

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AS PEDREIRAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA COM ESTUDO DE CASO CAUCAIA / CHOROZINHO-CE

Clairton Ciarlini^{1*} e Jáder Onofre de Moraes^{2*}

¹Geólogo, Mestre em Geografia, em Análise Geoambiental e Ordenação do Território nas Regiões Semi-Áridas e Litorâneas.

²Geólogo, PhD em Geologia, Professor Titular do Departamento de Geociências da UECE, em Geologia no Planejamento Ambiental.

*Depto. de Geociências/UECE - Av. Paranjana, 1700 – Campus do Itaperi – 60.740-000 – Fortaleza – CE
Fone: (85) 299-2678

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de novas tecnologias na identificação e caracterização das Pedreiras localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, com estudo de caso Caucaia e Chorozinho no Estado do Ceará. Inicialmente este trabalho procura embasar a fundamentação teórica através da teoria sistêmica na interdependência dos componentes físico-bióticos e nas relações dos seres vivos com o meio natural. No segundo momento foi realizado o procedimento metodológico em que foram feitas as caracterizações e delimitações das Pedreiras através da análise a partir do SGI (Sistema de Informação Geográfica) e GPR (*Ground Penetrating Radar*).

A contextualização das áreas teve como base o levantamento de informações necessárias a compreensão dos componentes ambientais das pedreiras como: geologia, geomorfologia, condições hidro-climáticas, solos e vegetação. A caracterização local das pedreiras de Caucaia foi realizada com as principais pedreiras produtoras de brita da região em atividade, tendo com destaque a pedreira do Jacurutu em que foi feita uma caracterização mais detalhada pela sua importância na construção do Terminal de Embarque Provisório (TEP), bem como no quebra-mar de proteção aos *piers* do Porto do Pecém. Na pedreira de Chorozinho, neste caso de rocha ornamental, foi feito um estudo de GPR com apresentação de radagrama para a detecção de fraturas no granito Cotton Ceará. Na última parte da pesquisa foram feitas as conclusões sobre o uso de geotecnológicas aplicadas em pedreiras tanto de brita como de rochas ornamentais.

INTRODUÇÃO

O resultado das ações antrópicas, modificando e transformando o ambiente natural de acordo com suas necessidades, são perceptíveis ao longo de toda a sua relação espaço-temporal da humanidade. Isto está no contexto do aumento da população e suas necessidades de produção e consumo. Portanto houve necessidade de enfocar as questões ambientais sob o ponto de vista da

biodiversidade, impactos ambientais, sustentabilidade dos recursos naturais e geotecnologias.

Os estudos físicos-geográficos voltados para as questões ambientais, tendem a adotar escalas de trabalhos para análise de áreas de interesse específico integrando a geologia e geografia. Esta integração enfrentava dificuldades devido as limitações tecnológicas, mas atualmente novas técnicas de geotecnologias aplicadas permitem conhecer as dependências ou a coincidência espacial entre as variáveis ambientais.

A atividade de mineração era considerada como um potencial fator de degradação ambiental, o que vem sendo minimizado pelo fato da oportunidade de se criar novas formas de paisagens sem impactos e mais interessantes e que pudessem compatibilizar a exploração, produção, consumo e beleza cênica.

As áreas em estudo (Figura 1) estão localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza, que depois de institucionalizada em 1974 vem se ampliando territorialmente e as pedreiras estudadas estão todas catalogadas e regulamentadas pelo DNPM. Os municípios de Caucaia e Chorozinho onde estão situadas as pedreiras em estudos são delimitados pelas coordenadas: latitude (S) 3°44'10" e longitude (W) 38°39'11" e latitude (S) 4°18'01" e longitude(W)38°29'52", respectivamente.

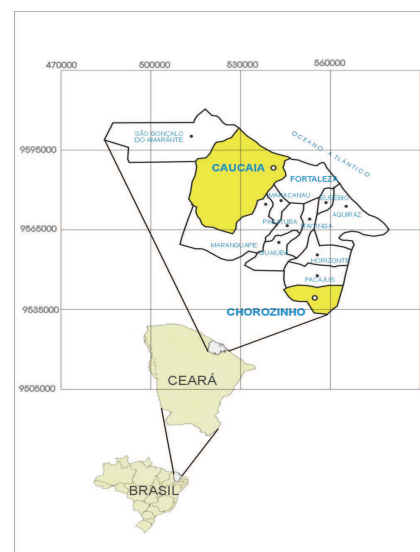


FIGURA 1 - Localização geográfica da Região Metropolitana de Fortaleza(RMF) com as áreas de estudo.

MATERIAS E MÉTODOS

O estudo do meio físico das áreas dos municípios de Caucaia e Chorozinho teve como base uma revisão sistemática dos levantamentos setoriais anteriormente publicados de Sistema de Informações Geográficas SIG e *Ground Penetrating Radar* (GPR), observações de campo feitas através de perfis transversais e longitudinais das pedreiras analisadas.

A geotecnologia tem sua utilidade num campo de conhecimento complexo e multidisciplinar, podendo ser concebido como um sistema de aquisição de informações sobre o ambiente terrestre, baseado no uso sistemático de sensores remotos. Sua metodologia voltada à conversão de sinais derivados da integração entre a radiação eletromagnética e corpos materiais.

O sensoriamento remoto é definido como "... a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno". (LILLESAD & KEIFER, 1987).

Nesse processo de estudo das pedreiras foram utilizadas imagens de satélite do programa americano da serie LANDSAT, antigamente ERTS (Earth Resource Technology Satélite), A escolha das bandas e da resolução foi feita em função das exigências multidisciplinares (Figura 2) com três imagens de Landsat em diferentes bandas e períodos. Os aplicativos de softwares como ENVI versão 3.2, SPRING versão 3.5, AutoCAD Map versão 2000, SURFER versão 7.0 e PHOTOSHOP versão 6.0, todos para plataforma Windows.

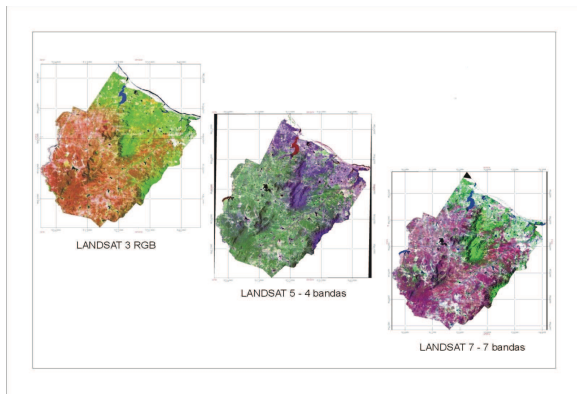


FIGURA 2 - Comparação espaço-temporal estabelecida com o uso de Imagens do Landsat de Caucaia com bandas multiespectrais variadas.

A ferramenta geofísica RAMAC/GPR que é um sistema suíço básico (Figura 3) que inclui antenas, unidade de controle, transmissor e receptor eletrônico, jogo de cabo de fibra óptica, bateria recarregável, programa de software e notebook.



FIGURA 3 - RAMAC/GPR, com todas os seus acessórios, utilizados neste trabalho

Na etapa seguinte, além da contextualização e caracterização local de cada pedreira, também foram feitos trabalhos de campo como perfis, preenchimento de fichas, entrevista com cada responsável pela lavra e produção, e, finalmente as conclusões finais da pesquisa. Em algumas pedreiras observadas existe um verdadeiro descompasso entre o planejado e o realizado como também entre os avanços de implantação, extração e desativação que devem ser desenvolvidas de forma simultâneas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pedreira de brita do Jacurutu está localizada no distrito de Primavera no Serrote do Jacurutu situado a SSE da Ponta do Pecém, cerca de 14,5 Km de distância da mesma em linha reta, alcançando uma altitude aproximada de 200m (Figura 4).



Figura 4 - Vista panorâmica da Pedreira do Jacurutu com 300m altitude.

Em planta, o Serrote do Jacurutu apresenta um formato equidimensional como está representada pela imagem de satélite do Landsat 3 (Figura 5). Na parte superior apresenta a janela da imagem principal da pedreira e sua relação com outras unidades naturais; na parte inferior à direita representa a imagem total da área em que foi sensoriada com equivalência de 185 Km² de área coberta e ao lado esquerdo. O zoom da mesma imagem em destaque para a forma e delimitação da pedreira do Jacurutu, podendo chegar a uma resolução em torno de 30 x 30 m.



FIGURA 5 - Imagem do landsat 3 com Janela Principal(parte superior), Scroll Windows(parte inferior esquerda) e Zoom(parte inferior direita).

A Pedreira do Jacurutu apresenta uma foliação NE-SW, com mergulho para leste, tal fato explica a ocorrência de pequenas ressurgências, junto ao sopé do Serrote, na sua vertente leste.

O Serrote do Jacurutu compreende um *inselberg*, datado do Pré-Cambriano constituída por gnaisse de composição granítica, significativamente rica em quartzo e situa-se na zona de contato entre a Depressão Sertaneja ao sul e os Tabuleiros Pré-Litorâneos ao norte.

A precipitação média anual alcança índice em torno de 1600mm, índice este que é um pouco superior a taxa de evaporação. A área da Pedreira encontra-se localizada na bacia hidrográfica do Rio Cauípe, que integra a bacia conjugada ao Rio Ceará. (RADAMBRASIL, 1981).

De acordo com o plano de lavra da pedreira do Serrote Jacurutu, elaborado pela Construtora ANDRADE GUTIERREZ, em que foi requerida uma área de 37,8 ha que deveria ser lavrada em diferentes etapas segundo este plano o volume estimado a ser extraído corresponderia a um total de 1.322.000 m³, havendo sido extraído cerca de 5.502.722 m³. A pedreira foi lavrada com a finalidade principal de fornecer brita para a construção do Terminal de Embarque Provisório (TEP) do Quebra-Mar do Porto do Pecém. O desmonte do corpo rochoso foi feito pelo método de extração e plano de fogo com ação de explosivos, este é acionado através de estopim ou cordel provido de espoleta simples ou retardo. O transporte dos blocos da pedreira ao Porto do Pecém foi realizado através de caminhões do tipo basculante até o terminal de embarque provisório, e daí, através de barcaças até o porto de lançamento.

Com o uso de software geotecnológico pode-se fazer uma representação de um modelo hipsométrico tridimensional para a pedreira (Figura 6). Na parte superior direita da figura está a imagem da representação da pedreira em fotografias áreas com devidos reajustes de escala, interpolações de curvas de níveis e modelo em *grid* do mapa topográfico. Na parte inferior observa-se o movimento rotacional em vários ângulos da pedreira enfocando seu entorno geométrico com as outras unidades naturais.

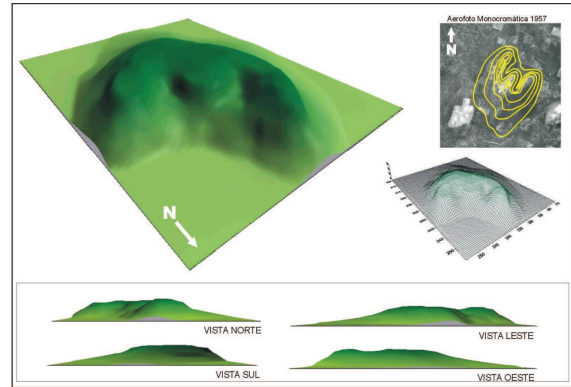


FIGURA 6 - Modelo Hipsométrico tridimensional da Pedreira do Jacurutu

Com o mesmo procedimento inicial anterior foi feito o modelo hipsométrico digital tridimensional da pedreira para a parte explotada, a diferença é que o mapa topográfico utilizado foi o de detalhe que a empresa utilizou para o seu projeto (Figura 7). Além da elaboração desse modelo digital pode-se fazer uma comparação com a fotografia aérea com 350m de altitude. No modelo foi delimitada a parte que já foi explotada e da mesma forma que o anterior foi redimensionado e monitorando a frente de lavra. Observa-se que o modelo hipsométrico digital tridimensional foi projetado a partir do mapa topográfico de detalhe da frente de lavra, que foi utilizado pela empresa em sua plena atividade no período de produção para o Porto do Pecém.

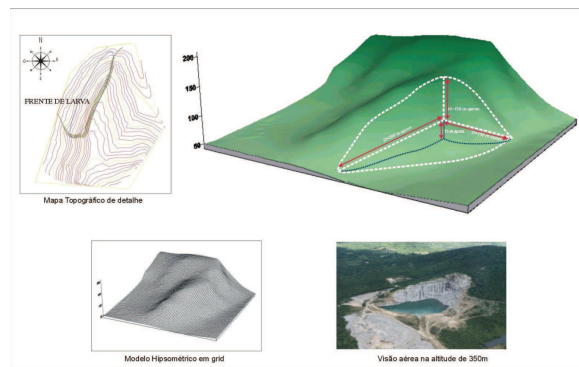


FIGURA 7 - Modelo Hipsométrico digital tridimensional da Pedreira do Jacurutu.

O *Ground Penetrating Radar* (GPR) é uma técnica geofísica de imageamento de subsuperfície que utiliza um pulso elétrico para gerar ondas eletromagnéticas radiadas para dentro da terra por antenas colocadas na superfície. A emissão,

transmissão, reflexão e refração das ondas eletromagnéticas se define mediante as equações de MAXWELL (SALINAS 1995). Os impulsos eletromagnéticos de alta frequência, emitidos por antenas transmissoras, passam através da superfície da terra até atingir uma dada profundidade, estes sinais variam de acordo com a mudança das propriedades elétricas dos materiais. Nas interfaces elétricas o sinal é refletido ou refratado, tornando-se mais atenuado ou dissipado dentro do material. O sinal refletido é detectado na superfície por antenas receptoras, as quais ficam próximas ao transmissor. Esta técnica permite obter uma resolução na ordem de 1cm em profundidades de até 50m (ALMEIDA & BOTELHO, 1995).

Com exceção das litologias altamente condutores, o restante dos materiais pode ser detectado pelos impulsos, sendo as reflexões obtidas decorrentes das descontinuidades dos diferentes tipos de materiais rochosos. A essência desse método é a medida exata dos sinais num dado período de tempo, normalmente medido em nanossegundos (10^{-9} s), que depende da velocidade do sinal em superfície, quando atravessam material e são refletidos de volta a superfície onde são recebidos pelas antenas receptoras. Através de cálculo, o tempo pode ser convertido em profundidade, de acordo com as velocidades de propagação das ondas nos materiais.

Existem oito posições para configurações de antenas de transmissão e recepção (S. TILLAR, 1994, figura 8). Procurou-se neste trabalho definir entre as configurações de antenas de melhor qualidade dos sinais refletidos e recebidos para a pesquisa, utilizando- a antena de 100MHz para a recepção de imagens.

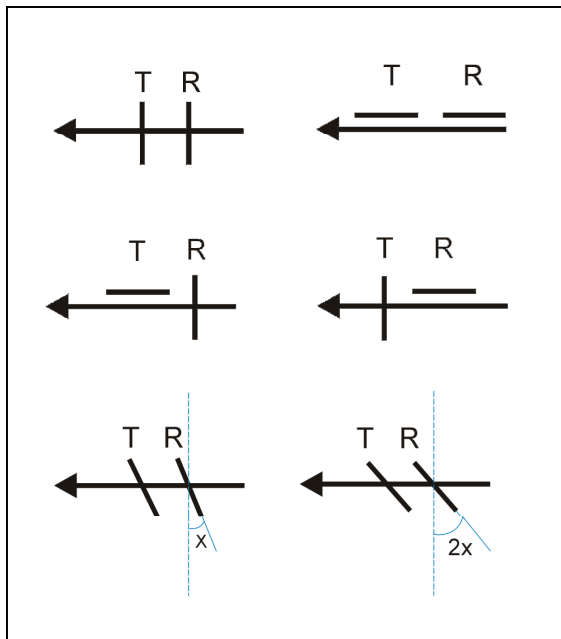


FIGURA 8 - Configuração básica das antenas do GPR

O processamento de dados feito nos perfis da pedraira do granito Cotton Ceará de Chorozinho

(figura 9), pelo RAMAC/G.P.R em que este equipamento contém um vasto número de informações geológicas arquivadas em seus diretórios. Para que a apresentação dos resultados seja visível o RAMAC/G.P.R procede a um número de comando simples, os quais são necessários para um bom resultado como comando de filtragem, ganhos de informações digitais etc. Todos estes comandos estão contidos nos disquete que acompanham o equipamento, entretanto, em muitos casos, para um melhor processamento de informações é necessário aumentar as reflexões e/ ou suprimir ou eliminar as desnecessárias. Este tipo de processamento pode ser feito como são os processamentos da sísmica, pelo fato deste dois métodos, de pesquisa serem muito similares (amplitude e função do tempo). Deve-se tomar alguns cuidados para que o processamento seja feito de maneira correta, para que isso não ocorram erros de interpretação.



FIGURA 9 - Perfil longitudinal com 74m de comprimento com espaçamento e leitura

Os dados processados no RAMAC/GPR caracterizados como dados brutos, ou seja, sem filtragem e sem a transformação do tempo 400 ns em profundidade, formam a imagem captada pela antena receptora em tons de cinza a seguir é feita a classificação para que torne-se colorida (Figura 10).

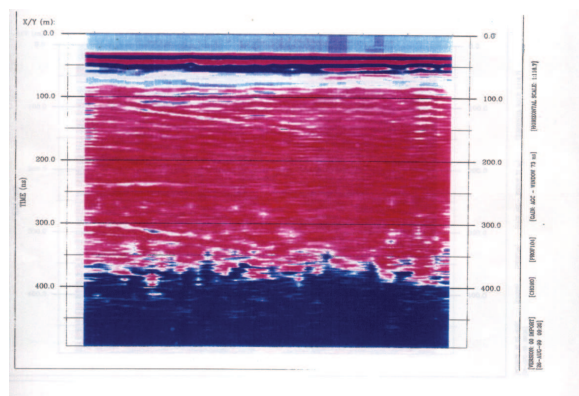


FIGURA 10 - Imagem do radargrama sem filtros com antenas de 1000Mhz

A transformação do tempo de 400ns em profundidade de aproximadamente de 30m, juntamente com o conjunto de filtragens do sinal foi todo digitalizado como mostra a figura 11, em que foi

feitas a interpretação com a inversão e foi destacada a fratura subhorizontais de diferentes profundidades.

A representação do modelo de radiação de sensores ativos de ondas eletromagnéticas de radar no subsolo se efetua na forma de gráfico polar seguindo dois eixos, o que facilita a interpretação em duas dimensões. Atualmente já existe técnica de representação tridimensional utilizando aplicativos mais sofisticados.

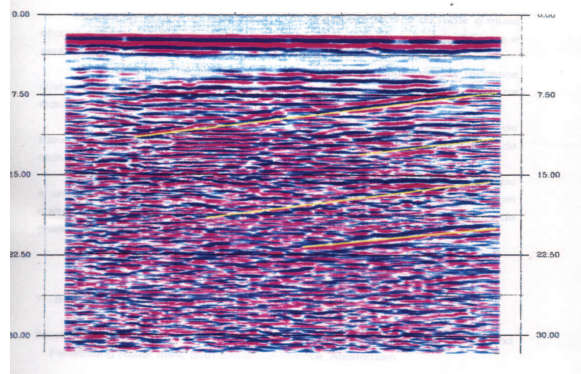


FIGURA 11 - Imagem do radargrama com identificação das fraturas e antenas de 100mhz

CONCLUSÕES

Evidentemente que o uso da geotecnologias não é a solução final para todos os tipos de problemas que podem ocorrer no caso da mineração de pedreiras. É uma ferramenta que também tem seus limites e particularmente é um instrumento que deverá, na medida do possível, ser incorporada nas fases e etapas de qualquer investimento bem planejamento.

No caso da Pedreira do Jacurutu houve um interesse de extrair o mineral e a Empresa esqueceu o compromisso com os efeitos ambientais na área.

A Empresa poderia ter realizado um estudo prévio em conjunto com o estudo geotecnológico e proposto um modelo que pudesse minimizar efeitos ambientais.

Fazendo o uso de ferramentas geotecnológicas e os aplicativos adequados o empreendedor ou o empresário evitar variáveis imprevistas como atingir cota negativa na base do Serrote. Por outro lado, pode redirecionar a frente de lavra com a análise da imagem de satélite, estabelecendo relação da parte explotada com as outras unidades naturais da área requerida, tornando o empreendimento viável a partir do compromisso e capacidade de grande porte com o Porto do Pecém, compatibilizando o uso com os interesses econômicos.

O importante é registrar que se encontra raro exemplo de geotecnologia aplicadas às pedreiras no estado do Ceará tanto com relação ao GIS como ao GPR, assim as geotecnologias só se tornaram

eficazes quando as políticas governamentais incorporaram o entendimento de que iniciativa desvinculada aos privilégios compensatórios de interesses econômico com impactos ambientais, são mais plausíveis.

Os impactos e efeitos para exploração de pedreiras estão relacionados entre outros, como paisagístico, erosão dos solos, curso de drenagens, desmatamento, sonoro, contaminação do lençol freático, social etc.

O trabalho mostrou que a geotecnologia de radar do GIS e GPR é muito eficiente tanto do ponto de vista prático-teórico, quanto de sua aplicabilidade e versatilidade, por definir disposição espacial das fraturas em frente de lavra, profundidade e geometria do embasamento indicando procedimentos mais seguros de exploração com menos risco ambiental e perdas de materiais.

O SIG permite uma visão macro da pedreira e suas relações com outras unidades naturais, enquanto que o GPR umas visão interna ou ultrasonografia para detecção de fraturas em maciços rochosos cristalino, desta forma o aproveitamento dessas geotecnologias é questão de custo e benefício.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE GUTIERREZ. Plano de lavra da Pedreira Jacurutu (s.n.t.)1996,2v.
- BOTELHO, M.A.B., and ALMEIDA, R.S., 1995, *3D reverse time migration of ground Penetrating Radar data*, 58th EAGE conference, Amsterdam.
- DAVIS, J.L., and ANNAN, A.P, 1989, *Ground-Penetrating radar for high-Resolution Mapping of soil e Rock stratigraphy, geophysical jprospecting*, 37,
- LILLESAND, T.M. & KIEFER (1991) *Remote sensing and image interpretation*. New York.
- Manual apostilas de cursos e "Guia em Português" do ENVI.
- Manual on-line, cursos e exercício do SPRING, disponíveis na Internet (www.dpi.inpe.br/spring).
- MORAIS, J.O. –*Geologia no Planejamento Ambiental* :Revista de Geologia 1991,vol.4 127 a 154.
- RADAMBRASIL - 1981A. Folha SA.24 - Fortaleza, *Levantamento de Recursos Naturais*, V. 21, MME. Rio de Janeiro.
- SALINAS, L.S, 1995, *Prospección del subsuelo mediante ondas rada. Fundamentso y principales aplicaciones em Ingenieria Geológica Departamento de Geoquímica, Petrologia y Prospección Geológica*. Universitat de Barcelona.
- TILLARD, S. 1994, Radare experiments in isotropic and anisotrople geological formations (granite and schists), *geophysics prospeetinge*, 42, 615-636.