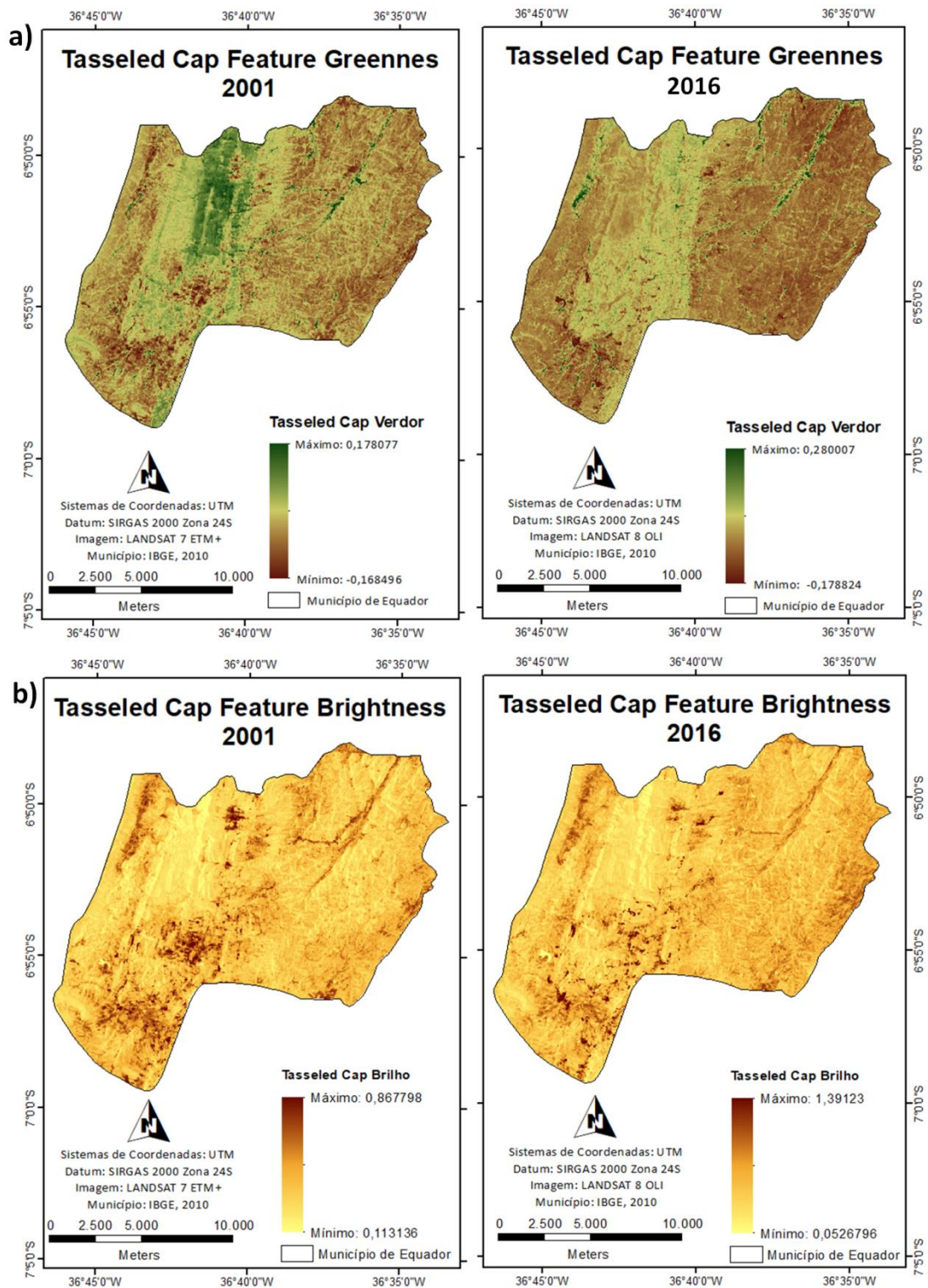


Figura 1. Mapas de a) Verdor e b) brilho dos anos de 2001 e 2016 do Município de Equador.

As duas cenas são compostas por grandes áreas de vegetação pouco ativa fotossinteticamente. As zonas mais verdes compõem regiões fotossinteticamente ativas, como a vegetação que acompanha o curso de rios e a que está presente no alto da Serra das Queimadas (Figura 2).

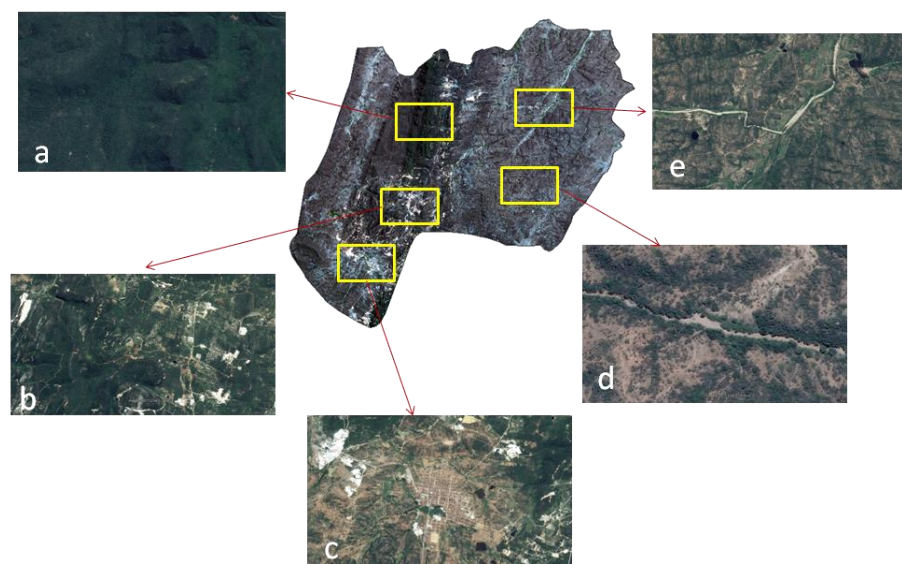


Figura 2. Município de Equador. a) Vegetação arborea no alto da Serra das Queimadas; b) Exploração de caulim na porção sul da Serra das Queimadas; c) Município de Equador; d) Vegetação da porção sudeste e curso d'água; e) Vegetação da porção nordeste e curso d'água. Fonte: Google Earth Pro.

A Figura 3 apresenta a classificação por fatiamento aplicada às imagens TC dos anos de 2001 e 2016. As classes encontradas nas imagens são diferentes porque se tratam de propósitos e de alvos diferentes. A imagem de verdor foi classificada com as feições: vegetação Densa, Espaçada e Outras Feições, porque o foco principal da análise foi a vegetação e a sua atividade fotossintética. No caso de brilho, classificou-se com mais classes, devido ao objetivo da TC brilho, que é a presença de material particulado no solo, podendo ser possível identificar solo exposto, zonas de extrativismo mineral, vegetação nativa e corpos d'água.

Em 2001, a cobertura com vegetação densa correspondia a 6,65 ha da área total do município, enquanto que em 2016, esse valor foi cerca de 50% menor (Figura 2). Quanto às áreas de vegetação rala, espaçada, verificou-se que aumentaram consideravelmente durante o período de estudo. No entanto, isso não quer dizer que houve supressão vegetal a ponto de reduzir pela metade as áreas de vegetação densa, e sim que a atividade fotossintética da vegetação foi maior em 2001, e isso pode ser atribuído ao regime pluviométrico da região no período analisado, uma vez que os anos que precederam 2001 tiveram elevados acumulados de chuva (média para os quatro últimos anos de 492,1mm), principalmente o ano 2000 (955,5mm), que deixou a vegetação ativa fotossinteticamente, principalmente na região da Serra das Queimadas.

Ao analisar a classificação no produto TC Brilho, observa-se que houve expansão de 1 hectare nas áreas de extração mineral de caulim no período estudado. Porém, apesar da extração na região ser de forma subterrânea, verifica-se que a mecanização no processo de abertura das galerias é mais impactante, do ponto de vista que a utilização de retroescavadeiras faz com que a retirada da vegetação ocorra de forma mais rápida e abranja áreas maiores. Contudo, por ser uma classificação a partir do resultado da TC brilho, as feições destacadas são referentes à presença de material particulado no solo. Apesar dos índices de brilho propostos por Huang (2002) e Baig (2014) serem largamente utilizados, Mather (1999) afirma que o componente brilho (do TM) foi definida para amostras de solos da América do Norte, logo a aplicação da transformação, em cenas agrícolas de outras partes do mundo, poderão não ser bem sucedida se a posição do eixo brilho não corresponder às características de refletância do solo local.

Nascimento *et al.* (2011), ao realizar o mapeamento do uso e da cobertura da terra no município de Equador utilizando imagens do satélite CBERS-2B, verificou que as áreas de mineração correspondiam a 1.259,74 ha. Salienta-se que não somente as atividades extrativistas de caulim foram contabilizadas, mas também as pedreiras existentes na região.

Além do desmatamento, há diversas minas abandonadas, sem nenhuma ação de recuperação. Em muitas delas pode-se verificar até a presença de lixo urbano, que, segundo alguns garimpeiros, por um período de tempo foi permitido pelos gestores locais a prática de soterramento das cavas. No mais, observa-se uma grande quantidade de rejeitos nas encostas, estradas e drenagens, que, junto aos demais fatores citados, ocasionam e intensificam os processos erosivos, de assoreamento e contaminação dos corpos hídricos. A

Figura 4 apresenta os problemas supracitados, destacando-se as clareiras abertas em encostas e topos de morros.

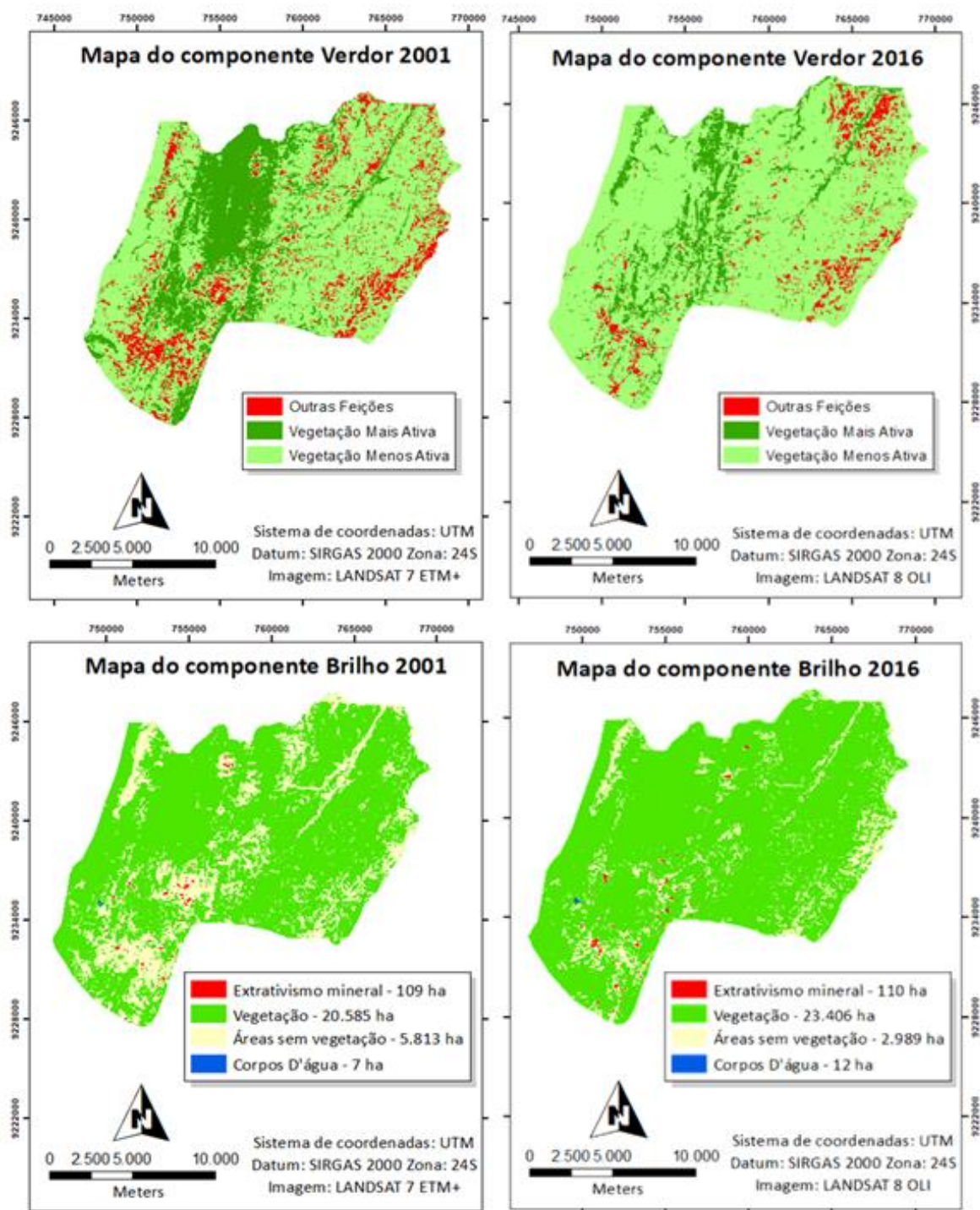


Figura 3. Classificação por fatiamento do Verdor e Brilho nos anos de 2001 e 2016 do município de Equador.

Embora o município em estudo componha o Núcleo de Desertificação Seridó, os resultados obtidos apontam que o processo de desertificação é incipiente, porém suas feições já são notadas principalmente pelas áreas sem vegetação na porção sul da serra das Queimadas e nas áreas a nordeste do município, que são constituídas por terrenos arenosos e pedregosos.

Nessa região, durante o período de chuvas, a agricultura configura-se como atividade complementar para a subsistência de muitas famílias da região. No entanto, o modelo de produção é de baixa produtividade, com espécies pouco adaptadas às condições climáticas, e esses fatores promovem, junto à falta de planejamento/conhecimento do pequeno agricultor, o esgotamento do potencial agrícola do solo, com o conseqüente abandono das atividades sem a devida recuperação das áreas (Figura 5).

Corroborando com Nascimento (2011), verifica-se a necessidade de propostas para o desenvolvimento das atividades garimpeira, levando em consideração as condições naturais do semiárido, a minimização dos passivos ambientais durante a operação da mina, a maximização da durabilidade do tempo de vida da mina e as aspirações dos atores diretamente envolvidos nessas atividades.



Figura 4. A) Áreas desmatadas para exploração do Caulim; B) Minas abandonadas, algumas soterradas com lixo urbano; C) Deposição do Rejeito de Caulim após o beneficiamento.



Figura 5. Áreas abandonadas de cultivos agrícolas.

O Brasil possui extensos depósitos de caulins residuais (Gonçalves, 2003). O caulim residual é formado a partir de ação do intemperismo ou da hidrotermia sobre rochas, apresentando baixa resistência mecânica a cru, baixa plasticidade, morfologia lamelar, e é geralmente constituído por quartzo, mica moscovita e caulinita bem cristalizada (Nascimento, 2013). Diversos estudos já são realizados no tocante ao reaproveitamento do material residual, como, por exemplo, a sua utilização na síntese de zeólitas (Nascimento *et al.*, 2013; Maia *et al.*, 2007; Mello & Riella, 2010; Hildebrando *et al.*, 2012), na composição de substratos para produção de mudas de Pau-Brasil, Graviola e Mamão (Araújo *et al.*, 2013; Campos *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2008), na substituição do caulim bruto pelo próprio resíduo na fabricação de cerâmica branca (Sousa *et al.*, 2007; Oliveira *et al.* 2015), na produção de argamassas, pisos e tijolos ecológicos (Rocha *et al.*, 2008; Anjos, 2011).

## CONCLUSÕES

O regime hídrico nos anos que antecedem 2016 aponta que a vegetação passou por um período de estresse e que ainda não havia se recuperado. É tanto que quando analisada a TC verdor para o ano de 2016, os valores variam de -0.178 até 0.280 e a TC brilho de 0.052 até 1.391, indicando um aumento na exposição dos materiais para essa componente, quando comparado a TC brilho de 2001. Logo, embora a TC verdor em 2016 tenha sido maior que em 2001, a TC brilho mostra que as áreas de solo exposto e/ou material particulado aumentaram.

Verifica-se que a vegetação é melhor preservada na porção centro norte da serra das Queimadas, indicando a necessidade de esforços a serem realizados para a conservação da caatinga que abrange a região. O topo das elevações locais constituem áreas de recarga para um sistema secundário de percolação de água via foliação e fraturamento de rochas de baixa capacidade de armazenamento de água, de modo que qualquer possibilidade de retenção de água na região é de fundamental importância para todos os atores locais e regionais.

Os resultados deste trabalho apontam para áreas que já foram desmatadas devido à intensificação da atividade, que é constante, e, portanto, há necessidade de restauração dessas áreas, como forma de minimização dos efeitos da exploração do caulim. Essa expansão do desmatamento e da exploração pode ser vista em séries históricas de dados da atividade extrativista e de imagens.

O uso das geotecnologias proporciona planejamento adequado capaz de nortear soluções para os problemas ambientais consequentes da produção e das tecnologias atualmente empregadas na lavra e no beneficiamento do Caulim.

A utilização das imagens LANDSAT 5 TM LANDSAT 8 OLI/TIRS se configuraram satisfatórias na obtenção dos resultados do Tasseled Cap para a análise da vegetação e de material exposto no solo.

Por fim, verifica-se a importância da utilização do rejeito de caulim da região para fins comerciais, bem como a fomentação e investimentos em estudos referentes ao uso dos rejeitos provenientes do processo de beneficiamento do caulim, uma vez que investindo na comercialização desses resíduos, poderiam minimizar o impacto ao ambiente, uma vez que o rejeito já depositado na natureza poderia ser retirado para comercialização.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, C. M. Utilização de resíduos de caulim em tijolos de solo-cal. 2011. 78 folhas. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

ARAÚJO, A. C. de; OLIVEIRA, V. E. A.; ARAÚJO, A. C. de; PEREIRA, W. E.; PINHEIRO, S. M. G. Utilização do rejeito de caulim na composição de substratos para produção de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.). Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 8, n. 2, dez. 2013. ISSN 2236-7934. Disponível em: <<http://aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/15216>>. Acesso em: 26 março. 2017.

AVELINO, P. H. M. A trajetória da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas, Três Lagoas, v.1 – nº 1 – ano 1, Novembro 2004.

BAIG, M.H.A.; ZHANG, L.; SHUAI, T.; TONG, Q. Derivation of a tasseled Cap transformation based on LANDSAT 8 at-satellite reflectance. Remote Sens. Lett. 2014, 5, 423–431.

- BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Verificação da exatidão em classificação de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.20, n.3, p.415-424, 1996.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES, F. J.; LIMA, A. G. de; MENDONÇA, R. M. N. de. Crescimento de porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata*, L.) em substratos contendo doses crescentes de rejeitos de caulim. Revista de Biologia e Ciências da Terra Volume 8 - Número 1 - 1º Semestre 2008, ISSN 1519-5228. Pag 61- 66. Disponível em: < <http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/gravioleira-518172a3c7940.pdf> > Acesso em: 26 março 2017.
- CARVALHO; GARIGLIO; BARCELLOS. Caracterização das áreas de ocorrência de desertificação no Rio Grande do Norte, 2000.
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário Mineral Brasil. Brasília, 2010. ISSN: 0100- 9303.
- FARIAS, C. E. G., Mineração e Meio Ambiente no Brasil. PNUD, 2002.
- GONÇALVES, P. S. Influência do caulim nas características reológicas de esmaltes cerâmicos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2003. 94 f. (Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais), 2003.
- HIDELBRANDO, E. A.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F.; VALENZUELA-DIAZ, F. R. Síntese de zeólita do tipo faujasita a partir de um rejeito de caulim. Revista *Cerâmica* 58 (2012) 453-458
- Huang, C.; Wylie, B.; Yang, L.; Homer, C.; Zylstra, C. Derivation of a tasseled Cap transformation based on LANDSAT 7 at-satellite reflectance. USGS. Disponível em: < <http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf> >. Acesso em: 10 mar. 2016
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da terra. In: Manuais técnicos em Geociências. 2013, V. 07, 3ª edição, Rio de Janeiro – RJ.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. The tasseled cap ñ a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, jun, 1976. Proceedings. West Lafayette, Indiana, 1976, p.41-51.
- LEITE, J. Y. P.; SOUSA, L. D. A.; HARIMA, E. Rejeito de Caulim de APL de Pegmatito do RN/PB – Uma Fonte Promissora para Cerâmica Branca. *Holos*, Ano 23, Vol. 3, 2007.
- MAIA, A. A. B.; SALDANHA, E.; ANGÉLICA, R. S.; SOUZA, C. A. G.; NEVES, R. F. Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. Revista *Cerâmica* 53 (2007) 319-324. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n327/a1753327.pdf> > Acesso em: 15 março 2017.
- MATHER, P.M. Computer processing of remotely-sensed images – an introduction. Midsomer Norton, Wiley, 1999, 292p.
- MELO, C. R.; RIELLA, H. G. Síntese de zeólita tipo NaA a partir de caulim para obtenção de zeólita 5A através de troca iônica. Revista *Cerâmica* 56 (2010) 340-346. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n340/v56n340a05.pdf> > Acesso em: 15 março 2017.
- NASCIMENTO, P. S. de R.; PETTA, R. A.; CAMPOS, T. F. da C. Mapeamento do uso e cobertura da terra do município de Equador (RN) utilizando imagens do satélite CBERS-2B, visando subsidiar as atividades garimpeiras e agrícolas. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2708. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.17.46?mirror=urllib.net/www/2011/03.29.20.55&metadataarepository=dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.17.46.01> > Acesso em: 16 de março.

NASCIMENTO, M. R. do; DINIZ, A. M. P.; ARAÚJO, H. P. O. Reaproveitamento do rejeito de caulim, de Junco do Seridó-PB, na síntese de zeólitas. Revista Principia. Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, 2013, nº 23, pag 77-87, João Pessoa-PB.

OLIVEIRA, B. S. C. de.; SOUZA, M. M.; COSTA, P. R. F. Utilização dos rejeitos do caulim e feldspato na fabricação de piso cerâmico. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015. Fortaleza – CE. Disponível em: <[http://www.confea.org.br/media/Geologia%20e%20Minas\\_utilizacao\\_dos\\_rejeitos\\_do\\_caulim\\_e\\_feldspato\\_na\\_fabricacao\\_de\\_piso\\_ceramico.pdf](http://www.confea.org.br/media/Geologia%20e%20Minas_utilizacao_dos_rejeitos_do_caulim_e_feldspato_na_fabricacao_de_piso_ceramico.pdf)> Acesso em: 30 maio 2017.

PEREIRA, W. E.; SOUSA, G. G.; ALENCAR, M. L. de; SILVA, G. L. da; Crescimento de mudas de mamoeiro em substratos contendo caulim. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.3, n1. p 27-35 de abril/junho de 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/nandi\_000/Downloads/91-94-1-PB.pdf> Acesso em: 16 de março.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. Remote sensing digital image analysis – an introduction. Germany, Springer, 2000, 363p.

ROCHA, A. K. A. da et al . Argamassas mistas para alvenaria utilizando resíduo de caulim - Parte I: comportamento mecânico. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto , v. 61, n. 4, p. 505-512, Dec. 2008 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672008000400016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672008000400016&lng=en&nrm=iso)>. access on 26 april 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672008000400016>.

SCORZA EP. 1944. Província Pegmatítica da Borborema (Nordeste do Brasil). MA, DNPM, DGM. RJ. 58 p.

SCHRAMM, V. F.; VIBRANS, A. C. Uso de imagens hiperespectrais (EO-1 Hyperion) para detalhamento da detecção das formações florestais na bacia do Itajaí. Revista Dynamis (out-dez/2007) n.13 vol.1. 60p.

SILVA, S. P. Caulim. In: Balanço Mineral Brasileiro. [S.l.: s.n.], 2001.

SOUZA, L. D. A. de.; HARIMA, E.; LEITE, J. Y. P. Rejeito de caulim de apl de Pegmatito do RN/PB – uma fonte promissora para cerâmica branca. Revista Holos. Ano 23, Vol. 3, 2007. Pag 212 – 222.

WMO. World Meteorological Organization: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 2008. Seventh edition. WMO-No. 08, Geneva.

## Capítulo 2

### **Levantamento das doenças respiratórias na UMIIE / RN, entre os anos de 2001 e 2016.**

#### **Survey of respiratory diseases in the UMIIE / RN, between 2001 and 2016.**

#### **Fernanda Lourenço da Silva**

Mestranda do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)/UFRN, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [flourencos88@gmail.com](mailto:flourencos88@gmail.com)

#### **Sebastião Milton Pinheiro da Silva**

Doutor em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [smpsilva@cchla.ufrn.br](mailto:smpsilva@cchla.ufrn.br)

#### **Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa**

Doutor em Biologia e Fisiologia Vegetal pela Université Pierre et Marie Curie. Professor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [magdialoufal@gmail.com](mailto:magdialoufal@gmail.com)

ESTE ARTIGO SERÁ SUBMETIDO A REVISTA DE SAÚDE PÚBLICA E,  
PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES  
DESTA REVISTA  
(ANEXO)

#### **RESUMO**

O município de Equador/RN, localizado no semiárido potiguar, apresenta relevante exploração e beneficiamento de caulim. No entanto, essas atividades geram a formação de grandes pilhas de rejeitos que são depositadas de forma aleatória na natureza, contaminando o solo, os corpos hídricos e o ar. Objetiva-se com esse trabalho verificar quais doenças respiratórias são mais frequentes no município, investigando a relação com os rejeitos de caulim. Para tanto, foram selecionados os casos de doenças respiratórias (Broncopneumonia, Bronquite, Asma, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), Insuficiência Respiratória Aguda (IRA), Pneumonia, Pneumoconiose, Silicose, Tumor Pulmonar, Edema Pulmonar e Neoplasia Pulmonar) registrados na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE) no período de 2001 a 2015. Os dados associados a essas enfermidades foram: Idade do Paciente, bairro que reside e mês que deu entrada no hospital. A pneumonia foi o diagnóstico mais registrado (134 casos), seguido pela broncopneumonia (107) e asma (59). A silicose apresentou apenas dois casos registrados no período em estudo e o diagnóstico pneumoconiose apresentou três

casos. O bairro Centro apresentou mais tipos diferentes dos diagnósticos estudados, que foram DPOC, Edema pulmonar, IRA, Neoplasia pulmonar, e silicose. As crianças entre 0 e 5 anos são as mais acometidas pelos diagnósticos verificados.

**Palavras Chave:** Mineração, Caulim, doenças respiratórias.

## **ABSTRACT**

The municipality of Equador/RN, located in the semi-arid region of the state of Rio Grande do Norte, presents significant exploitation and processing of kaolin. However, these activities generate the formation of large piles of tailings that are deposited randomly in nature, contaminating soil, water bodies and air. The objective of this study is to verify which respiratory diseases are most frequent in the city, investigating the relationship with kaolin rejects. We selected cases of respiratory diseases (Bronchopneumonia, Bronchitis, Asthma, Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD), Acute breathing insufficiency (ABI), Pneumonia, Pneumoconiosis, Silicosis, Pulmonary Tumor, Pulmonary Edema and Pulmonary Neoplasm) registered in the book of occurrence of the Integrated Maternal and Child Unit of Equador between the years 2001 and 2015. The data associated to these diseases were: Patient's age, neighborhood residing, and month admitted to the hospital. Pneumonia was the most commonly diagnosed (134 cases), followed by bronchopneumonia (107) and asthma (59). Silicosis presented only two cases recorded in the study period and the pneumoconiosis diagnosis presented three cases. The Centro neighborhood presented more different types of diagnoses studied, which were COPD, pulmonary edema, ABI, pulmonary neoplasia, and silicosis. Children between 0 and 5 years old are the most affected by the diagnoses.

**Keywords:** Mining, Kaolin, respiratory diseases.

## **INTRODUÇÃO**

Apesar da importância econômica que a atividade de mineração representa para as localidades onde estas são realizadas, e para a economia do país, cabe ressaltar que o modo como vem sendo desenvolvida, além de caracterizar um total descaso para com o meio ambiente, põe em risco a proteção das pessoas que desta

sobrevivem, devido às condições de periculosidade e de insalubridade em que muitos se encontram<sup>1</sup>.

A indústria da mineração e beneficiamento de caulim, que produz altas quantidades de resíduos, os quais são descartados sem nenhum tratamento prévio, gera danos incalculáveis<sup>2</sup>, tanto para o ambiente quanto para a população local. Este minério é largamente utilizado na indústria, com destaque na fabricação de papéis, cerâmicas branca, vidros, tintas, plásticos, fibra de vidro, cosméticos, fármacos, produtos alimentícios, pesticidas, clarificantes, catalisadores para craqueamento de petróleo, dentre outros produtos<sup>3,4</sup>.

Do ponto de vista social, diversos autores<sup>5,6,7,8</sup> discutem a respeito do surgimento das pneumoconioses, já que a atividade mineradora a céu aberto libera na atmosfera poeiras contendo resíduos minerais, provocando doenças pulmonares em decorrência da inalação de partículas minerais. Salienta-se que atividades mineradoras no subsolo também favorecem a liberação de poeiras, posto que o rejeito do material retirado é frequentemente depositado a céu aberto.

As pneumoconioses (do grego, *conion* = poeira), são patologias relacionadas a inalação de poeiras em ambientes de trabalho, sendo excluídas dessa denominação as alterações neoplásicas, a asma, a bronquite, e o enfisema, e reúnem, portanto, um conjunto de doenças respiratórias conhecidas pelo principal agente etiológico, como silicose (sílica) e asbestose (asbestato)<sup>9</sup>.

No Brasil, a principal pneumoconiose, do ponto de vista epidemiológico e de Saúde Pública, é a silicose, causada pela exposição à poeira de sílica livre ou dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) em sua forma cristalina<sup>10</sup>. O processo fisiopatológico inicia-se quando a poeira inalada atinge o parênquima pulmonar, atraindo células fagocitárias e de defesa para o local, ocasionando a liberação de substâncias quimiotáticas e também fibrogênicas, dando início à lesão silicótica, constituída por camadas de tecido hialino, que possuem quantidade razoável de poeira<sup>11</sup>.

O município de Equador/RN, localizado no semiárido potiguar, apresenta relevante atividade de exploração e beneficiamento de caulim. No entanto, a extração ocorre de forma desordenada, sem planos de manejo exploratório, de recuperação das áreas degradadas, e de resíduos gerados após o beneficiamento do caulim. Este muitas vezes é depositado de forma aleatória na natureza, formando pilhas de rejeitos que ficam sujeitos a ação do vento e da água. Esses processos de dispersão tendem a contaminar corpos hídricos, e principalmente o ar com o

material particulado depositado, deste modo, objetiva-se com esse trabalho verificar quais doenças respiratórias são mais frequentes no município.

## **METODOLOGIA**

Foram selecionados os casos de doenças respiratórias registrados na Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE) no período de 2001 a 2015. A UMIIE conta com um corpo médico de 10 plantonistas, que atendem nas modalidades de Clínico Geral e Obstetrícia. Quanto a estrutura física, a unidade possui 21 leitos, para internação de adultos, crianças e casos obstétricos, um laboratório de análises clínicas, uma sala de Raio-x que funciona desde 2003, mas que, segundo o diretor da unidade quebra constantemente, não conseguindo atender as demandas na região. O atendimento não é restrito a população de Equador, os habitantes da cidade vizinha de Junco do Seridó-PB, frequentemente procuram atendimento nessa unidade.

Portanto, foram selecionadas as enfermidades: Broncopneumonia, Bronquite, Asma, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), Insuficiência Respiratória Aguda (IRA), Pneumonia, Pneumoconiose, Silicose, Tumor Pulmonar, Edema Pulmonar e Neoplasia Pulmonar. Os dados associados a essas enfermidades foram: Idade do Paciente, bairro que reside e mês que deu entrada no hospital, essas informações foram organizadas em planilhas e passaram por análises descritivas.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com os dados coletados no município, foi verificado o número de casos por Diagnóstico e a relação entre o diagnóstico e a idade dos pacientes.

A pneumonia foi o diagnóstico mais registrado (134 casos), seguido pela broncopneumonia (107) e asma (59). Foram ainda registrados casos de bronquite (50), Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica - DPOC (34), Edema pulmonar (1), Insuficiência Respiratória Aguda – IRA (11), Neoplasia pulmonar (1), Pneumoconiose (3), silicose (2), Tumor pulmonar (1) e Pneumopatia (30).

Uma pesquisa realizada em Belo Horizonte com 300 trabalhadores expostos à sílica verificou que estes apresentam como co-morbidades mais prevalentes a pneumonia (9,4%) e a asma (5%) dos pacientes pesquisados<sup>12</sup>.

A silicose apresentou apenas dois casos registrados no período em estudo e o diagnóstico pneumoconiose apresentou três casos. Com base em dados do DATAPREV<sup>13</sup>, verificou-se que entre os anos de 1999 e 2002, 46 casos de

pneumoconioses foram registrados na região nordeste (dos quais 19 eram de silicose). Em Parelhas, município vizinho de Equador, foi registrado 4 casos de silicose entre os anos de 1996 e 2006<sup>14</sup>. Em Pedra Lavrada, distante 48km do município em estudo, informações do Serviço de Vigilância Epidemiológica, vinculado à Secretaria Municipal de Saúde de Pedra Lavrada, distante 48km de Equador, apontam que 29% dos pacientes atendidos na Unidade de Saúde local, no ano de 2004, tinham algum problema respiratório, e que no mesmo ano havia três pacientes com silicose em estado grave e até o ano de 2004, cinco pessoas morreram por conta dessa enfermidade<sup>15</sup>.

No entanto, a silicose por estar associada a uma série de outras morbidades, pode distorcer o registro no atestado de óbito. A Secretaria de Saúde de Pedra Lavrada informa que há casos de mortes nos quais a silicose não é registrada no atestado de óbito, constando a causa *mortis* por outros motivos, como parada cardiorrespiratória. Esse desconhecimento pode ser associado a falta de diagnóstico preciso da doença<sup>15</sup>.

A silicose é diagnosticada através da análise da radiografia do tórax, que mostra o padrão típico de cicatriz e nódulos, e da história ocupacional do paciente<sup>16</sup>. A Organização Internacional do Trabalho<sup>17</sup> criou um código de alterações radiológicas que quantifica os pequenos nódulos de silicose em 12 subcategorias. No Brasil, considera-se como caso de silicose quando a leitura é feita por pelo menos três leitores experientes, associando as categorias propostas pela OIT<sup>18</sup>. Portanto, infere-se que o diagnóstico preciso dessa doença não é realizado, uma vez que não há o acompanhamento adequado do histórico ocupacional e nem equipamento adequado para diagnosticar com precisão a enfermidade. O município de Equador, por exemplo, apesar de contar com uma sala de raio-x, tem que encaminhar pacientes em casos extremos para Campina Grande PB, para realização de exames mais acurados e tratamento adequado, pois o equipamento de raio-x constantemente quebra. Ao se verificar o número de casos de pneumoconioses (3), percebe-se a precariedade quanto ao diagnóstico exato das pneumopatias.

Avelino<sup>19</sup>, ao questionar a cerca do conhecimento da silicose entre os mineiros no município do Junco Seridó-PB, verificou que 83,3% dos operários entrevistados não sabia do aparecimento dessa doença, e 16,7% não conhecem essa doença que é tão comum entre eles. Esse desconhecimento junto ao receio dos indivíduos acometidos de serem prejudicados nas atividades garimpeiras, seja

em uma empresa ou de forma autônoma, proporciona o aumento na deficiência nos registros.

A maioria dos trabalhadores possui consciência de que tais atividades tem a Capacidade de prejudicar sua saúde, porém há necessidade de treinamento dos serviços de saúde e equipamentos adequados para um diagnóstico preciso<sup>14</sup>, bem como esclarecimento da população e fiscalização dos órgãos competentes quanto a segurança do trabalho nas empresas mineradoras. Além disso, outras condições patológicas pulmonares podem ser diagnosticadas, uma vez que a sílica não produz apenas a silicose, sua exposição pode implicar no acometimento de outras pneumopatias, como a DPOC, que neste estudou apresentou 34 casos.

Quando verificada a distribuição dos diagnósticos por localidade, verificou-se que o a broncopneumonia foi mais frequente no bairro Alto da Bela Vista; a bronquite no bairro Dinarte Mariz; o tumor pulmonar foi registrado no bairro Alto do Juazeiro; as pneumopatias no bairro Prefeito José Marcelino de Oliveira; os diagnósticos DPOC, Edema pulmonar, IRA, Neoplasia pulmonar, e silicose foram mais frequentes no bairro Centro do município.

Observou-se que as crianças entre 0 e 5 anos são as mais acometidas pelos diagnósticos verificados. Sendo registrado para essa classe de idade 23% dos casos de broncopneumonia, 24% de bronquite, 64% para IRA, 45% registros de pneumonia e 44% de pneumopatias. Foi registrado apenas 1 caso de edema (na classe de idade entre 65-70 anos), 1 caso de neoplasia (na classe de idade entre 45-50 anos) e 1 de tumor pulmonar (na classe de idade entre 10-15 anos). Quanto a silicose, haviam dois registros apenas e correspondiam a faixa de idade entre 40 e 50 anos. A Tabela abaixo apresenta a porcentagem de casos pela idade dos diagnósticos mais frequentes (TABELA 1).

A idade da criança é um fator relevante por esta não apresentar as funções fisiológicas e um trato respiratório imaturo<sup>21</sup>. Além disso, o baixo peso ao nascer, a desnutrição, a falta ou curta duração do aleitamento materno, a ausência de imunização, a contaminação do ar doméstico e a baixa renda familiar, à qual está associada a aglomeração de pessoas, torna a criança ainda mais susceptível a essas doenças<sup>22</sup>. As doenças respiratórias classificam-se como a primeira causa de internações no Sistema Único de Saúde (SUS), e também contribuem com o índice de morbidade e mortalidade de crianças menores de 5 anos<sup>23</sup>.

TABELA 1. Porcentagem de diagnósticos pela idade dos pacientes.

Classe de idade	Frequência dos diagnósticos quanto à classe de idades				
	Broncopneumonia	Bronquite	Pneumonia	DPOC	Pneumopatia
0-5	22,94%	24,04%	45,19%	5,71%	44,12%
5-10	9,17%	14,42%	5,19%		5,88%
10-15	10,09%	4,81%	3,70%		2,94%
15-20	5,50%	2,88%	4,44%		
20-25	8,26%	3,85%	2,22%		
25-30	3,67%	2,88%	0,74%	5,71%	2,94%
30-35	3,67%		2,96%	2,86%	0,00%
35-40	2,75%	3,85%	4,44%		5,88%
40-45	3,67%	0,96%	2,22%		
45-50	4,59%	0,96%		5,71%	
50-55	0,92%	2,88%	1,48%	2,86%	2,94%
55-60	2,75%	4,81%	3,70%	14,29%	
60-65	4,59%	0,96%	1,48%	2,86%	8,82%
65-70	3,67%	4,81%	2,96%	14,29%	5,88%
70-75	2,75%	6,73%	2,96%	14,29%	
75-80	6,42%	3,85%		14,29%	2,94%
80-85	1,83%	13,46%	7,41%	8,57%	14,71%
85-90	2,75%	2,88%	6,67%	2,86%	
90-95		0,96%	2,22%	5,71%	
95-100					2,94%

Ao estudar os impactos ambientais causados pela disposição final de rejeitos provindos da mineração em Junco do Seridó/PB, Fernandes Neto e colaboradores verificaram o aparecimento de doenças respiratórias, tanto nos trabalhadores diretos com a atividade mineira, como da população das proximidades das áreas de extração, pela inalação involuntária da poeira<sup>24</sup>. Os trabalhadores do garimpo de Caulim em Equador não utilizam nenhum tipo de EPI e chegam a ficar cerca de 10 horas dentro das minas, em contato direto com a poeira. A Figura 1 retrata a insalubridade da atividade no município.

Os garimpeiros preferem não usar camisas devido às temperaturas mais elevadas dentro das minas, e isso proporciona absorção das partículas não apenas por via oral, mas também através da pele.

Embora sejam bem relatados na literatura os problemas decorrentes da pneumoconioses e suas tipologias, não há informações epidemiológicas exatas no Brasil. Pode-se atribuir essa escassez de informações devido ao diagnóstico impreciso, uma vez que algumas dessas doenças precisam de acompanhamento do histórico ocupacional do paciente e de investigação por meio de radiografias do tórax, que ajudaram a identificar a doença exata<sup>25</sup>.



Figura 1. Garimpeiros trabalhando na extração do caulim em minas.

Algumas instituições públicas como o Centro Estadual de Referência em Saúde do Trabalhador (CEREST) e a IV Unidade Regional de Saúde Pública (URSAP) realizam coletas de dados de doenças respiratórias e acidentes de trabalho nas minas de exploração de Caulim. O IV Núcleo de Saúde do Trabalhador (NURSAT), em 2010 e 2011 realizou uma investigação de óbito por Acidente de Trabalho na pequena mineração, em parceria com o CEREST Regional de Caicó, e promoveu ações de mobilização e levantamento de dados e informações para a Campanha de Acidente de Trabalho Grave no município de Equador.

No entanto, esses dados não foram amplamente divulgados para população e para os gestores municipais e estaduais. Prova disso, é que quando solicitado informações de óbitos ligados à extração do caulim (como desmoronamento de minas e por doenças respiratórias) no município em estudo ao Instituto Técnico-Científico de Polícia do Rio Grande do Norte (ITEP) regional de Caicó, a resposta obtida é que não possuíam dados de óbitos por doenças respiratórias, somente de mortes por motivos violento. Os dados coletados mostram que em um período de 20 anos houve 38 mortes violentas em Equador/RN, sendo 1 por afogamento, 1 por espancamento, 1 por picada de abelha, 5 homicídios, 6 por desmoronamento de minas, 7 por causas indeterminadas e 17 por acidente de trânsito.

Outra discussão importante é no tocante aos dados disponibilizados pela Subcoordenadoria Regional do Seridó - ITEP/Caicó-RN. Ao perguntar a diversos garimpeiros se eles conheciam alguém que morreu na atividade dentro das minas, as respostas obtidas passaram de 6 indivíduos. No final do primeiro semestre de 2015, início desta pesquisa e realização da primeira atividade de campo, foram relatados 3 desmoronamentos de minas na região. A precisão desses dados torna-se duvidosa, devido a tipificação não está relacionada com o ano do incidente, mostrando que existem diversas lacunas nessas informações.

## CONCLUSÃO

Apesar do município de Equador possuir diversos pontos de extração de caulim, alguns até dentro do próprio município, e possuir depósitos de rejeitos do beneficiamento a céu aberto, não é possível confirmar a hipótese de que os casos de pneumoconioses em Equador tenha relação direta com as atividades de base mineral, pois há necessidade de levantamento do histórico ocupacional da população, associado a diagnósticos precisos das doenças respiratórias.

## REFERÊNCIAS

1. Cabral LN, Pereira SS, Alves TL. Degradação ambiental e implicações para a saúde humana decorrentes da mineração: o caso dos trabalhadores de uma pedreira no município de Campina Grande/PB. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*. Hygeia 8(15):104 - 118, Dez/2012. p. 104-118. <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/viewFile/17212/11167>.
2. Menezes RR, Oliveira MF, Santana LNL, Neves GA, Ferreira HC. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim para a produção de corpos mulíticos. *Revista Cerâmica*. Vol. 53, 2007, Campina Grande – PB. 388-395p.
3. Silva SP. Caulim. In: Balanço Mineral Brasileiro. [S.l.: s.n.], 2001.
4. Sousa LDA, Harima E, Leite JYP. Alternativas tecnológicas para o rejeito de Caulim do APL de base mineral – RN e PB. In: *Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*, 2., 2007, João Pessoa-PB. Anais... João Pessoa: [s.n.], 2007.
5. Dreessen, WC, et al. Pneumoconiosis Among Mica and Pegmatite Workers. *J Am Med Assoc.*, [S.l.], v. 115, n. 18, p. 1571-2, 1940.

6. Gao, N, et al. Effects of Phospholipid Surfactant on Apoptosis Induction by Respirable Quartz and Kaolin in NR8383 *Rat Pulmonary Macrophages*. *Toxicology and Applied Pharmacology*, [S.l.], v. 175, p. 217-25, sep. 2001.
7. Chien VC, et al. Pneumoconiosis among workers in a Vietnamese refractory brick facility. *American Journal of Industrial Medicine*, [S.l.], v. 42, n. 5, p. 397-402, nov. 2002.
8. Goelzer B, Hanadar Z. Programa Nacional de Eliminação de Silicose, [S.l.: s.n.], 2006.
9. Brasil. Fundação nacional de saúde. manual de normas para controle das pneumoconioses: silicose, pneumoconiose dos trabalhadores do carvão e pneumoconioses por poeiras *mistas*. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
10. Algranti E. Epidemiologia das doenças ocupacionais respiratórias no Brasil. *Epidemiologia das doenças respiratórias* 2001; 1(3): 119-43.
11. Mossman BT, Churg A. Mechanism in the pathogenesis of asbestosis and silicosis. *Am J Resp Crit Care Med* 1998; 157(5): 1666–80.
12. Carneiro APS, Campos LO, Gomes MFCF, Assunção AA. Perfil de 300 trabalhadores expostos a sílica atendidos no ambulatorialmente em Belo Horizonte. *J. Pneumol*, vol, 28, nº 6. Nov.-Dez. 2002.
13. Lido AV. Pneumoconioses: Causuística de 25 anos do atendimento ambulatorial do hospital das clínicas da UNICAMP, de 1978 a 2003, em Campinas (SP). *Dissertação de mestrado*; Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas, 2004.
14. Lima EM. Doenças respiratórias associadas à atividade de mineração no município de Parelhas, região do Seridó norte-riograndense. *Dissertação de mestrado*; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Natal/RN, 2009.
15. Souza HMG, Navarro RF, Dantas DRG. Prevalência de silicose no programa de saúde da família de Tanquinhos, Pedra Lavrada, PB nos últimos cinco anos. In: VI Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. Anais. 2009.
16. Fagundes G, Zanellato MA. Silicose doença pulmonar ocupacional no trabalhador de mineração, 2009. [http://patologiaufvjm.weebly.com/uploads/2/3/4/2/2342487/silicose\\_1.pdf](http://patologiaufvjm.weebly.com/uploads/2/3/4/2/2342487/silicose_1.pdf)
17. Organização Internacional do Trabalho. Diretrizes para Utilização da Classificação da OIT de Radiografias de Pneumoconioses. São Paulo: OIT; 2005.

18. Carneiro APS, Barreto SM, Siqueira AL, La Rocca PF. Índice de exposição à sílica na atividade de mineração de ouro. *Rev. Saúde Pública*, v. 40, n. 1, p. 83-91, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102006000100014>.
19. Avelino NNM, Santos, HC, Dantas HJ, Silva SCA, Leite CA, Leite IA. Extração do Caulim em Junco do Seridó, Paraíba: análise dos impactos ambientais e da saúde dos trabalhadores. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisas e Inovação. Palmas-TO. Anais. ISBN 978-85-62830-10-5. <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4697/1526>.
20. Benguigui Y. Infecções respiratórias agudas na infância como problema de saúde pública. *Bol. Pneumol. Sanit.* 2006; 1(10):14-22.
21. Prietsch SOM, Fischer GB, César JÁ, Lemprek BS, Barbosa LV, Zogbi L, Cardoso OC, Santos AM. Doença respiratória em menores de 5 anos no sul do Brasil: influência do ambiente doméstico. *Rev Panam Salud Pública.* 2003; 13(5):303-10.
22. Prato MIC, Silveira A, Neves ET, Buboltz FL. Doenças respiratórias na infância: uma revisão integrativa. *Rev. Soc. Bras. Enferm. Ped.* v.14, n.1, p 33-9. Julho 2014.
23. Fernandes Neto S, Silva TTS, Santos JS. Impactos ambientais causados pela disposição final de rejeitos provindos da mineração de quartzito na Paraíba. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015. Fortaleza – Ceará.  
[http://www.confea.org.br/media/Geologia%20e%20Minas\\_impactos\\_ambientais\\_causados\\_pela\\_disposicao\\_final\\_de\\_rejeitos\\_provindos\\_da\\_mineracao\\_de\\_quartzito\\_na\\_paraiba.pdf](http://www.confea.org.br/media/Geologia%20e%20Minas_impactos_ambientais_causados_pela_disposicao_final_de_rejeitos_provindos_da_mineracao_de_quartzito_na_paraiba.pdf).
24. Sousa MNA, Alchiieri JC. Atenção a saúde do trabalhador no processo de produção de caulim: uma revisão integrativa da literatura. *Revista Eletrônica da Fainor*, Vitória da Conquista, v.4, n.1, p.20-37, jan./dez. 2011.

### Capítulo 3

**Análise de casos de doenças respiratórias no município do Equador/RN: uma abordagem geoestatística.**

**Analysis of cases of respiratory diseases in the municipality of Equador/RN: a geostatistical approach.**

**Fernanda Lourenço da Silva**

Mestranda do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)/UFRN, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [flourencos88@gmail.com](mailto:flourencos88@gmail.com)

**Sebastião Milton Pinheiro da Silva**

Doutor em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [smpsilva@cchla.ufrn.br](mailto:smpsilva@cchla.ufrn.br)

**Magdi Ahmed Ibrahim Aloufa**

Doutor em Biologia e Fisiologia Vegetal pela Université Pierre et Marie Curie. Professor de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte – Brasil. E-mail: [magdialoufal@gmail.com](mailto:magdialoufal@gmail.com)

ESTE ARTIGO SERÁ SUBMETIDO À REVISTA CIÊNCIAS AMBIENTAIS E, PORTANTO, ESTÁ FORMATADO DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DESTA REVISTA)  
(ANEXO)

**RESUMO**

A atividade de mineração no município de Equador acarreta diversos impactos de cunho social e ambiental, dentre eles, pode-se destacar a poluição atmosférica e de corpos hídricos, uma vez que os rejeitos provenientes do beneficiamento de caulim são susceptíveis a dispersão pelo vento e pela água. A fim de verificar a problemática social no tocando à disseminação de doenças respiratórias no município, foram coletados dados da Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE), que foram organizados para serem analisados por meio de geoestatística, com o intuito de prever quais bairros do município estudado apresentam maior probabilidade de desenvolvimento de doenças respiratórias a partir de dados entre os anos de 2001 e 2016. A análise da superfície geoestatística gerada permitiu inferir que existe maior probabilidade de ocorrência dessas doenças nos bairros "Alto da Bela Vista" e "Prefeito José Marcelino de Oliveira", áreas ao norte e centro da sede municipal.

Palavras Chave: Caulim, doenças respiratórias, geoestatística.

**ABSTRACT**

Mining activity in the municipality of Equador has a number of social and environmental impacts, among which one can highlight air and water pollution, since tailings from kaolin processing are susceptible to wind and Water. In order to verify the social problems in relation to the dissemination of respiratory diseases in the municipality, data were collected from the Integrated Maternal and Child Unit of Equador, which were organized to be analyzed by means of geostatistics, in order to predict which districts of the studied municipality present a higher probability of developing respiratory diseases from data between the years 2001 and 2016. The analysis of the generated geostatistical surface allowed to infer that there is a greater

probability of occurrence of these diseases in the districts "Alto da Bela Vista" and "Prefeito José Marcelino de Oliveira", areas to the north and center of the municipal headquarters.

Keywords: Kaolin, respiratory diseases, geostatistics.

## INTRODUÇÃO

As atividades de mineração além de possuir elevada importância econômica, tanto para o país quanto para as localidades onde estas são realizadas, contribui de forma decisiva para o desenvolvimento de tecnologias, bens, produtos e serviços que garantem o bem estar das presentes e futuras gerações.

No entanto, como qualquer outra atividade humana, a mineração causa algum tipo de modificação na paisagem, e é talvez uma das que mais altera o relevo, configurando-se insustentável do ponto de vista ambiental (Guerra & Marçal, 2006) (Cabral *et al.*, 2012) e quiçá social também, uma vez que nem toda a parcela da população é beneficiada com os lucros da produção local. Além disso, expõe as pessoas que sobrevivem direta e indiretamente dessa atividade, primeiro às condições insalubres e alta periculosidade do trabalho a que se submetem ou são submetidos os garimpeiros, segundo a população, que sofre com as consequências dos desastres ambientais, principalmente à poluição dos corpos hídricos e do ar.

Em 1951, o geógrafo Max Sorre já estudava a relação das características geográficas, físicas e biológicas de um lugar com as doenças apresentadas pela população. Portanto, se tais características sofrerem impactos negativos, a saúde da população pode ser comprometida, afetando sua qualidade de vida e bem estar.

O aparelho respiratório é o que tem maior relação com o meio ambiente, dada a grande quantidade de ar que o ser humano respira, portanto, qualquer modificação na composição do ar, ou mesmo em suas propriedades físicas (como a temperatura e umidade), pode constituir num verdadeiro problema para o indivíduo (Souza & Teodoro, 2009).

A incidência de doenças respiratórias na população pode ser um forte indício de sua relação com a poluição atmosférica, dado que os indivíduos tornam-se ambientalmente expostos aos efeitos do contaminante ambiental quando o poluente apresenta-se frequente na sua zona de respiração por um determinado período de tempo (Azevedo Filho, 2004). Este autor chama atenção de que idosos e crianças compõem o grupo mais susceptível aos poluentes devido a sua pouca mobilidade e, por conseguinte, maior permanência no mesmo ambiente poluído. Ribeiro (1998) atenta para o fato das crianças serem as que absorvem em maior dose os poluentes porque apresentam uma maior ventilação por massa corporal, são mais ativas e passam mais tempo nas áreas externas.

Isso posto, o conhecimento da direção predominante dos ventos, das velocidades médias e possíveis fenômenos eólicos cíclicos que ocorrem num local podem ajudar a explicar a disseminação de algumas doenças respiratórias, embasando os tomadores de decisões quanto as suas formas de prevenção.

Uma forma de tentar entender a disseminação dessas doenças é utilizar os modelos de predição geoestatística. A análise estatística espacial está relacionada com a caracterização dos três tipos de dados encontrados: eventos ou padrão pontual, superfícies contínuas (geoestatística) e áreas com contagens ou taxas (Bailey & Gatrell, 1995). O termo Geoestatística surgiu para enfatizar o estudo estatístico de um fenômeno

natural, por sua vez, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas "variáveis regionalizadas" (Journel & Huijbregts, 1978).

Por conseguinte, o objetivo deste trabalho foi utilizar a metodologia de geoestatística para prever quais bairros do município de Equador-RN apresentam maior probabilidade de desenvolvimento de doenças respiratórias com base nos dados de saúde do município entre os anos de 2001 e 2016.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Equador-RN, delimitado pelas coordenadas geográficas, latitude 6° 47' 00" a 6° 59' 00" S e longitude 36° 46' 00" a 36° 33' 00" W Gr. Com uma área de 264,985 Km<sup>2</sup>, está situado na Mesorregião Central Potiguar, Microrregião do Seridó Oriental (Figura 1). Distante, aproximadamente, 269 km de Natal, Capital do Estado. Faz fronteira ao norte com o município de Parelhas e ao sul, leste e oeste com o Estado da Paraíba.

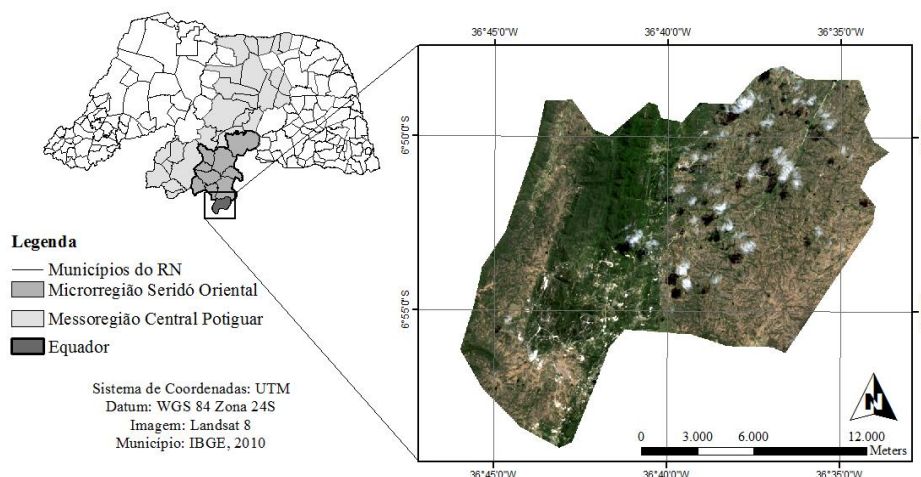


Figura 1. Localização da área de estudo.

A economia do município está voltada basicamente para agropecuária, indústria e serviços (IBGE, 2014). As atividades de extração e beneficiamento de Caulim são os maiores responsáveis pelas receitas do município. Nessa região, a lavra do caulim é em superfície e subterrânea e pode ser realizada de forma artesanal ou por meio de maquinários. Em média, as minas chegam a 20 m de profundidade, porém, podem atingir de exploração 70 m, em alguns pontos.

Para análise geoestatística de casos de doenças respiratórias no município de Equador/RN, foram coletados dados Unidade Materno Infantil Integrada de Equador (UMIIE), entre os anos de 2001 e 2016. Esta é uma unidade mista de saúde que oferece serviços básicos de atendimento médico. Em seguida, foram selecionados os casos de doenças respiratórias para compor o banco de dados a ser utilizado na aplicação geoestatística. Estes dados foram organizados em uma planilha do Excel da seguinte maneira: 1) ano em que foi registrada a ocorrência; 2) bairro onde reside o paciente; 3) coordenada geográfica do centróide da localidade. Os dados em formato shapefile (.shp) de setor censitário deste município foram obtidos através do site do IBGE (2010).

O presente trabalho seguiu o fluxograma típico de análise geoestatística de dados espaciais, obedecendo os passos apresentados na figura 2.

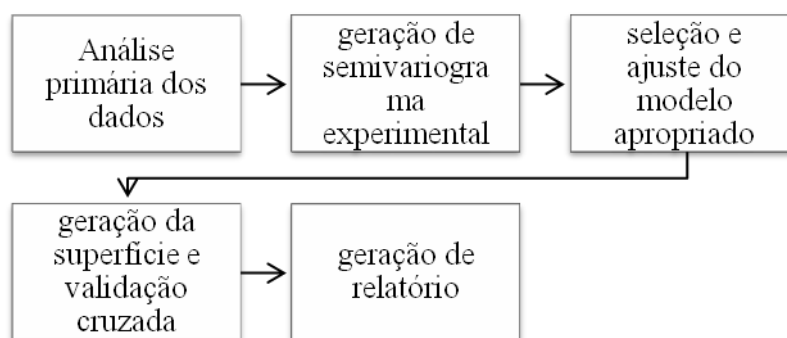


Figura 2. Fluxograma da análise Geoestatística.

O semivariograma experimental foi gerado a partir dos endereços dos pacientes então registrados, com o intuito de estimar a provável dependência espacial das coordenadas. Os dados obtidos foram tratados a fim de operacionalizar a abordagem de análise geoestatística, portanto, foi gerado a porcentagem global de casos da série de dados, sintetizando a componente de informação geográfica, viabilizando a geração de semivariograma experimental.

Utilizou-se o modelo de Krigagem Ordinário, e os modelos dados de Nugget 2.978949, Sill 3.71279 e Range 962.41. Os mesmos foram tomados por padrão após a utilização modelo ordinário no Software Arcmap 10.3, que determinou a melhor acomodação do modelo geoestatístico ao longo de toda a superfície interpolada e prevista.

A fim de investigar o grau de precisão da análise geoestatística, observando quais dados da planilha apresentam discrepâncias dentro da série de dados em estudo, foi realizada uma validação cruzada.

Após a análise geoestatística, foram analisados dados de direção do vento obtidos na estação: 82690 - SERIDÓ (CAICÓ) – RN, localizada entre as coordenadas geográficas O 37° 5' 00" e S 6° 28' 00", entre os anos de 2001 e 2016. Os dados obtidos foram salvos em uma planilha \*.xlsx e em seguida foi feita uma análise de frequência de ocorrência de ventos para cada ano estudado.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi gerado o gráfico quantile-quantile (QQ) para comparar a distribuição dos dados a uma distribuição normal padrão, fornecendo outra medida da normalidade dos dados. Quanto mais próximos os pontos estiverem da linha reta (45 graus) no gráfico, mais próximos os dados da amostra seguem uma distribuição normal (Figura 3).

Pela análise por este gráfico QQplot, é possível observar que as amostras obtidas (pontos azuis distribuídos no gráfico) se adequam à curva de ajuste até o momento 0,91 no eixo X e 4,95 no eixo Y deste QQplot, a partir daí apresentando momento totalmente distinto do anterior, já que encontram-se sempre acima da linha de tendência ideal.

O semivariograma resultante (Figura 4) após o método de Krigagem ordinário corrobora com a representação das propriedades exibidas durante elaboração do QQplot supracitada, e portanto influencia decisivamente a variável preditiva da análise. Este procedimento acomoda melhor os dados, apresentando um

comportamento crescente da origem para a direita, estabilizando no valor de range supracitado e exibido na estrutura final.

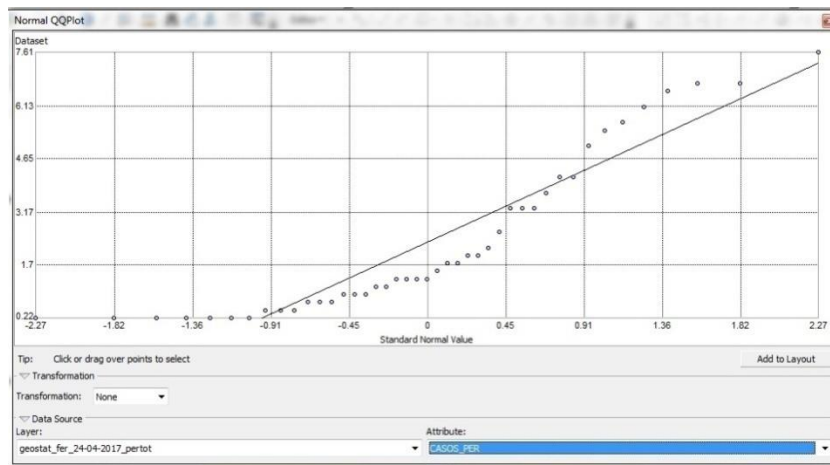


Figura 3: Gráfico QQplot, com plotagem dos dados amostrados.

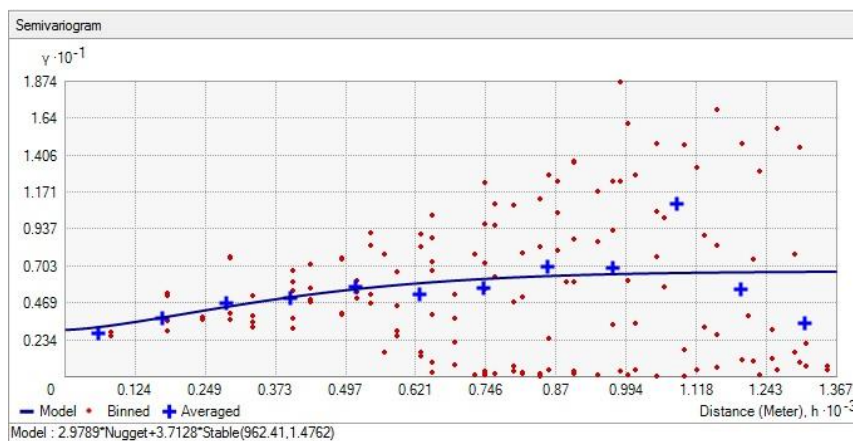


Figura 4: Semivariograma gerado a partir dos dados em estudo.

A análise da superfície geostatística gerada (Figura 4) permitiu inferir que existe maior probabilidade de ocorrência de doenças respiratórias nos bairros "Alto da Bela Vista" e "Prefeito José Marcelino de Oliveira", áreas ao norte e centro da sede municipal de Equador, em contrapartida à porção periférica desta sede municipal, onde a probabilidade de ocorrência é substancialmente menor.

A validação cruzada dos dados obtidos permitiu investigar o grau de precisão da análise geostatística, observando quais dados da planilha apresentam discrepâncias dentro da série de dados em estudo. De acordo com a planilha gerada nesta análise, houve comportamento preditivo da amostra identificada como "1", que apresentou "normvalue" (isto é, valor normalizado) de 2.2602.

Em termos de validação cruzada, valores próximos ou maiores que 1 denotam elevado grau de predição, enquanto que valores próximos a zero ou negativos denotam, em contrapartida, elevado grau de medição; enquanto que para Stdd\_error (isto é, erro standardizado, 'padronizado'), valores negativos representam valores medidos. Desta forma, podemos considerar que houve aproximadamente 69,05% de medição dos dados, e 30,05% de predição destes, configurando a relação certeza/incerteza dos dados em 69,05/30,05.

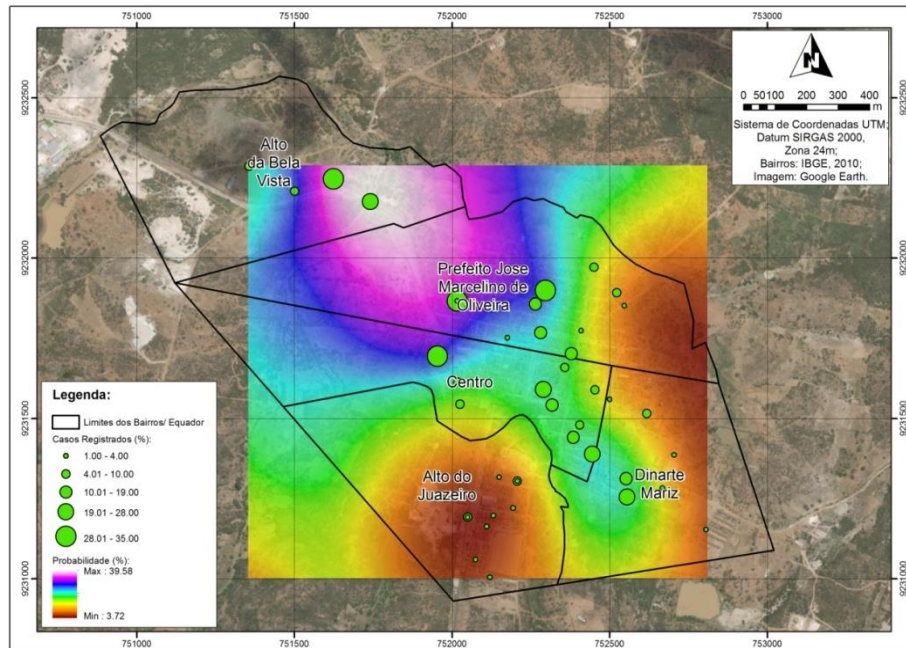


Figura 5: Superfície geostatística aplicada sobre Limites dos Bairros da Sede Municipal de Equador/RN.

O fluxo de matéria para fora das reservas gera um amontoado de pilhas de rejeito no entorno das minas e das empresas de beneficiamento, que são submetidos à atuação dos processos erosivos sobre elas, pois são constituídas de partículas facilmente transportadas pela força do vento e da água (Almeida *et al.*, 2010).

Ao analisar dados da Estação meteorológica do Seridó, percebe-se que os ventos provenientes das direções N, NE, E e SE são predominantes, sendo o vento de leste (E) o que ocorre em maior proporção. Hora Neto *et al.* (2010), verificaram que na maior parte do ano há predominância dos ventos provenientes do Leste principalmente no quarto trimestre (outubro, novembro e dezembro), a exceção são para os meses de junho e agosto, período seco na região onde os ventos tendem a estar a Sudeste (SE). A TABELA 1 apresenta a frequência anual de direção dos ventos no período de 2001 a 2016.

As condições meteorológicas são particularmente importantes, na medida em que os ventos turbulentos ajudam a dispersar os poluentes (Duchiade, 1992). Elas podem ajudar a compreender o comportamento geostatístico predito da distribuição das doenças respiratórias, uma vez que o vento facilita a dispersão dos poluentes. Portanto, seus dados são importantes no estudo da qualidade do ar e de doenças, principalmente as respiratórias.

Por estar cercado de pequenas e grandes empresas mineradoras de caulim, sejam próximas a sua sede ou em outros municípios, a população de Equador torna-se ainda mais vulnerável a aquisição de doenças respiratórias. No entanto, esta questão parece não ser importante para a sociedade local. A indústria de beneficiamento deste minério gera grande volume de resíduo contendo, principalmente, mica e quartzo (Souza *et al.*, 2007). A inalação da poeira proveniente do rejeito de caulim provoca sérios problemas respiratórios, que podem se agravar dependendo da quantidade de mica penetrada, pois essas permanecem nos alvéolos e bronquíolos pulmonares quando inalada, fazendo com que o agente enfermo possa desenvolver doenças, como a silicose (Avelino *et al.*, 2007).

TABELA 1. Frequência de ocorrência do vento por direção na estação meteorológica do Seridó para o período de 2001 a 2016.

Direção Vento	Frequência anual de ocorrência de ventos (%)															
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
N	11	6	6	8	5	5	4	6	7	8	7	11	19	3	3	3
NE	40	21	25	42	18	11	10	13	15	17	26	45	31	18	9	9
E	40	43	43	39	47	26	44	45	48	52	30	26	33	41	46	47
SE	8	20	14	3	19	27	23	19	12	13	5	4	2	4	17	25
S		3	2	1	2	10	4	1	2	1					1	1
SW		2	1	1		1	2			1						1
W	1	1	1	1	1	3	2									
NW		3	2	1	1	1	1						2	1		1
Calmaria		1	6	4	7	16	10	16	16	8	32	14	13	33	24	13

O Rio Grande do Norte está situado numa zona de predomínio dos ventos alísios, resultando em ventos constantes, e com acentuada ocorrência de direções sudeste e leste. Em regiões serranas, ocorrem as acelerações orográficas e ocasionais canalizações do escoamento entre passos de montanhas, bem como uma variada e complexa interação entre o deslocamento atmosférico e as formações montanhosas. Nestas áreas, os ventos mais intensos são geralmente encontrados nos cumes e cristas das elevações, onde o efeito de compressão do escoamento é mais acentuado (MME, 2001).

O município em estudo possui uma altitude média de 572 m. A sede municipal está encravada na base da Serra das Queimadas, sobrejacente a biotita-xistos da Formação Seridó, enquanto o restante do território apresenta altitudes da ordem de 800 m, fato que se deve à maior resistência ao intemperismo dos quartzitos da Formação Equador. A extração de caulim em Equador ocorre em sua maior parte na região da serra, em granitos e pegmatitos alterados encaixados nos quartzitos da Formação Equador (Silva, 1999), sendo o rejeito, pós-beneficiamento, geralmente depositado próximo aos locais de retirada. Assim, pode-se inferir que a probabilidade de ocorrência de doenças respiratórias nos bairros "Alto da Bela Vista" e "Prefeito José Marcelino de Oliveira" foram maiores devido às acelerações orográficas e interações entre o deslocamento atmosférico e as formações montanhosas sofridas pelos ventos provenientes do Leste. Além disso, Equador faz divisa com o município de Junco do Seridó-PB, localizado a sul do município em estudo. A cidade paraibana apresenta uma atividade extrativista de Caulim ainda maior que Equador, conseqüentemente produzindo uma maior quantidade de rejeitos que podem ser facilmente dispersados pelo vento.

## CONCLUSÕES

Esse estudo corrobora com as expectativas de pesquisa e as especulações da população quanto o acometimento de doenças respiratórias no município. Entrevistas com moradores da cidade e autoridades locais mostram que há uma percepção em relação ao número de pessoas com algum tipo de doença

respiratória e alguns mesmo, até atribuem à prática extrativista do caulim como principal responsável por esse tipo de enfermidade na região.

Conclui-se que deve haver esforços e investimentos no sentido de prevenção e tratamento das doenças respiratórias no município, principalmente nos bairros "Alto da Bela Vista" e "Prefeito José Marcelino de Oliveira", que apresentaram maior predição de casos dessas doenças.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.C. de S.; RAMOS, A.J. dos S.; DINIZ, M.T.M; A Problemática ambiental da extração de Caulim no Alto do Chorão em Junco do Seridó/PB. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre - RS, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3.

AVELINO, N.da N.M.; SANTOS, H.C. dos; DANTAS, H.J.; SILVA, S.C.A.da; LEITE, C.A; LEITE, I.A. Extração do Caulim em Junco do Seridó, Paraíba: análise dos impactos ambientais e da saúde dos trabalhadores. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisas e Inovação. Palmas-TO. Anais. ISBN 978-85-62830-10-5. Disponível em: <<http://prop.ipto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4697/1526>> Acesso em: 27 Jun 2016.

BAILEY T. C.; GATRELL, A. C. Interactive spatial data analysis. London: Longman Scientific and technical, 1995. 413 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. do Amarante, O. A. C., Brower, M., Zack, J., Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, MME /ELETROBRÁS/CEPEL. 2001.

CABRAL, L. do N.; PEREIRA, S.S.; ALVES, T.L. Degradação ambiental e implicações para a saúde humana decorrentes da mineração: o caso dos trabalhadores de uma pedreira no município de Campina Grande/PB. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde. Hygeia 8(15):104 - 118, Dez/2012. p. 104-118. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/viewFile/17212/11167>> Acesso em: 27 abr 2017.

DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. Cad. Saúde Pública, Set 1992, vol.8, no.3, p.311-330. ISSN 0102-311X.

GUERRA, A. J. T. & MARÇAL, M. dos S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 189p. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/viewFile/17212/11167>> acesso em: 04 julho 2016.

HORA NETO, J. A.; SANTANA, J. A. S.; SILVA, M. P.; COSTA, H. A. N.; FERREIRA, M. C.; DUTRA, H. F. . CARACTERIZAÇÃO DA DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO SERIDÓ, SERRA NEGRA DO NORTE-RN. In: 62ª Reunião Anual da SBPC, 2010, Natal. SBPC 2010. v.1. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/5378.htm>> Acesso em: 29 fev 2017.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, J.C.H. (1978) - Mining geostatistics. Academic Press, 600p.

NASCIMENTO, P. S. de R.; PETTA, R. A.; CAMPOS, T. F. da C. Mapeamento do uso e cobertura da terra do município de Equador (RN) utilizando imagens do satélite CBERS-2B, visando subsidiar as atividades garimpeiras e agrícolas. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2708. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.17.46?mirror=urllib.net/www/2011/03.29.20.55&metadataarepository=dpi.inpe.br/marte/2011/07.28.17.46.01>> Acesso em: 16 de março.

RIBEIRO, H. Poluição do ar e doenças respiratórias em crianças da Grande São Paulo: Um estudo de geografia médica. São Paulo: USP; 1998.

SORRE, M. Les Fondements de La Géographie Humaine. Paris: Armand Colin, 1951.

SOUZA, H.M.G de; NAVARRO, R.F.; DANTAS D.R.G. Prevalência de silicose no programa de saúde da família de Tanquinhos, Pedra Lavrada, PB nos últimos cinco anos. In: VI Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. Anais. 2007.

SOUZA, C. G. de.; TEODORO, P. H. M. A espacialização das doenças respiratórias: um modelo do estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde. Hygeia 5(9):126 - 137, Dez/2009. ISSN: 1980-1726 p.126 a 137.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, podem-se elencar as seguintes considerações finais:

- i) A transformação Tasseled Cap permitiu a identificação das áreas de vegetação fotossinteticamente ativas, de áreas com material particulado e solo exposto, que puderam ser observados em campo. Permitiu indicar que a vegetação de caatinga está melhor preservada na porção centro norte da serra das Queimadas, denotando a sua importância como área prioritária para conservação ambiental, contrariamente, ao que ocorre na porção sul desta serra, que apresenta uma atividade mineral ainda mais avançada.
- ii) Verifica-se ainda áreas de minas abandonadas, que já necessitam de planejamento para a sua recuperação ambiental, uma vez que podem acelerar o processo erosivo do solo ao desabarem. Além de serem prejudiciais ao meio ambiente, constituem risco as pessoas e animais que por elas trafegam sem conhecer sua periculosidade.
- iii) Equador apresenta diversos pontos de extração de caulim próximos à cidade. Os rejeitos do processo de beneficiamento são depositados a céu aberto nas cercanias da cidade, no solo exposto ou sobre a própria cobertura vegetação da caatinga, também próximo a corpos hídricos, potencializando a contaminação dos recursos naturais disponíveis. Estes resíduos não possuem nenhum tipo de tratamento e, embora haja estudos para sua reutilização em outros segmentos da indústria, não foi verificada tal prática.
- iv) Há necessidade de investimentos tecnológicos e acadêmicos para monitorar a direção dos ventos, bem como a qualidade do ar no município, a fim de investigar a dispersão dos particulados provenientes da mineração do caulim e assim verificar se há relação com as doenças respiratórias registradas na cidade.
- v) O setor público e o privado devem conjugar esforços e investimentos no sentido de diagnósticos mais precisos, prevenção e tratamento das doenças respiratórias no município, visando enfaticamente a saúde do trabalhador, que não possui nenhum tipo de proteção, quando realiza as atividades extrativistas, e que não possui um acompanhamento médico adequado ao apresentar sintomas de algum problema respiratório, relacionados com.

A mineração do caulim no município de Equador é uma atividade muito importante para a geração de renda na região. No entanto, deve ocorrer de forma planejada para que o meio ambiente e a sociedade sofram o menor impacto possível.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P. de.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173-198, jan./abr. 2014.
- ANDRADE-LIMA, D. 1981. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica* 4: 149-163.
- ARAÚJO, G.H. de S. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Almeida, J.R. de. e Guerra, A.J.T. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 4<sup>a</sup>. Ed., 2009.
- BAIG, M.H.A.; ZHANG, L.; SHUAI, T.; TONG, Q. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sens. Lett.* 2014, 5, 423–431.
- BAILEY T. C.; GATRELL, A. C. *Interactive spatial data analysis*. London: Longman Scientific and technical, 1995. 413 p.
- BARBOSA, M. P., MORAES NETO, J. M., FERNANDES, M. F., Silva. 2007. Estudo da degradação de terras – município de Picos - PI. In: Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis (2007). Anais São José dos Campos: INPE. p.4357-4363. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.11.17/doc/4357-4363.pdf>> Acesso: 08 de maio de 2017.
- BEZERRA JÚNIOR, J.G.O. & SILVA, N.M. 2007. Caracterização geoambiental da Microrregião do Seridó Oriental do Rio Grande do Norte. *Holos* 2: 78–91.
- BOTELHO, R.G.M. Recursos naturais e questões ambientais. In: SANTOS, M. (Org.). *Atlas nacional do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. P. 68-67.
- BRASIL. **Lei Nº 13.153, de 30 de julho de 2015**. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e seus instrumentos; prevê a criação da Comissão Nacional de Combate à Desertificação; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/L13153.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/L13153.htm) Acesso: 04 mai. 2017.
- \_\_\_\_\_. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: . Acesso em: 04 mai. 2017.
- \_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. Manual de normas para controle das pneumoconioses: silicose, pneumoconiose dos trabalhadores do carvão e pneumoconioses por poeiras mistas. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional - MI. Atualiza a relação dos municípios pertencentes à região semi-árida do Fundo constitucional de financiamento do Nordeste - FNE. Publicada no Diário Oficial da União de 17 de março de 2005a.
- \_\_\_\_\_. MMA - Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Disponível em: <<http://www.ministeriodomeioambiente.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao>> Acesso em: 04.05.2015.

\_\_\_\_\_. MMA - Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil / Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador. – Brasília: MMA, 2007.

\_\_\_\_\_. MS - Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador (SISAM), 2008. Disponível em: <[https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/sisam/wp-content/uploads/2015/12/Ficha-T%C3%A9cnica\\_nova\\_Vento.pdf](https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/sisam/wp-content/uploads/2015/12/Ficha-T%C3%A9cnica_nova_Vento.pdf)> acesso: 29 jun 2016.

\_\_\_\_\_. MME - Ministério de Minas e Energia. AMARANTE, O. A. C. do., Brower, M., Zack, J., Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, MME /ELETROBRÁS/CEPEL. 2001.

\_\_\_\_\_. MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. Informações sobre a economia Mineral brasileira 2015. Brasília, setembro/2015.

\_\_\_\_\_. SFB - Serviço Florestal Brasileiro. GARIGLIO, M. A., et al. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília/DF, 2010. 368p.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

BURROUGH, P. A. (1987). Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press. 193 p.

CAMARGO, E. C. G. (1997). Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING). Dissertação (Mestrado). Divisão de Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.08.47.41/doc/publicacao.pdf?ibiurl.language=pt-BR>> Acesso em: 10 mar. 2017.

CARVALHO, J. O. de.; et al., Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas no Nordeste. Brasília Ministério do Interior, 1973. In: Atlas das áreas susceptíveis a desertificação, MMA, 2007. p. 22.

CARVALHO, J. O. de.; EGLER, C. A. G. Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste semi-árido. Fortaleza Banco do Nordeste do Brasil, 2003. In: Atlas das áreas susceptíveis a desertificação, MMA, 2007. p. 22.

CARVALHO, J. O. de.; OLIVEIRA, J. B. de. Relatório de consultoria. Programa de combate à desertificação - Proágua semi-árido - antidesertificação”. 2006. In: Atlas das áreas susceptíveis a desertificação, MMA, 2007.

CASTRO, Fábio da S. et al . Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010 . Available from <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800012>>. access on 02 Aug. 2016.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: 2016. 252p.

COHEN, W. B.; SPIES, T. A.; FIORELLA, M. Estimating the age and struture of forests in a multi-ownership landscape of western Oregon, U.S.A. International Journal of Remote Sensing. v.16, n.4, p.721-746, 1995.

CORDEIRO, G. G. Níveis de tolerância das culturas a teores de sais no solo e na água de irrigação. Instruções técnicas da Embrapa Semi-árido. nº 38. Petrolina: Embrapa Semi-árido, dezembro de 2000.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Equador, estado do Rio Grande do Norte. Mascarenhas, et al. (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. Application of the tasseled cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.50, n.3, p. 343-352, 1984a.

CRIST, E. P. and R. J. KAUTH 1986, The Tasseled Cap demystified, Photogrammetric Eng Remote Sens Vol. 52(1), 81-86.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP:IG/UNICAMP, 1993. 170p.

DANGERMOND, J. What is a Geographic information System (GIS) In: JOHNSON, A.I.; PETTERSSON, C.B.; FULTON, J.L. Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials, 1992.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasil**. Brasília, 2010. ISSN: 0100- 9303.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasil**. Brasília, 2015. ISSN: 0100- 9303.

DUBEUX JR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: ROMULO S.C. MENEZES; DIOGO A. SIMÕES; EVERARDO V.S.B. SAMPAIO. (Org.). A palma no Nordeste do Brasil - conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2005, v. único, p. 105-128.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1442- 1449.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. Satélites de Monitoramento. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 nov. 2016

FARIAS, C. E. G., Mineração e Meio Ambiente no Brasil. PNUD, 2002.

FELGUEIRAS, C. A.; MONTEIRO, A. M. V.; FUKS, S. D. e CAMARGO, E. C. G. Inferências e Estimativas de Incertezas Utilizando Técnicas de Krigeagem Não Linear. [CD-ROM]. In: V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina, 7, Salvador, 1999a. Anais. Bahia, gisbrasil'99. Seção de Palestras Técnico-Científicas.

FELIPE, J. L. A.; CARVALHO, Edilson Alves de. Atlas escolar do Rio Grande do Norte. João Pessoa-PB: Grafset, 1999, p.39-46, p.54.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 105-128.

FREELAND, S. Direitos humanos, meio ambiente e conflitos: enfrentando os crimes ambientais. **Sur, Rev. int. direitos human.**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 118-145, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-64452005000100006>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P. S.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural do bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.656-659, mar-abr.2006.

GLERIANI, J. M.; ANTUNES, M. A. H.; EPIPHANIO, J. C.N.; Coeficientes da transformação espectral Tasseled Cap para uma cena com predomínio de latossolo roxo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR)., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 93-100. CD-ROM. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16118-PRE/10721). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.07.16.58>> Acesso em: 02 jun. 2017.

GONÇALVES, C. W. P. Os (des)caminhos do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 1989.

HUANG, C.; WYLIE, B.; YANG, L.; HOMER, C.; ZYLSTRA, G. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 8, 1741-1748, 2002.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. Panorama da Mineração em Minas Gerais. Brasília, 2015. 280 f. ISBN 978-85-61993-08-5.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados, 2010. Perfil dos Estados: Área (km<sup>2</sup>). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

\_\_\_\_\_. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>

\_\_\_\_\_. Manual técnico de uso da terra. In: Manuais técnicos em Geociências. 2013, V. 07, 3ª edição, Rio de Janeiro – RJ.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande Do Norte. Perfil do seu município – Equador, 2008, V.10p. 1-24.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**, 2014, Campina Grande: INSA-PB.

\_\_\_\_\_.<<http://www.insa.gov.br/ndvi/#.VasZKflViko>> Acesso em 18/07/2015

\_\_\_\_\_.<[http://www.insa.gov.br/noticias/insa-publica-mapas-dos-nucleos-de-desertificacao-do-semiarido/#.V5sL\\_LgrK00](http://www.insa.gov.br/noticias/insa-publica-mapas-dos-nucleos-de-desertificacao-do-semiarido/#.V5sL_LgrK00)> Acesso em 18/03/2016

INMET. Instituto Nacional De Meteorologia, 2016. <<http://www.inmet.gov.br>>

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JOURNEL, A.C.; HUIJBREGTS, C. J. Mining geostatistic. London: Academic Press, 1978. 600p

KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. The tasseled cap ã a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In: Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, jun, 1976. Proceedings. West Lafayette, Indiana, 1976, p.41-51.

KENDALL, H. e PIMENTEL, D. **Constraints on the expansion of the Global Food Supply**. In: *Ambio*, Vol. 23, nº. 3, 1994.

KUNTSCHIK, G.; GLERIANI, J. M. Coeficientes das componentes greenes, brightness e wetness da transformação Tasseled Cap para chernossolos da província de Buenos Aires, Argentina. *Anais.. Florianópolis*: [s.n.], 2007.

LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C da. *Ecologia e conservação da caatinga*. Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2003. 822 p

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C. da; LANCHER JR, T. E. 2005. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil, **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 140-146, out. 2005.

LEFF, Enrique. **Saber Ambiental**. Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder. Petrópolis, RJ, Vozes/PNUMA, 2001. 343p.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um solo sob cultivo de pimenta-do-reino. *Engenharia na Agricultura*, v.15, p. 291-298, 2007.

LUCENA, M. S. de. Uso de um sistema básico de indicadores como ferramenta para identificação da desertificação no Seridó/RN. **Revista OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, PB, 2016. v. 10, n. 3, p. 477-501, 2016. ISSN: 1982-3878.

LUZ, A. B. L., FERNANDO A. F.; Rochas & Minerais Industriais; CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2005.

MARQUES, J.S. **Ciência Geomorfológica**. In: Guerra e Cunha. et al. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 23-50.

MATHER, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images – an introduction*. Midsomer Norton, Wiley, 1999, 292p.

MATHERON, G. *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estud. av.**, São Paulo , v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010 . Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

MEDEIROS, J. A. de. **Convivendo com a seca & combatendo a desertificação: novos olhares**. Caicó/RN: [s.n.], 2008.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Universidade de Brasília/CNPQ. BRASÍLIA, 2012.

- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 208p
- MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas à recuperação de áreas degradadas pela extração de Bauxita**, Poços de Caldas, MG. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Xa. ed. Atual. ampl.- Viçosa: Ed. UFC, 2005.
- MORIN, E. (1951). *L’homme et la mort*. Paris, Corra, 1980. *La méthode*. Paris, Seuil.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo. ed. : Edgard Blücher, 1989, 308p. In: PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. KRIGING (1990). A method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 4, n. 3, p. 313-332.
- PRADO, R.B. Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. Tese de Doutorado Ciências da Engenharia Ambiental Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, Brasil, 2004, 72 p.
- PEREZ-MARIN, A.M.; CAVALCANTE, A.M.B., MEDEIROS, S. S. de.; TINÔCO, L.B.M.; SALCEDO, I.H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Brasília-DF*. v. 17, n. 34, p. 87-106, jan-jun 2012. Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/671/615](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/671/615)> Acesso em: 09.05.2017.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/>>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. Remote sensing digital image analysis – an introduction. Germany, Springer, 2000, 363p.
- ROSS, J. L. Sanches; Geografia do Brasil. São Paulo: Edusp, 2003, p.57, p.63, p.103-105.
- RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M. Mapeamento da cana-de-açúcar na região Centro-Sul via imagens de satélites. *Informe Agropecuário*, v. 28, n. 241, p. 79-86, 2007b.
- SANTOS, M.G.B. dos. Avaliação da direção preferencial da dispersão de poluentes para diferentes estações do ano na área industrial de Juiz de Fora – MG. Curso de engenharia ambiental e sanitária. Universidade Federal De Juiz De Fora, 2016. p.88.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M.S.B.; SAMPAIO, G.R. Desertificação no Brasil: Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife, UFPE, 2003. 202p.

SEDEC - Secretaria do Desenvolvimento Econômico. Mineração. Natal: SEDEC/ASSECOM, 2014. Disponível em: <<http://www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=15440&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Minera%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em: 30 de Março de 2017.

SILVA, S.M.P. da. 1999. Espectroscopia de imageamento e gamaespectrometria aérea e terrestre de pegmatitos e granitos da porção sul da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 1999. 173 p

SILVA, F. W.O. da. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007. Available from <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172007000100021>>. access on 02 may. 2017.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

STEFFEN, C. A.. Introdução ao sensoriamento remoto, 2008. 11p. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em: 06 Jun. 2016.

STURARO, J.R. Apostila de Geoestatística Básica. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE. UNESP, 2015.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>

VALADÃO, C.E.A. et al. Classificação climática da microrregião do Seridó/RN. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA, Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. Disponível em: Acesso em 30 dez. 2016.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. Núcleos de desertificação no polígono das secas. Anais ...ICB. Recife: UFPE, v.1, n.1, p. 69- 73, 1971.

VELOSO, M. E. da C.; SILVA, E. C. da; LEITE, L. F. C.; BLANCO, F. F.; ROCHA JÚNIOR, A. F.; SANTOS, W. D. da C. Características químicas de um neossolo litólico em área degradada em Gilbués, Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO-MANSO, 2., 2011, Brasília, DF. Pinhão-manso: focando em soluções sustentáveis para produção de biocombustíveis: anais. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia: ABPPM, 2011.

VIEIRA, Lúcio Salgado. Manual de morfologia e classificação de solos. 2º Ed. São Paulo: Agrônômica Ceres LTDA, 1983.

ZHANG, X.Y.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v.84, p.471-475, 2003.

ZULLO JUNIOR, J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1994. 189p. Tese Doutorado.

## ANEXO

Diretrizes para autores da Revista de Ciências Ambientais:

<http://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/about/submissions#authorGuidelines>

Diretrizes para autores da Revista de Ciências Ambientais:

[http://www.fsp.usp.br/rsp/?page\\_id=42](http://www.fsp.usp.br/rsp/?page_id=42)