

## **ESTUDO DAS LIMITAÇÕES DO MÉTODO DE RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) NA INVESTIGAÇÃO SEDIMENTAR DA PORÇÃO EMERSA DE BACIA DE CAMPOS - PARQUE MICO LEÃO DOURADO, MUNICÍPIO DE CABO FRIO-RJ**

Mirela da Costa Rios<sup>1</sup>; José M. A. G. Cesário<sup>1</sup>; Luana Araújo de Lima<sup>1</sup>; Cornélio Braga De Oliveira Filho<sup>1</sup>; Miguel Ângelo Mane<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Amazonas, Unidade Acadêmica de Coari - [mirela\\_costarios1996@outlook.com](mailto:mirela_costarios1996@outlook.com) - [jmcesario@gmail.com](mailto:jmcesario@gmail.com) - [luaraujolla@gmail.com](mailto:luaraujolla@gmail.com) - [cbofilho@hotmail.com](mailto:cbofilho@hotmail.com) -

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro [migangel@uerj.br](mailto:migangel@uerj.br)

### **RESUMO**

A região costeira do estado do Rio de Janeiro é fortemente influenciada pela presença de água salgada em seu substrato sedimentar, limitando a penetração de ondas Eletromagnéticas do GPR e (Radar de Penetração do Solo). Esse método tem o seu processamento e interpretação equivalente a Sísmica de Reflexão, muito usada na prospecção de óleo e gás. Foram realizadas investigações geofísicas através do método de GPR, na cobertura sedimentar de idade Quaternária No Parque do Mico Leão Dourado, na porção norte desse município e distante cerca de 1,5 km do litoral. Esse método geofísico registra a variação na descontinuidade dielétrica no subsolo, após a injeção de uma onda Eletromagnética pelo transmissor e a resposta do subsolo captado pela antena transmissora, seguidamente armazenada em notebook.

Através da interpretação de perfis 2D, foram mapeados pacotes de sedimentos, cuja profundidade não passou de 15 metros. A limitação se deve a presença de água salgada em alguns trechos e a condutividade do meio. Os perfis 2D obtidos, mostram perda de sinal em profundidade, tal como era de se esperar para um método eletromagnético de forte influência marina. Entretanto, vale salientar que em estudo de análogos, essa informação pode ser útil na correlação com áreas maiores e obtendo dessa forma alguma das características da borda de Bacia de Campos.

Palavras-chave: GPR, Onda Eletromagnética, Reflexão, Perfis 2D, Bacia sedimentar



## 1. INTRODUÇÃO

A frequência de funcionamento GPR, abrange a faixa de 10 a 1400 MHz. É um método eletromagnético que emprega ondas de eletromagnéticos em frequências muito altas, diferente da Sísmica que usa ondas mecânicas. Os dois métodos são úteis para localizar estruturas e feições geológicas embora o GPR tenha a sua profundidade de investigação em torno de 30 metros. Essa penetração baixa, constitui a limitação do GPR em algumas áreas de pesquisa geológica.

Métodos geofísicos fornecem informações sobre algumas propriedades físicas do subsolo, suas condições e processos, sem a necessidade de escavação ou sondagem. Eles se subdividem em métodos ativos e passivos. Os primeiros medem a resposta do subsolo a energia eletromagnética, elétrica e sísmica, enquanto os métodos passivos medem o campo magnético, elétrico e gravitacional naturais da Terra.

Os métodos geofísicos também podem ser subdivididos em métodos de superfície e de poços. Nos métodos de superfície, os instrumentos de medida são posicionados na superfície do terreno. Já os métodos geofísicos de poços requerem que poços ou furos de sondagens estejam instalados para que os instrumentos sejam colocados no interior do poço. A figura 1 apresenta o princípio de funcionamento do GPR. A energia refletida é registrada em função do tempo de percurso (tempo duplo), que é amplificada, digitalizada e gravada no disco rígido do computador, deixando os dados prontos para um posterior processamento quando se fizer necessário (Nunes, 2002).

O Radar de penetração em Solo, GPR (*Ground Penetrating Radar*) ou ainda Georadar, é um método geofísico de superfície que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência, entre 10 e 2500 MHz, para mapear estruturas e feições geológicas rasas da subsuperfície ou ainda localizar objetos

enterrados. Segundo Porsani (1999), este método se assemelha ao método de reflexão sísmica e ao sonar, no princípio físico e na metodologia do levantamento de campo, com a exceção de que é baseado na reflexão de ondas eletromagnéticas.

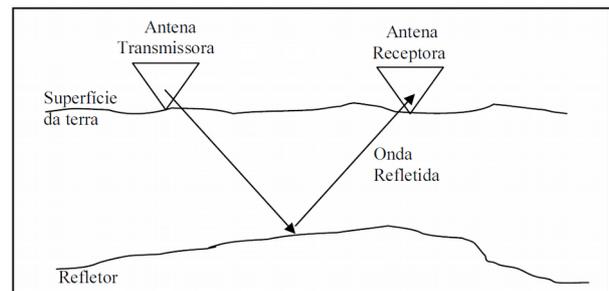


Figura 1 – Arranjo das antenas de GPR.

O princípio físico do método consiste na emissão de ondas eletromagnéticas (EM) que são geradas através de um curto pulso de alta frequência e que, por sua vez, são repetidamente radiadas para dentro do terreno por uma antena transmissora.

A propagação do sinal e a profundidade de alcance das ondas EM dependem da frequência do sinal emitido e das propriedades elétricas dos materiais (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética). As variações nessas propriedades elétricas fazem com que parte do sinal emitido seja refletida; essas ondas, então refletidas e difratadas em subsuperfície, são recebidas por outra antena também colocada na superfície e denominada antena receptora.

## 2. RESUMO DA GEOLOGIA

O Parque do Mico Leão Dourado se encontra na área costeira inserida no Domínio Tectônico de Cabo Frio (DTCF) (Schmitt, 2001) aflorante no extremo sudeste da Faixa Ribeira, um cinturão orogênico com *trend* NE-SW, que se estende ao longo da margem

atlântica formado durante o Neoproterozóico-Eo-Paleozóico (Heilbron & Machado, 2003). A Faixa Ribeira é limitada ao sul pelo Cráton Luís Alves e ao norte existe uma transição gradacional para a Faixa Araçuáí Neoproterozóica onde o orógeno assume, predominantemente, um *trend* N-S (Heilbron & Machado, 2003). O limite NW, a sul do Estado de Minas Gerais, é caracterizado pelo *trend* estrutural NE-SW da Faixa Ribeira que super-impõe a orientação NNW da Faixa Brasília Neoproterozóica anteriormente desenvolvido, resultando em uma complexa zona de interferência entre as duas faixas (Peternel et al., 2005) (Figura 3.1).

A Faixa Ribeira se estende por mais de 1400 km, e está inserida na Província Tectônica Mantiqueira, incluindo uma série de fragmentos crustais de diferentes idades e evolução tectônica que resultaram da aglutinação do Supercontinente Gondwana. A reconstrução deste paleo-continente mostra que a Faixa Ribeira é parte de um grande sistema orogênico desenvolvido em resposta à convergência entre os crátons São Francisco, Congo e um suposto terceiro bloco cratônico (Brito Neves e Cordani, 1991).

A subdivisão mais recente para a Faixa Ribeira foi proposta por Heilbron *et al.* (2004b), delimitando-a em cinco terrenos tectono-estratigráficos separados ora por

### 3. METODOLOGIA

A etapa de campo compreendeu atividades de aquisição realizadas em linhas pré-estabelecidas dentro do Parque do Mico Leão Dourado, com caminhamentos e registros constantes da onda eletromagnética oriundos de emissões da antena transmissora a cada 50 centímetros. Essa configuração, permitiu uma resolução adequada para um ambiente de sedimentos inconsolidados, tal como é a situação do parque.

Os perfis de reflexão GPR, comumente denominados radargramas, são então obtidos movendo-se as antenas transmissora e receptora com um intervalo de espaçamento

falhas de empurrão, ora por zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas. Estes terrenos são denominados de Ocidental, Paraíba do Sul, Embu (aflora apenas na porção sul da faixa), Oriental e Cabo Frio. A colisão destes terrenos é caracterizada pelo imbricamento de escamas crustais com vergência para oeste, em direção à margem do Cráton São Francisco (Figura 2).

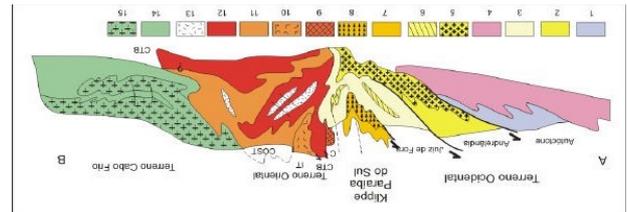


Figura 2 - Perfil estrutural composto do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais. Legenda: Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3 - Megassequência Andrelândia nos domínios Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6 - Associações do embasamento (Complexo Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8): 7-Grupo Paraíba do Sul; 8-Complexo Quirino; Terreno Oriental (9-13): 9-Sequência Cambuci; 10-Sequência Italva; 11-Sequência Costeiro; 12-Arco Magmático Rio Negro; 13-Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio (14-15): 14-Sequência Búzios e Palmítal; 15-Complexo Região dos Lagos (Heilbron *et al.*, 2004b).

constante. O resultado de um perfil GPR é uma imagem das variações em subsuperfície das propriedades dielétricas em função do tempo duplo de percurso do pulso eletromagnético. O resultado foi a obtenção de perfis 2D, que seguiram para a fase de processamento.

A etapa pós-campo englobou toda a compilação e comparação dos dados levantados na bibliografia e das medições na área. Esta etapa teve como objetivo promover os conhecimentos da geologia rasa da área e a interpretação 2D do perfil de GPR. Os dados de GPR foram processados utilizando-se o software REFLEX V4,5 da Sandmeier Scientific Software.

## 4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O conhecimento da fundamentação teórica e das limitações do método GPR são necessários para se fazer um bom uso do método durante a aquisição dos dados (Porsani, 1999). Os fundamentos do método GPR estão embasados na teoria de propagação de ondas eletromagnéticas, ou seja, nas equações de Maxwell. Estas equações são utilizadas para estudar a estrutura interna da Terra, a partir de suas propriedades elétricas e magnéticas, descrevendo o comportamento do campo eletromagnético de qualquer meio. Entretanto, elas não possuem nenhuma informação sobre as propriedades elétricas dos materiais por onde os campos elétricos e magnéticos atuam. Dessa forma, é necessário introduzir as relações constitutivas do meio, que relacionam o campo elétrico externo aplicado ao campo interno pelas propriedades elétrica e magnética dos materiais.

### 4.1 – Propriedades Elétricas e Magnéticas

As propriedades EM dos materiais dependem de sua composição e umidade, ambos controlando a velocidade de propagação das ondas EM e sua atenuação (Annan, 1992). Os materiais geológicos (rochas sedimentares, ígneas e metamórficas) podem ser considerados semicondutores ou dielétricos, podendo ser caracterizados por três propriedades: condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética.

### 4.2 – Condutividade Elétrica

A primeira relação constitutiva do meio, conhecida como lei de Ohm, relaciona a densidade de corrente de condução ( $\vec{J}$ ) ao campo elétrico ( $\vec{E}$ ), e é escrita como:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Nos materiais geológicos simples, essa relação é aproximadamente linear e a

constante de proporcionalidade é a condutividade elétrica ( $\sigma$ ). A condutividade elétrica de um material é uma medida de sua habilidade em conduzir corrente elétrica (Keller, 1987). A condutividade, em geral, é expressa em Siemens por metro (S/m). Para investigações rasas, como é o caso das aplicações do GPR, é mais comum trabalhar com a unidade mS/m.

Segundo Keller (1987), a condutividade ( $\sigma$ ), ou o seu inverso, a resistividade ( $\rho$ ), pode variar até 20 ordens de magnitude para os materiais geológicos. Os principais fatores que afetam a condutividade elétrica nos materiais geológicos próximos a superfície são: o teor de umidade, a porosidade, a salinidade, a proporção da fração argila e a presença de materiais condutivos.

### 4.3 – Permissividade Dielétrica

A segunda relação constitutiva do meio relaciona diretamente o campo elétrico ( $\vec{E}$ ) à corrente de deslocamento, ou à polarização ( $\vec{D}$ ), e a constante de proporcionalidade é a permissividade dielétrica do material ( $\epsilon$ ). Segundo:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

De acordo com Annan (1996), tanto a condutividade elétrica quanto a permissividade dielétrica são importantes, posto que afetam diretamente a atenuação e a propagação das ondas de radar, respectivamente. Ward & Hohmann (1987) sugerem que a condutividade é dominante para as ondas EM de baixas frequências (<1 MHz), enquanto que em altas frequências (>1 MHz) a permissividade dielétrica é dominante. Usualmente, utiliza-se a permissividade dielétrica relativa ( $\epsilon_r$ ) ou constante dielétrica dos materiais ( $k$ ), definida como:



$$k = \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Onde:

$\epsilon$  = permissividade elétrica do material (F/m);

$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$  F/m, é a permissividade dielétrica no vácuo.

#### 4.4 – Permeabilidade Magnética

A terceira relação constitutiva do meio relaciona diretamente o campo magnético ( $\vec{H}$ ) com o campo indução magnética ( $\vec{B}$ ), e a constante de proporcionalidade é a permeabilidade magnética do material ( $\mu$ ). A permeabilidade magnética é obtida de acordo com a seguinte relação:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

Em muitas situações geológicas, os fatores mais importantes que controlam as respostas GPR são as propriedades elétricas. Para a propagação de ondas EM nas frequências do radar, supõe-se que a permeabilidade magnética da maioria dos materiais geológicos é essencialmente independente da frequência, e não varia significativamente em relação à permeabilidade magnética do vácuo (Olhoeft, 1981; Keller, 1987). Portanto, o efeito da variação na permeabilidade magnética não tem sido considerado quando são feitas medidas eletromagnéticas na Terra (Topp *et al.*, 1980; Ward & Hohmann, 1987). Segundo Annan (1992), deve-se atentar para o fato de que os efeitos de uma forte permeabilidade

magnética podem não ser totalmente ignorados nas seções de GPR.

Substituindo-se as relações constitutivas do meio nas equações de Maxwell, obtêm-se as equações de propagação da onda EM num determinado meio, onde os fatores mais importantes que as governam são a velocidade e a atenuação. Maiores detalhes sobre as deduções matemáticas podem ser encontradas em Annan (1992) e Porsani (1999).

Para materiais geológicos com baixa perda, o campo EM propaga-se com uma velocidade de fase dada por:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

Onde:

$c$  = velocidade da luz =  $2,997 \times 10^8$  m/s  $\cong 0,3$  m/ns;

$k$  = permissividade dielétrica ou constante dielétrica dos materiais.

Além da constante dielétrica ser influenciada pelo conteúdo de água no meio, ela também reflete algumas interações, tais como: a porosidade, as características do fluido intersticial, a superfície específica, a mineralogia, a estrutura e a temperatura (Nunes, 2002).

A relevância de cada parâmetro varia com a frequência utilizada. Santamarina (2001) apresenta um estudo mais detalhado destas interações, expondo relações empíricas correlacionando alguns parâmetros do solo com a constante dielétrica, em função da frequência aplicada. O autor também relata a dificuldade em avaliar e medir o efeito de cada um destes parâmetros na propagação de ondas eletromagnéticas.



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados verificados nos radargramas apontam para um pacote de sedimentos cujas camadas apresentam feições de mergulho aparente de até 45°. Essa constatação mostra que os eventos de sedimentação na área ocorreram em etapas distintas, onde a disposição aparenta uma sequência que vai do continente em direção ao mar.

As seções GPR podem ser subdivididas em dois compartimentos, no primeiro, representado por uma camada superior que foi interpretada como

proveniente do solo de alteração local, e possivelmente dos depósitos quaternários da região e, um segundo, com acamamento sobreposto, sugerindo deposição sedimentar em várias etapas, com uma inclinação de aproximadamente 30°, na direção E-W, constituindo o que hoje se observa em toda a baixada. Em alguns casos a rocha sã pode ser discriminada. Não foram observados a presença de blocos, pois a resposta GPR mostrou de forma clara as camadas com interfaces sobrepostas, típicas de uma deposição de sedimentos. Outros métodos propostos devem contribuir para essa conclusão e para ao refinamento do modelo geológico proposto.

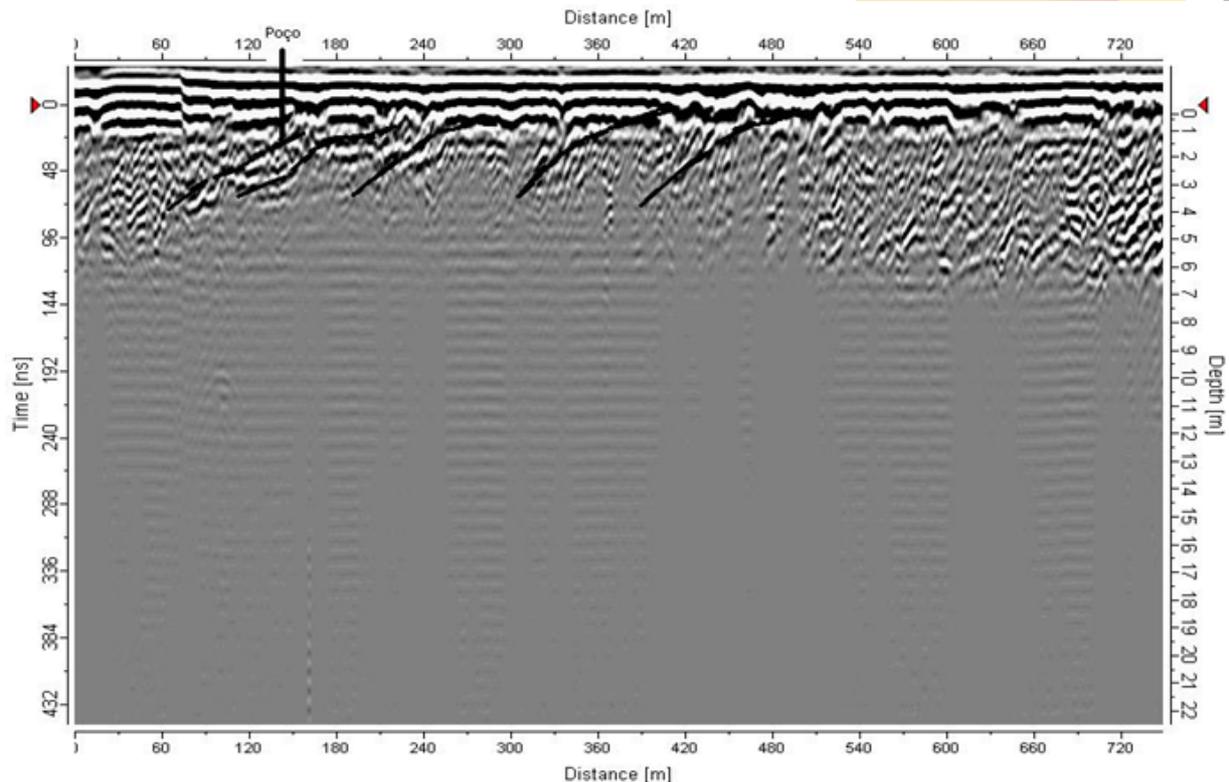


Figura 3 – Resultado GPR com as camadas inclinadas interpretadas

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

## 6. CONCLUSÕES

Os dados de GPR mostraram uma sequência de camadas sobrepostas, pouco definidas e inclinadas, sugerindo a direção de mergulho desses estratos (Figura 3). Esta configuração indica a existência de episódios de deposição sedimentar com intervalos

curtos de tempo e marcados pela deposição de fácies arenosas mais espessas.

Sendo assim nesses estudos preliminares o GPR mostrou resultados satisfatórios para definição de estruturas sub-superficiais, sobre o arcabouço faciológico, além da caracterização sedimentológica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNAN, A. P., COSWAY, S.W. 1992. Ground penetrating radar survey design. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, Vol. 2, pp. 329-352.

ANNAN, A. P. 1996. Transmission dispersion and GPR. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, Vol. 0, nº 2, pp. 125-136.

BRITO NEVES, B. B. & CORDANI, U. G. 1991. Tectonic Evolution of South America during the Late Proterozoic. Precambrian Research, 53: 23-40.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eo-Palaeozoic Ribeira Orogen (SE Brazil). Precambrian Research, 125(1-2): 87-112.

HEILBRON M., PEDROSA-SOARES A.C., CAMPOS NETO M., SILVA L.C., TROUW R. A J., JANASI V.C. 2004b. Brasiliano Belts in SE Brazil. Journal of Virtual Explorer, Volume 17, [www.virtualexplorer.au](http://www.virtualexplorer.au).

KELLER, G. V. 1987. Rock and mineral properties. Investigations in Geophysics, nº 3. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Society of Exploration

Geophysicists, Ed. Misac N. Nabighian, Vol. 1, pp. 13-51.

NUNES, C. M. F. 2002. Aplicações do GPR (Ground Penetrating Radar) na caracterização de perfis de alteração de rochas gnáissicas do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, DEC, PUC-Rio, RJ.

OLHOEFT, G.R. 1981, Electrical properties of rocks: in Physical Properties of Rocks and Minerals, Touloukian, Y. S., Judd, W. R., and Roy, R. F., eds.: New York, McGraw-Hill, p. 257-330.

PETERNEL, R.; TROUW, R.A.J. & SCHMITT, R.S. 2005. Interferências: O caso das faixas Brasília e Ribeira no Sudeste do Brasil. RBG. 35 (3): 297-310.

PORSANI, J. L. 1999. Ground penetrating radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro – SP. 145 p.

SANTAMARINA, J. C. 2001. Soils and waves. John Wiley and Sons, 488 p.



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

SCHMITT, R.S. 2001. A Orogenia Búzios – Um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira – sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, IG/UFRJ. 273p.

WARD, S. H., HOHMANN, G. W. 1987. Electromagnetic theory for geophysical applications. Investigations in Geophysics, nº 3. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Ed. Misac N. Nabighian, Vol. 1, pp. 131-311.



**[www.conepetro.com](http://www.conepetro.com.br)**  
**.br**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)