

Avaliação do Potencial de Captação de Água Subterrânea em Áreas Rurais de Municípios do Noroeste Fluminense-RJ, Brasil

Assessment of the Potential Groundwater Abstraction in Rural Areas of Municipalities in Northwestern Rio de Janeiro-RJ, Brazil

Andréa Alves Ferreira¹ , Alfredo Akira Ohnuma Júnior² , Marcelo dos Santos Salomão³ 

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Geologia Aplicada, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mails: eng.andreaferreira@gmail.com; akira@uerj.br; salomao.mss@gmail.com

Autor Correspondente: Andréa Alves Ferreira; eng.andreaferreira@gmail.com

Resumo

Na região noroeste do estado do Rio de Janeiro, o período seco característico da região é potencializado pelo baixo índice de vegetação, grande escoamento superficial e uso e ocupação dos solos sem manejo sustentável. Devido a esses aspectos, este trabalho propõe uma avaliação das áreas potenciais de captação de águas subterrâneas em zonas rurais dos municípios fluminenses de Miracema, São José de Ubá e de Itaperuna, com demanda elevada de água em função das atividades agrícola e pecuária. A metodologia consiste em campanhas geofísicas e a caracterização ambiental da área de estudo, a partir de informações associadas ao clima, morfologia, vegetação, geologia, solos, hidrografia, hidrogeologia, uso e ocupação do solo. Os métodos geofísicos Elétrico, Eletromagnético e Magnetométrico foram aplicados para a obtenção e a integração de dados do subsolo, a partir da aplicação dos métodos propostos. Os resultados indicam as áreas de recarga dos aquíferos e um grande potencial para a captação de água subterrânea nos espaços provenientes das fraturas e dos contatos entre rochas, em proporção das condições favoráveis à infiltração da água nos terrenos, por meio da vegetação e características do solo, uso e ocupação do território. Pode-se concluir que os métodos e procedimentos também são apropriados para avaliar o potencial para a exploração de água subterrânea em locais com características geológicas, hidrogeológicas e topográficas semelhantes.

Palavras-chave: Eletrorresistividade; Magnetometria; GPR

Abstract

In northwest region of state Rio de Janeiro, dry season characteristic of region is enhanced by low-rate vegetation, large runoff and land use and occupation without sustainable management. Due to these aspects, this work proposes an evaluation of potential groundwater catchment areas in rural zones municipalities of Rio de Janeiro, Miracema, São José de Ubá and Itaperuna, with high water demand due to agricultural and livestock activities. The methodology consists of geophysical campaigns and environmental characterization study area, based on information associated with climate, morphology, vegetation, geology, soils, hydrography, hydrogeology, land use and occupation. The Electric, Electromagnetic and Magnetometric geophysical methods were applied to obtain and integrate data from subsoil, based on application of proposed methods. Results indicate the aquifer recharge areas and a great potential for capturing groundwater in spaces from fractures and contacts between rocks, in proportion to conditions favorable to water infiltration into the land, through vegetation and soil characteristics, territory use and occupation. It can be concluded that methods and procedures are also appropriate to assess the potential for exploitation groundwater in places with similar geological, hydrogeological, and topographic characteristics.

Keywords: Electrical resistivity; Magnetometry; GPR

1 Introdução

A região noroeste do estado do Rio de Janeiro situa-se no sudeste do Brasil e devido às características naturais da região, apresenta um clima com período seco de 4 a 6 meses (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2019). A deficiência hídrica dos municípios é aumentada substancialmente em razão do acentuado índice de desmatamento, uso e ocupação do solo com atividades agropecuárias sem manejo sustentável e elevado escoamento superficial. Segundo a Agência Nacional de Águas (2017), a partir de 2014, longos períodos de estiagem contribuíram para uma crise hídrica na região sudeste do Brasil. De acordo com Cunha et al. (2019), o pico de seca severa ocorreu em 2013/2014, com índice de 42,6% em relação ao período avaliado de 2011 a 2019. A escassez de chuvas, as temperaturas muito elevadas e o alto consumo de água pela população destacaram-se como os elementos mais importantes deste cenário. Slater (2019) inferiu como fatores contribuintes ao panorama de seca uma combinação entre degradação ambiental, mudança climática, falta de manutenção de estruturas e insuficiência de planejamento. No noroeste fluminense, o déficit hídrico

subsistiu até 2017, com impactos significativos em sua economia, abrangendo perdas na safra e morte de animais (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2018). Um balanço hídrico desfavorável exige ações mitigadoras de modo a garantir o fornecimento hídrico sustentável para a população e os ecossistemas. Em vista desses aspectos, o trabalho envolvendo a caracterização ambiental da área de estudo foi conjugado, de forma generalizada e não específica aos mapas geológicos (tipos de rochas e estruturas), e aos perfis obtidos pelos métodos geofísicos Elétrico, Eletromagnético e Magnetométrico, para a obtenção de dados de subsuperfície nos locais indicados pela pesquisa como prováveis fontes para a captação de água. A investigação envolveu as zonas rurais dos municípios, nas quais a demanda por água é maior em função das atividades nas lavouras e criação de animais.

2 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a região noroeste fluminense, nas localidades rurais dos municípios de Miracema, São José de Ubá e da porção sudoeste do município de Itaperuna, (Figura 1) (IBGE 2015).

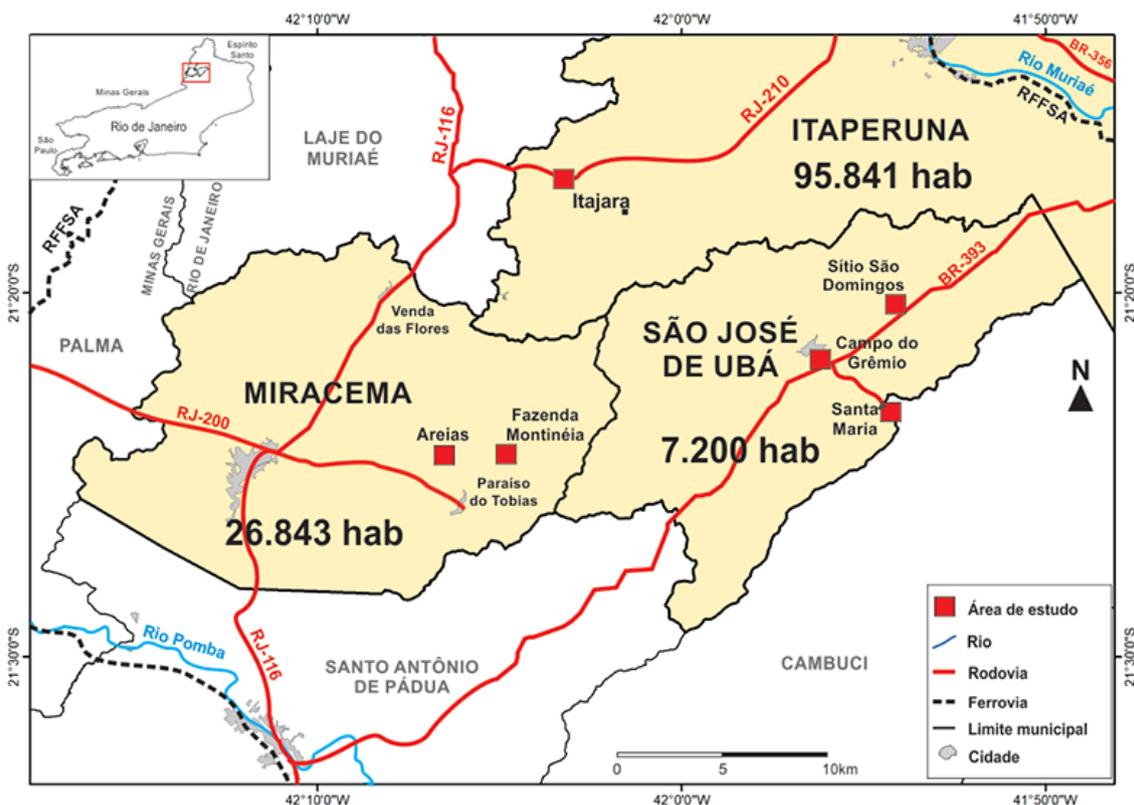


Figura 1 Limites municipais, principais rodovias, população e indicação das áreas de estudo (Miracema, São José de Ubá e sudoeste de Itaperuna).

O clima da região, segundo a classificação Köppen-Geiger é tropical com o inverno seco. A estação das chuvas figura nos meses de novembro a abril e a estação seca entre maio e outubro, sendo julho o mês mais seco (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2019). Os índices médios anuais de temperatura e pluviosidade na região noroeste são, respectivamente, 22.8 °C e 1.228 mm (Climate-Data 2019).

No noroeste fluminense a proeminência das áreas de pastagem na bacia reflete os efeitos dos diversos ciclos econômicos da região, como: café, cana-de-açúcar, algodão e pecuária extensiva. Colinas, morros, morrotes e alinhamentos serranos com direção preferencial das falhas e fraturas das rochas WSW-ENE, caracterizam a geomorfologia da região, com domínio de altitudes entre 100 e 300 metros e elevações máximas de 900 metros. Os solos são classificados como latossolo, argissolo, cambissolo, gleissolo, planossolo hidromórfico e neossoloflúvico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2003) e a distribuição pedológica na região pesquisada consta na Figura 2A. A cobertura vegetal é constituída por floresta estacional semidecidual ou floresta subcaducifólia (IBGE 2012; Lumbreras et al. 2004; Soffiati 2018), com fragmentos de vegetação remanescente da Mata Atlântica, de acordo com os padrões demonstrados na Figura 2B.

A área de estudo está inserida na Região Hidrográfica (RH-IX) do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana, contendo padrão de drenagem com direções nordeste-sudoeste e noroeste-sudeste, definido por estruturas, falhas e fraturas do terreno, o que retrata um controle geológico na sua orientação. Os litotipos predominantes são do tipo granulito e ortogranulito intercalados com granada-biotita-gnaíse com lentes de anfíbolito e de quartzito (Figura 2C).

O escoamento superficial na RH-IX, considerando a vazão de referência $Q_{7,10}$ corresponde a 20,96 m³/s. Em um cenário tendencial até 2033, a demanda representa 26,39 m³/s, com o retorno aos mananciais de 12,97 m³/s, resulta em um saldo hídrico de cerca de 7,50 m³/s (Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul/Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul 2016). A disponibilidade hídrica dos rios Pomba e Muriaé, integrantes das unidades Hidrológicas de Planejamento da RH IX, são respectivamente 1,71 e 4,5 m³/s na vazão de referência $Q_{7,10}$ (Instituto Estadual do Ambiente 2014). O volume do fluxo em superfície indica a necessidade de compatibilização entre o uso e a oferta dos recursos hídricos nos municípios. O INEA, em 2018, destacou a perspectiva de uso sustentável da água para a garantia do suprimento hídrico e estabeleceu diretrizes para os municípios pesquisados que realizam a captação nos rios Pomba e Muriaé: em Miracema e Itaperuna, o volume para o abastecimento de água mostra-se suficiente até 2030 e

em São José de Ubá há a recomendação para o aumento de produção em 5 L/s após 2025.

Em 2014, o volume anual do recurso hídrico subterrâneo passível de exploração, ou disponibilidade instalada, na RH-IX foi estimado em 44.273.040 m³/ano e a disponibilidade efetiva em 50.544 m³/dia (INEA 2014).

Hidrogeologicamente, os aquíferos estão localizados em fraturas de rochas cristalinas do Domínio Fissural, com cobertura de solo granular decorrente da alteração das rochas (saprólitos) e de depósitos aluvionares. O fornecimento de água dos municípios é realizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) do Rio de Janeiro, que atende a 90% do total da população de Itaperuna, 96% em Miracema e 50% em São José de Ubá (CEDAE 2018a, 2018b, 2018c).

3 Materiais e Métodos

Os dados sobre clima, morfologia, vegetação, solos, geologia, hidrografia, hidrogeologia, uso e ocupação do solo foram reunidos em um sistema georreferenciado, visando à identificação da presença de água subterrânea e atividades de campo.

As campanhas de campo ocorreram em diferentes períodos sazonais, em julho de 2019, janeiro de 2020 e outubro de 2020 (Tabela 1), com aquisições de dados pelos métodos geofísicos Eletroresistividade, Magnetometria e Georadar. As primeiras campanhas foram realizadas em locais onde há poço cadastrado no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas 2019) para a calibração dos padrões de referência de potencialidade de armazenamento de água. Os poços serviram para identificar a presença de água nos locais investigados.

Após a análise do registro de poços cadastrados no SIAGAS, os métodos geofísicos foram aplicados em localidades sem a presença de poços.

4 Métodos Geofísicos

4.1 Eletroresistividade

O método detecta na superfície os parâmetros elétricos do fluxo de corrente no subsolo. Na pesquisa utilizou-se a técnica de Sondagem Elétrica Vertical Multi Eletrodo (SEVME) e emprego de injeção de corrente elétrica no terreno por intermédio de uma fonte externa. O seu uso retrata os níveis de resistividade e/ou condutividade elétrica em subsuperfície (Dentith & Mudge 2014; Loke 2000). Utilizou-se o equipamento Syscal Kid Switch na aplicação da técnica SEVME, com arranjo dipolo-dipolo (Figura 3).

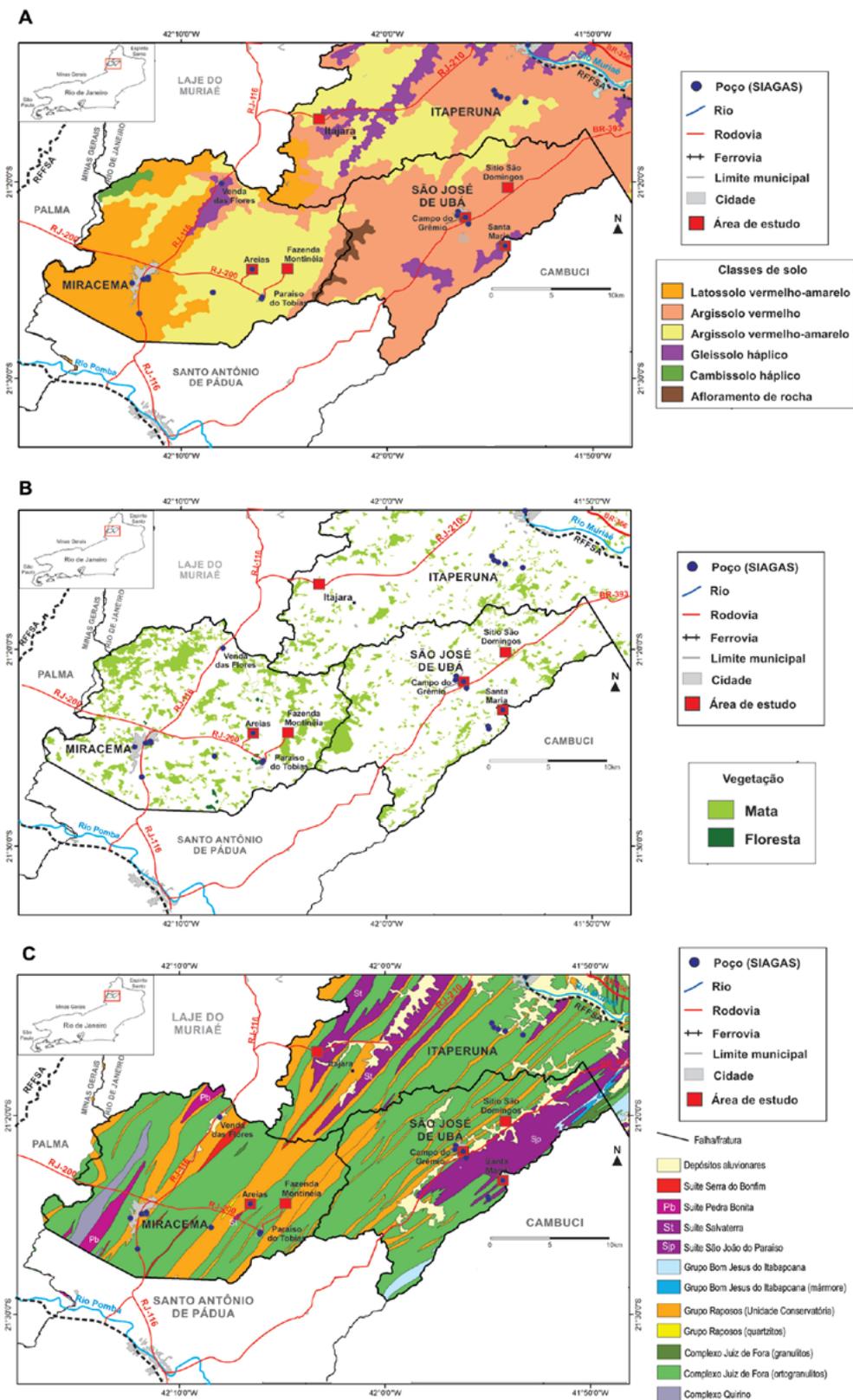


Figura 2 Mapas temáticos: A. Classes de solo; B. Cobertura vegetal; C. Geológico.

Tabela 1 Campanhas de coleta de dados ambientais, geológicos e geofísicos

Período	Município	Local	Coordenadas SIRGAS 2000 (Fuso 23 S e 24 S*)	Pluviosidade	
				Julho 2019	Janeiro 2020
Julho 2019 / Janeiro 2020	São José de Ubá	Campo do Grêmio	*X=194.695 *Y=7.635.185	Período seco, sem chuvas a mais de 30 dias	Período chuvoso. Altos índices pluviométricos durante a campanha
		Santa Maria	*X=198.800 *Y=7.637.700		
		Sítio São Domingos	*X=198.550 *Y=7.637.760		
	Miracema	Distrito de Areias	X=799.758 Y=7.630.325		
		Fazenda Montinéia	X=802.600 Y=7.630.050		
Outubro 2020	São José de Ubá	Sítio São Domingos	*X= 198.550 *Y=7.637.760	Período chuvoso. Chuva moderada nos dias anteriores à aquisição dos dados. Sem ocorrência de pluviosidade durante a coleta de informações	
	Itaperuna	Itajara	X=805.520 Y=7.644.310		

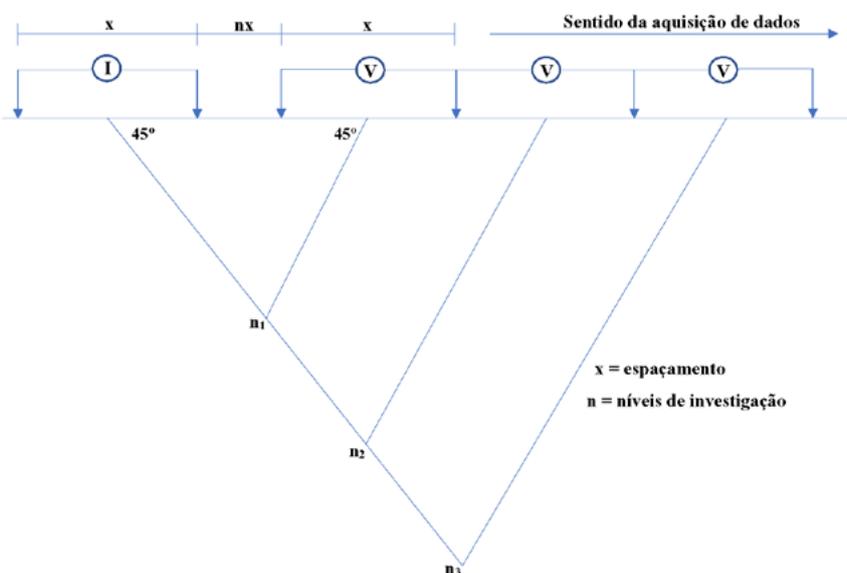


Figura 3 Esquema de aquisição de dados com o arranjo dipolo-dipolo.

A configuração em cada linha de aquisição compreendeu o uso de 24 eletrodos, com 5 metros de espaçamento entre eles e nove níveis de investigação. Os dados foram processados nos softwares *Prosys II (Iris instruments)* e *Res2DInv (Geotomo)*. As técnicas de inversão do software RES2DINV utilizadas no processamento foram a Robusta e Logarítmica, por retratarem com mais exatidão nos perfis, os dados obtidos.

4.2 Magnetometria

O uso do método permite medir a influência de rochas compostas por elementos ferromagnéticos no campo magnético terrestre (Gunnarsdóttir 2012). Este campo apresenta alterações constantes em sua intensidade

ao longo do dia, com amplitudes de várias dezenas de nanoteslas (nT). As variações são denominadas de diurnas ou diurnais. Os dados magnetométricos obtidos em campo, depois de aplicadas as devidas correções (filtragens), permitiram a elaboração de produtos, como mapas e seções, para a caracterização do subsolo e delineamento de falhas e contatos geológicos. Foram produzidas as seções da variação da Amplitude do Sinal Analítico para a detecção dos contatos entre litologias e da profundidade da fonte magnética (Deconvolução de Euler). Esta última possibilitou a produção dos perfis de profundidade do embasamento. O equipamento usado na aquisição de dados foi o magnetômetro modelo GSM-19 e espaçamento de 5 m entre as leituras.

4.3 Radar de Penetração no Solo (Georadar)

O método baseia-se nos fenômenos físicos da eletricidade e do magnetismo e conjectura a identificação dos contrastes dos elementos em subsuperfície. A profundidade de penetração do sinal depende da condutividade elétrica do meio em que ele se propaga e da frequência emitida pelas antenas do equipamento. As frequências mais altas estão relacionadas à menor profundidade de alcance do sinal e maiores profundidades são atingidas por frequências mais baixas (Akinsunmade et al. 2019). Na obtenção dos dados eletromagnéticos foi usado o equipamento Mala, modelo *ProEx* e antenas de 50 MHz e 100 MHz, com espaçamento entre antenas de 3.5 metros e 1 metro, respectivamente. O arranjo baseou-se na geometria de afastamento constante (*common offset*), conforme a Figura 4.

A extensão e os pontos amostrados foram os mesmos dos perfis dos métodos elétrico e magnético. Na aquisição utilizou-se o software *Groundvision* e, no processamento das seções, o programa *Reflex2DQuick*. Durante o processamento dos dados foi inserida a topografia das áreas e aplicados filtros, para melhorar a razão sinal/ruído. O filtro *Subtract-DC-shift* possibilitou a remoção de ruídos relacionados às propriedades elétricas do subsolo e da distância entre o transmissor e o receptor. A aplicação da correção estática excluiu dados espúrios ocasionados pela chegada da onda direta da fonte ao receptor. A correção dos fenômenos de indução, oriundos das componentes de baixa frequência do sinal foi feita aplicando-se o filtro “*dewow*”. No decaimento exponencial do sinal ao atravessar o solo, o procedimento executado para compensação de perda de informações foi aplicar ganhos (*Gain Function*) durante o processamento para amplificação do sinal. O *Bandpass butterworth* foi usado para suprimir ruídos que diferiam no conteúdo de frequência do sinal. O filtro *Background*

Removal foi utilizado com o intuito de remover ou atenuar o ruído de fundo e o efeito de reverberações das antenas. Quando necessário, aplicou-se o *Running Average* para enfatizar as informações horizontais. Em alguns casos foi usada a migração (*fk Migration*) para melhorar a resolução da seção e posicionar corretamente os refletores, tornando os elementos dos alvos espacialmente mais precisos.

5 Resultados e Discussões

Os resultados da pesquisa, apresentados nas Seções 5.1 a 5.6, têm como base a integração das informações geofísicas adquiridas em campo com dados de geologia, clima, morfologia, vegetação, solos, hidrografia e uso e ocupação do solo.

5.1 São José de Ubá - RJ

Campo do Grêmio: localizado em área plana, urbanizada e com fragmentos de vegetação ao redor. Possui um poço tubular cadastrado no sistema SIAGAS e situa-se em região de contato entre dois tipos de rocha (Figura 5). A homogeneidade da textura arenosa do solo favorece a infiltração de água no terreno e o armazenamento de água e recarga do poço.

O resultado da eletrorresistividade (Figura 5A) evidencia a presença de fratura no ortogranulito, ressaltando sua potencialidade em transmitir e armazenar água. Os baixos valores de resistividade ($< 20 \text{ Ohm.m}$) sinalizam concentração de água, próxima a um substrato poroso com umidade, correspondendo a uma água residente por um período transitório, com deslocamento lateral, depositando-se em porções mais profundas.

No perfil do Radar de Penetração no Solo (Figura 5B), os contrastes de condutividade elétrica e de permissividade dielétrica nas interfaces ressaltaram zonas com a presença de material com baixa resistividade ou material condutivo.

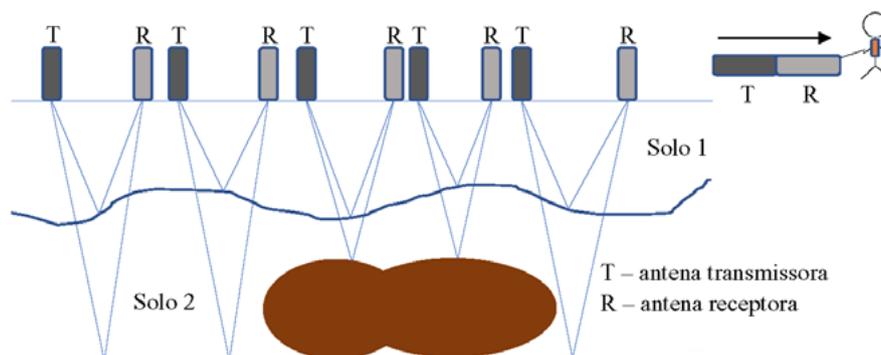


Figura 4 Esquema do arranjo GPR - *Common offset*.

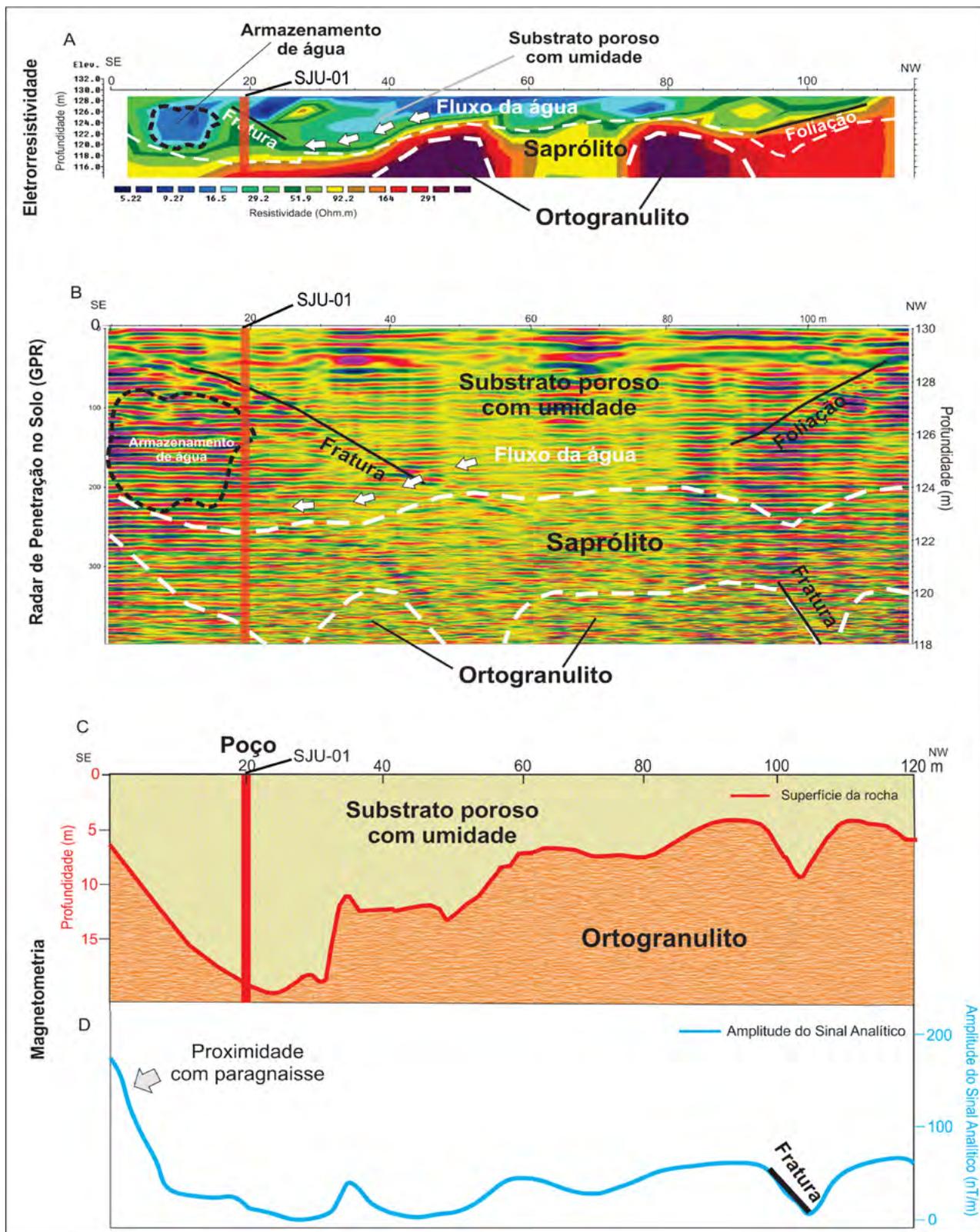


Figura 5 Integração de métodos geofísicos no Campo do Grêmio, em São José de Ubá-RJ: A. Perfil de eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 100 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico. SJU-01: poço existente (X=194.693, Y=7.635.183; fuso 24, SIRGAS 2000).

Neste caso, a água apresenta amplitude mais elevada do que os outros elementos em subsuperfície, como solo, rochas, fraturas, falhas, contatos litológicos, etc.

No processamento dos dados magnéticos foram obtidos os perfis de profundidade do embasamento (Figura 5C) e da Amplitude do Sinal Analítico (Figura 5D), como recurso de identificação de padrões de assinatura correspondentes à proximidade da zona de contato de rochas com diferentes propriedades magnéticas (ortogranulito e paragnaisse). A baixa declividade, o solo arenoso, as fraturas, a direção dos fluxos condicionada pela foliação da rocha, a zona de contato entre o paragnaisse e o ortogranulito identificada em campo, e a superfície permeável do campo (grama) são os fatores de destaque para a recarga de águas subterrâneas ao aquífero.

Santa Maria: no Vilarejo de Santa Maria há poço no contato entre rochas diferentes (Figura 6). O terreno investigado situa-se em fundo de vale, onde as águas para a recarga do aquífero advêm preferencialmente da direção sudeste. A área adjacente ao perfil e à drenagem é mais elevada e, em seu topo, há presença de vegetação que favorece a entrada de água no solo. No local, predominam gleissolos desenvolvidos a partir de sedimentos não consolidados, com composição argilo-arenosa em área de topografia plana, o que contribui para a água se estagnar internamente.

O potencial de armazenamento de água na região é evidenciado nos perfis de eletrorresistividade (Figura 6A) e Georadar (Figura 6B), em que as zonas condutivas relativas à presença de água coincidem com a localização do poço artesiano. No perfil de eletrorresistividade os valores inferiores a 20 Ohm.m indicam alta condutividade em função do acúmulo de água. Observa-se uma direção do fluxo subsuperficial (de SE para NW), responsável pela recarga do aquífero. O embasamento (Figura 6C) encontra-se a aproximadamente 7 metros da superfície, coberto por um substrato poroso com umidade, que atua como uma zona de recarga para o poço e o perfil da amplitude do sinal analítico mostra assinatura proporcional ao contato entre o ortogranulito e o charnokito (Figura 6D).

Sítio São Domingos: no local existe uma cacimba escavada para a dessedentação de animais, indicando que a água está próxima à superfície. Há uma intercalação entre o paragnaisse e o ortogranulito, favorecendo ao acúmulo de água na zona de contato entre as rochas (Figura 7). Quase a totalidade da região é composta por pasto ou lavouras, inexistindo fragmentos significativos de vegetação secundária.

Os perfis de eletrorresistividade, eletromagnético (GPR) e magnetometria exibem duas áreas com grande potencial para a captação de água. A eletrorresistividade (Figura 7A) e o GPR (Figura 7B) indicam a presença de fratura no paragnaisse em profundidades superiores a 10 metros, o que contribui para o armazenamento de água.

Os mesmos perfis mostram que a cacimba recebe o aporte de um fluxo de água raso, menor que 3 metros, armazenado no substrato poroso. Os perfis magnéticos do topo do embasamento (Figura 7C) e do Sinal Analítico (Figura 7D) também exibem assinaturas correspondentes à fratura. As respostas magnéticas das rochas refletem susceptibilidades magnéticas distintas ($10,2 \times 10^{-6}$ no ortogranulito e $3,24 \times 10^{-6}$ no paragnaisse).

No local prevalece o solo do tipo argissolo vermelho, com textura média/argilosa a argilosa e boa capacidade de retenção de água. A interconexão de fraturas, as zonas de contato litológico que alimentam os espaços e a porosidade das rochas e dos sedimentos do subsolo definem a potencialidade para a captação de água.

5.2 Miracema - RJ

Areias: o poço (Figura 8) situa-se em região de fundo de vale e as áreas adjacentes possuem isolados fragmentos de vegetação. A maioria dos terrenos do distrito é coberta por lavouras de pastos. Na região, predominam solo do tipo argissolo vermelho-amarelo, com boa capacidade de retenção de água e textura variando de arenosa a argilosa no horizonte A, onde sob a influência do clima e de atividade biológica existe a mistura de matéria orgânica e substâncias minerais. Há tendência de volume de escoamento superficial como parcela de infiltração no solo e abastecimento do córrego e do aquífero, de modo a estabelecer um regime contínuo de vazões afluentes aos mananciais.

No perfil de eletrorresistividade (Figura 8A) o poço está situado em região com níveis de resistividade baixos (< 20 Ohm.m). O fluxo preferencial de água para a recarga do poço ocorre de noroeste para sudeste e percola por um substrato poroso com até 7 metros de espessura. O Georadar (Figura 8B) exhibe as anomalias condutivas da presença de água e a conformação da fratura onde o poço está locado.

No perfil magnético do embasamento (Figura 8C) o poço está instalado a aproximadamente 6 metros da superfície. Na seção da Amplitude do Sinal Analítico (Figura 8D) o pico observado sugere a presença de uma rocha intrusiva (dique) na fratura do paragnaisse e com susceptibilidade magnética superior à rocha encaixante, com a água armazenada nos espaços entre esses dois tipos de rocha.

Montinêia: a região foi assim denominada em função da presença da fazenda homônima. A geologia local é caracterizada por rochas paragnaisse e ortogranulito. Não há poço cadastrado no SIAGAS no terreno de aquisição dos dados, conforme os perfis da Figura 9. No local há predominância do solo argissolo vermelho-amarelo, com textura argilosa e vegetação mais abundante em relação aos arredores, favorecendo a infiltração de água no terreno.

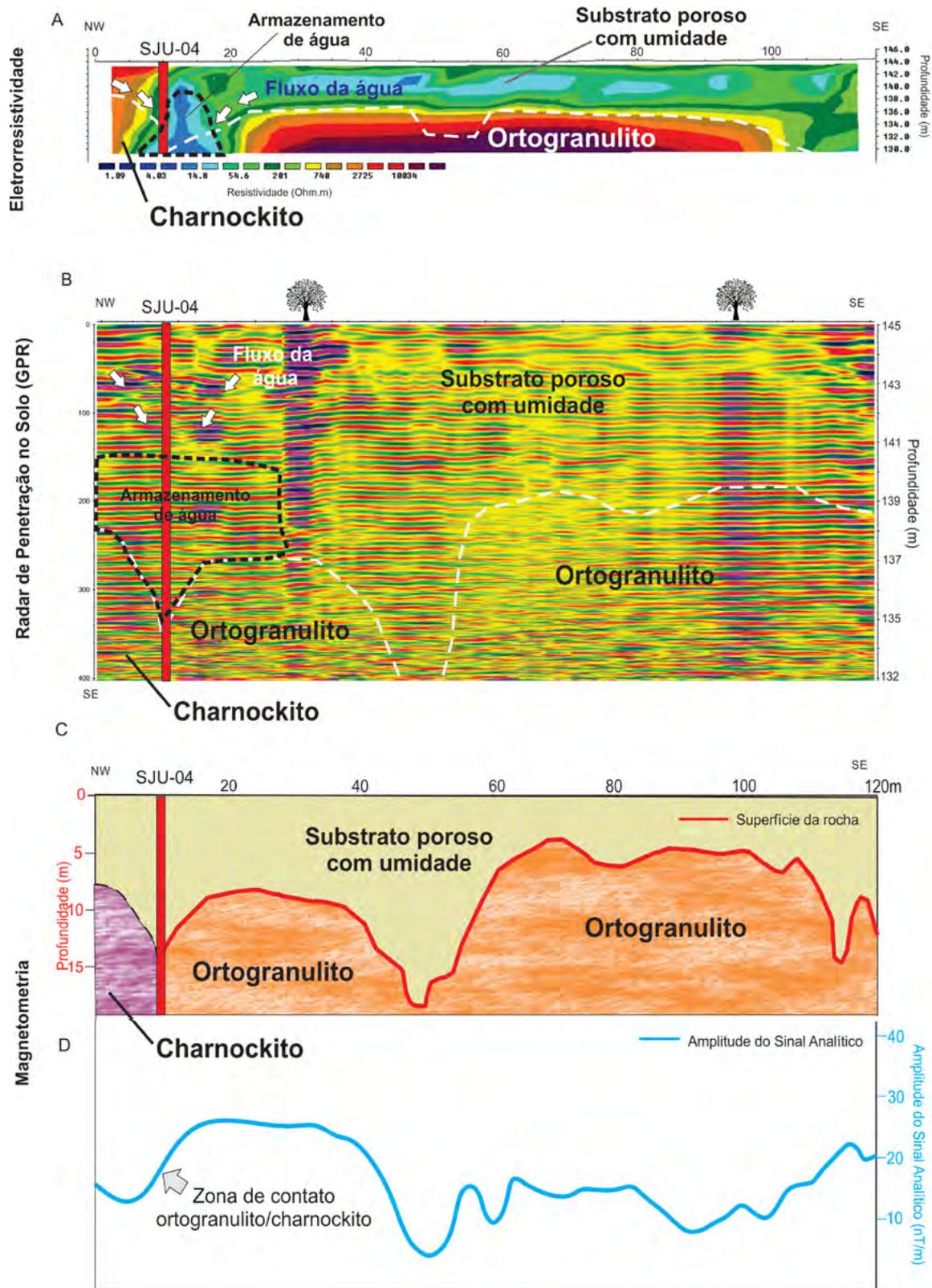


Figura 6 Integração de métodos geofísicos na Vila de Santa Maria, município de São José de Ubá- RJ: A. Perfil de eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 100 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico. SJU-04: poço existente (X=198.800, Y=7.632.415; fuso 24, SIRGAS 2000).

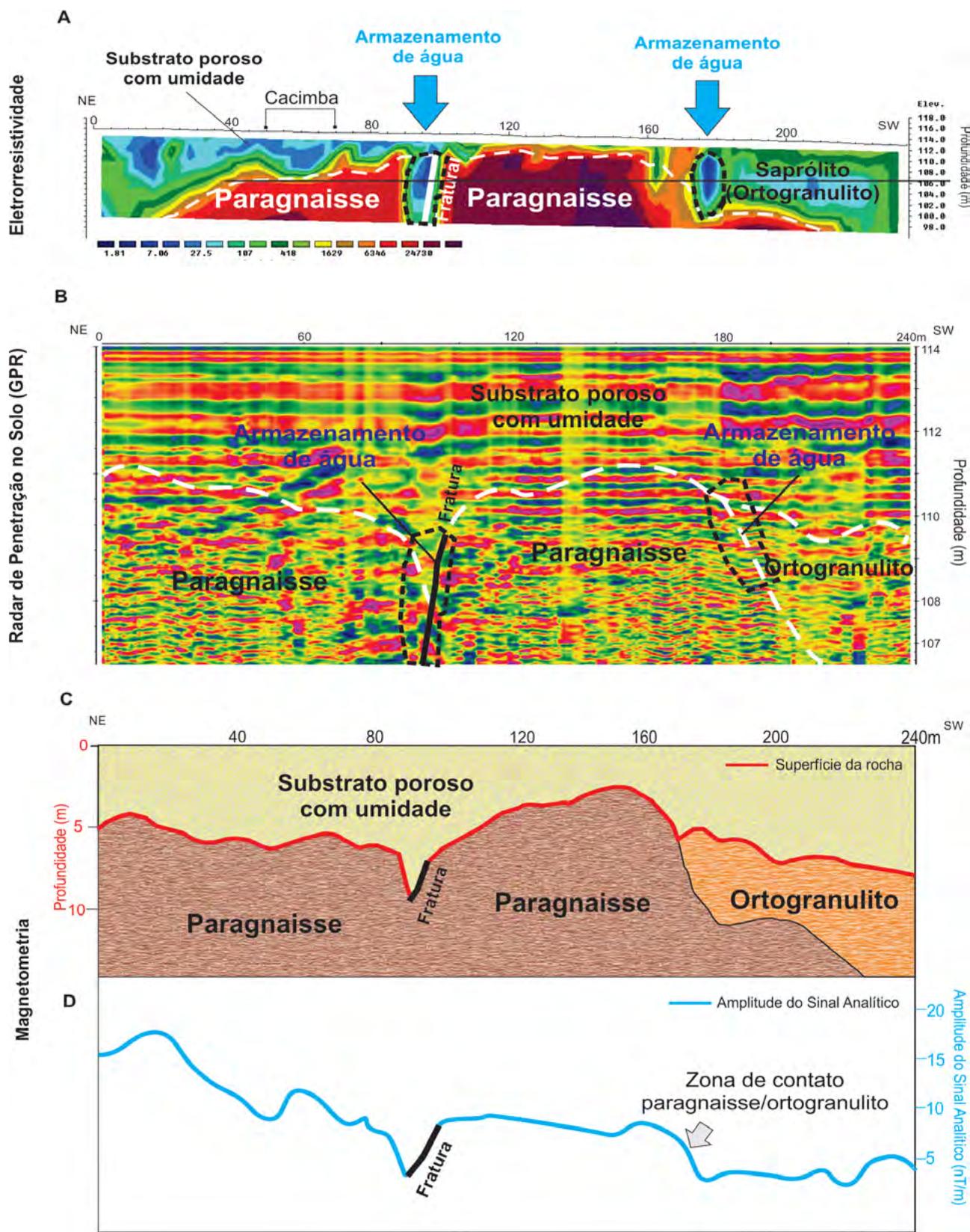


Figura 7 Integração de métodos geofísicos no Sítio São Domingos, em São José de Ubá-RJ: A. Perfil de eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 50 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico.

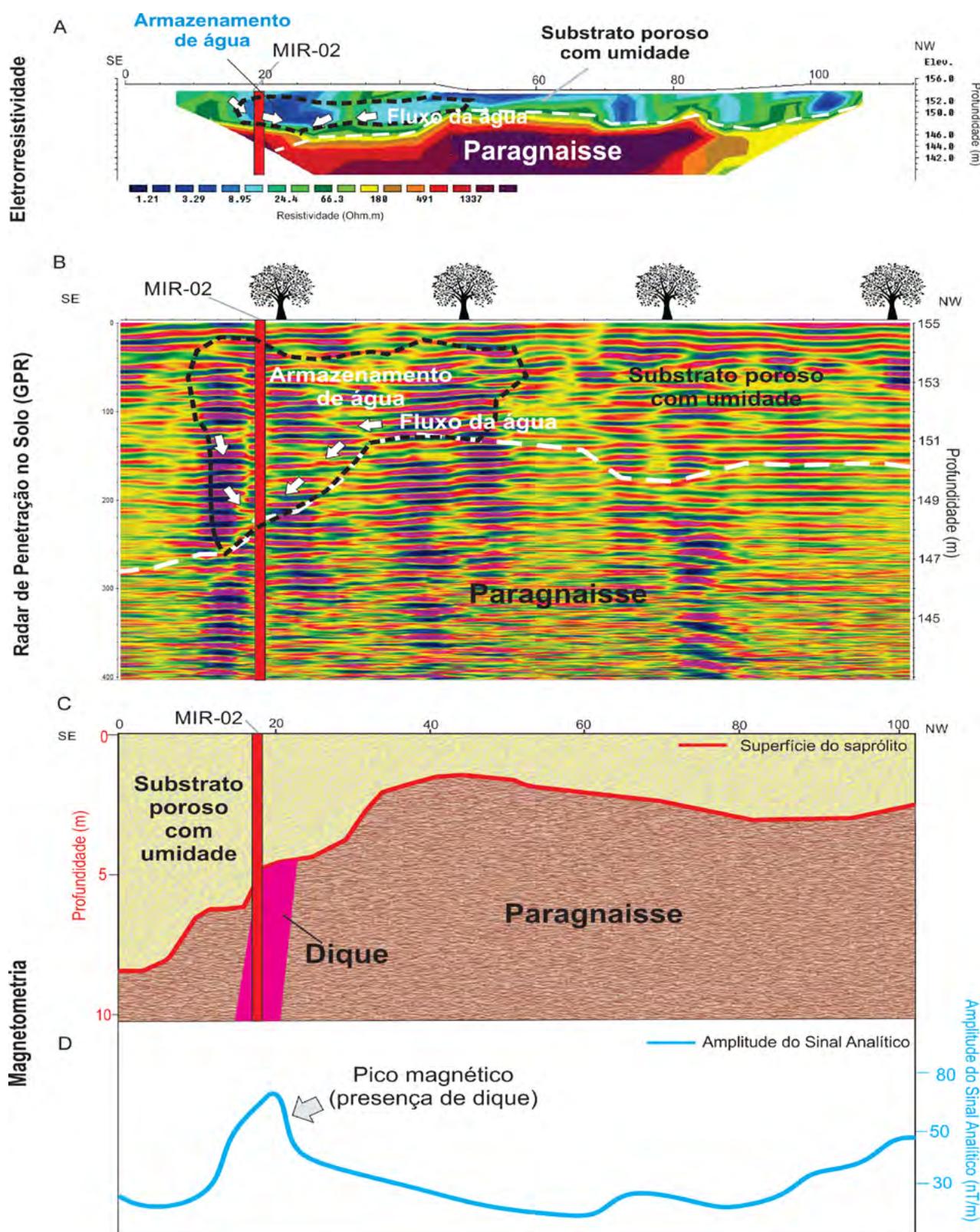


Figura 8 Integração de métodos geofísicos no distrito de Areias, em Miracema-RJ: A. Perfil eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 100 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico. MIR-02: poço existente (X=799.758, Y=7.630.325; fuso 23, SIRGAS 2000).

A eletrorresistividade (Figura 9A) exibe dois locais com valores inferiores a 100 Ohm.m, associados à fratura no ortogranulito e ao contato entre os dois litotipos, indicando a presença de água em menor volume, em função da ocorrência de um substrato menos poroso ou do período mais seco na época da aquisição (julho de 2019). O perfil de Georadar (Figura 9B), realizado em janeiro de 2020, demonstra evidências da presença de água subterrânea, com reverberações do sinal apontando essas mesmas áreas como condutivas no período de chuvas.

O método magnético exibe assinaturas relativas tanto à fratura do ortogranulito quanto do contato entre o paragnaisse e o ortogranulito (Figura 9C). No perfil do Sinal Analítico, o pico de amplitude sinaliza a intrusão de um dique onde existe a fratura. (Figura 9D).

5.3 Itaperuna - RJ

Zona Rural de Itajara: situada na área rural do município de Itaperuna-RJ. A pecuária é a principal atividade econômica do local, com pastagens em substituição à vegetação secundária, de modo a elevar os volumes de escoamento superficial e diminuição da água infiltrada no solo. O solo é classificado como argissolo vermelho-amarelo, com textura média/argilosa a argilosa.

De acordo com os perfis da Figura 10, no local onde foi realizada a aquisição geofísica não existe poço cadastrado no SIAGAS.

O perfil de eletrorresistividade (Figura 10A) exibe duas anomalias inferiores a 100 Ohm.m, associadas à presença de água. A primeira, na porção sudoeste da seção, está relacionada a um substrato poroso com aproximadamente 6 metros de espessura. A segunda, a 180 metros do início, foi interpretada como uma fratura no contato entre o paragnaisse e o ortognaisse.

O Georadar (Figura 10B) ressalta a presença de fraturas, o contato entre os dois litotipos, o substrato poroso e a foliação da rocha, indicando a direção preferencial do fluxo de água, fluindo para a zona com potencial armazenamento de água. Os volumes de água exibem assinatura marcante e coincidem com os locais indicados pelo método elétrico. O perfil magnético do embasamento mostra a zona de contato a 190 m do início da aquisição (Figura 10C), e a Amplitude do Sinal Analítico (Figura 10D) indica que a fratura neste local está associada à presença de dique com susceptibilidade magnética superior à rocha preexistente ao evento de intrusão ígnea.

As seis localidades dos estudos geofísicos foram selecionadas a partir da integração de informações sobre clima, morfologia, vegetação, solos, hidrografia, hidrogeologia, uso e ocupação do solo da região. As informações foram reunidas em uma base georreferenciada

e conjugadas com o mapa geológico (litológico e estrutural), direcionando as atividades de campo para verificação de áreas potenciais à presença de água subterrânea por meio de estudos geofísicos.

As características observadas nas seis áreas selecionadas, integradas às informações da base georreferenciada (clima, solo, geologia etc.), permitiram a indicação de outras áreas potenciais para futuras investigações geofísicas na região noroeste fluminense, visando a verificar a presença de água subterrânea (Figura 11).

6 Conclusões

As áreas estudadas na região do noroeste fluminense são caracterizadas por atividades agropecuárias que demandam volumes expressivos de água e disponibilidade hídrica heterogênea, em função das intervenções antrópicas nos cursos hídricos e das diversidades climática e geomorfológica. Neste sentido, o uso de recursos hídricos subterrâneos de forma apropriada, mostra-se como uma opção para mitigar as adversidades e contribuir para o fornecimento sustentável de água para a região.

A aplicação de métodos geofísicos em locais com poços cadastrados no sistema SIAGAS permitiu a definição de padrões de assinaturas geofísicas e a identificação de fatores geológicos, geomorfológicos, de vegetação etc., contribuintes para o armazenamento de água. Esses padrões foram identificados em locais sem a presença de poços cadastrados, exibindo assinaturas similares às auferidas nas áreas com presença de água subterrânea. O uso dos métodos geofísicos nesses lugares serviu para indicar a direção dos fluxos no subsolo e apontar as zonas com fraturas nas rochas e os contatos entre litologias, elementos identificados no trabalho com maior potencial de armazenamento.

A integração de informações geológicas (solos, litotipos, direção preferencial de falhas e fraturas, hidrogeologia), ambientais (clima, uso do solo, cobertura vegetal) e geofísicas mostrou-se adequada para distinguir as zonas de recarga com mais potencialidade de infiltração de água no solo e permitiu inferir os locais propícios ao armazenamento, sobretudo pela espacialização de áreas susceptíveis quanto à presença de água subterrânea, em profundidades de até 30 metros. Portanto, as regiões estudadas mostram-se emergentes para a captação de água subterrânea.

No intuito de ampliar o conhecimento acerca dos recursos hídricos subterrâneos no noroeste fluminense, a metodologia aplicada neste trabalho pode ser utilizada nos municípios circunvizinhos, em áreas com características físicas semelhantes, seguida da aquisição por métodos geofísicos a fim de verificar a presença de água subterrânea.

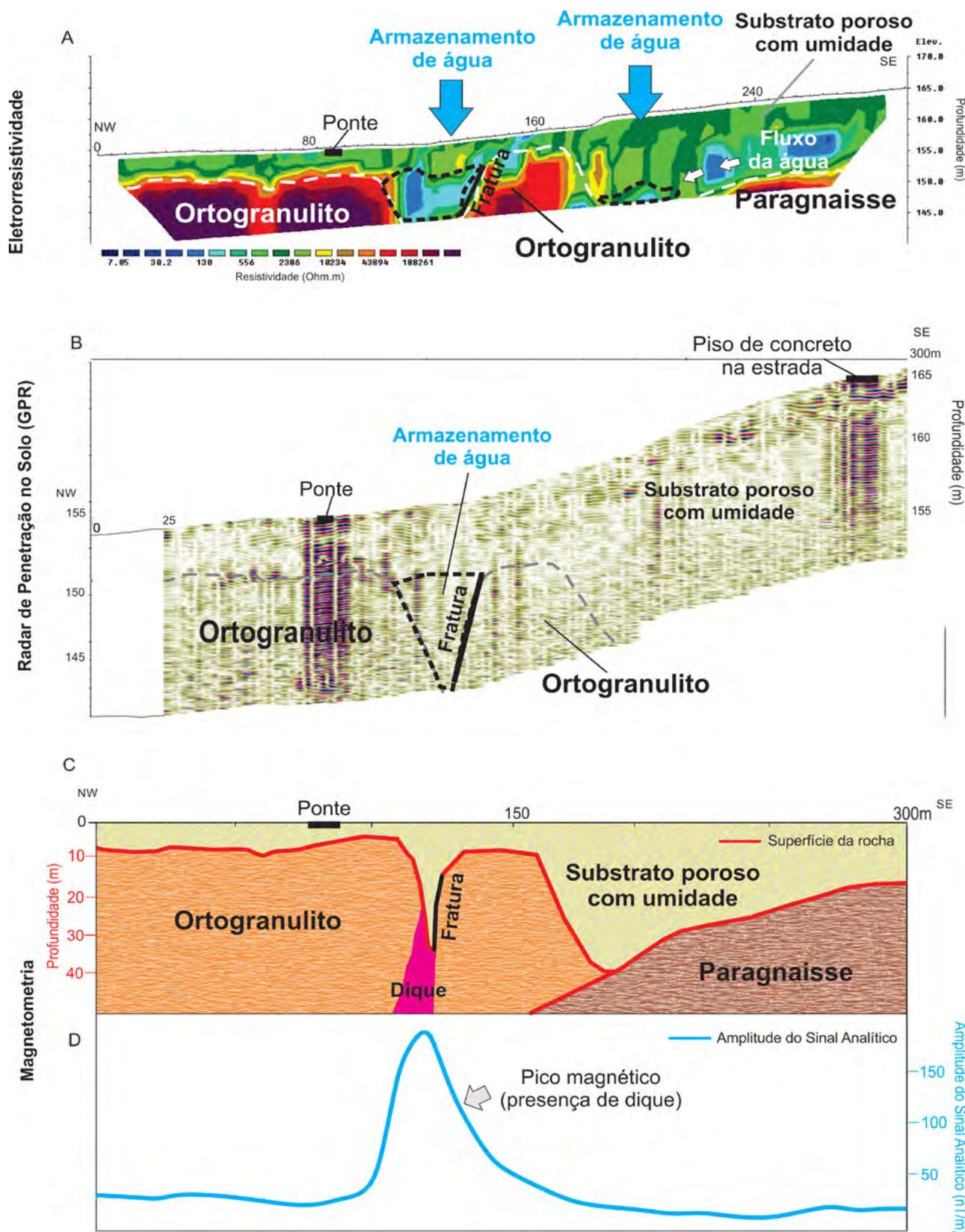


Figura 9 Integração de métodos geofísicos, em Montinéia, no município de Miracema-RJ: A. Perfil de eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 50 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico.

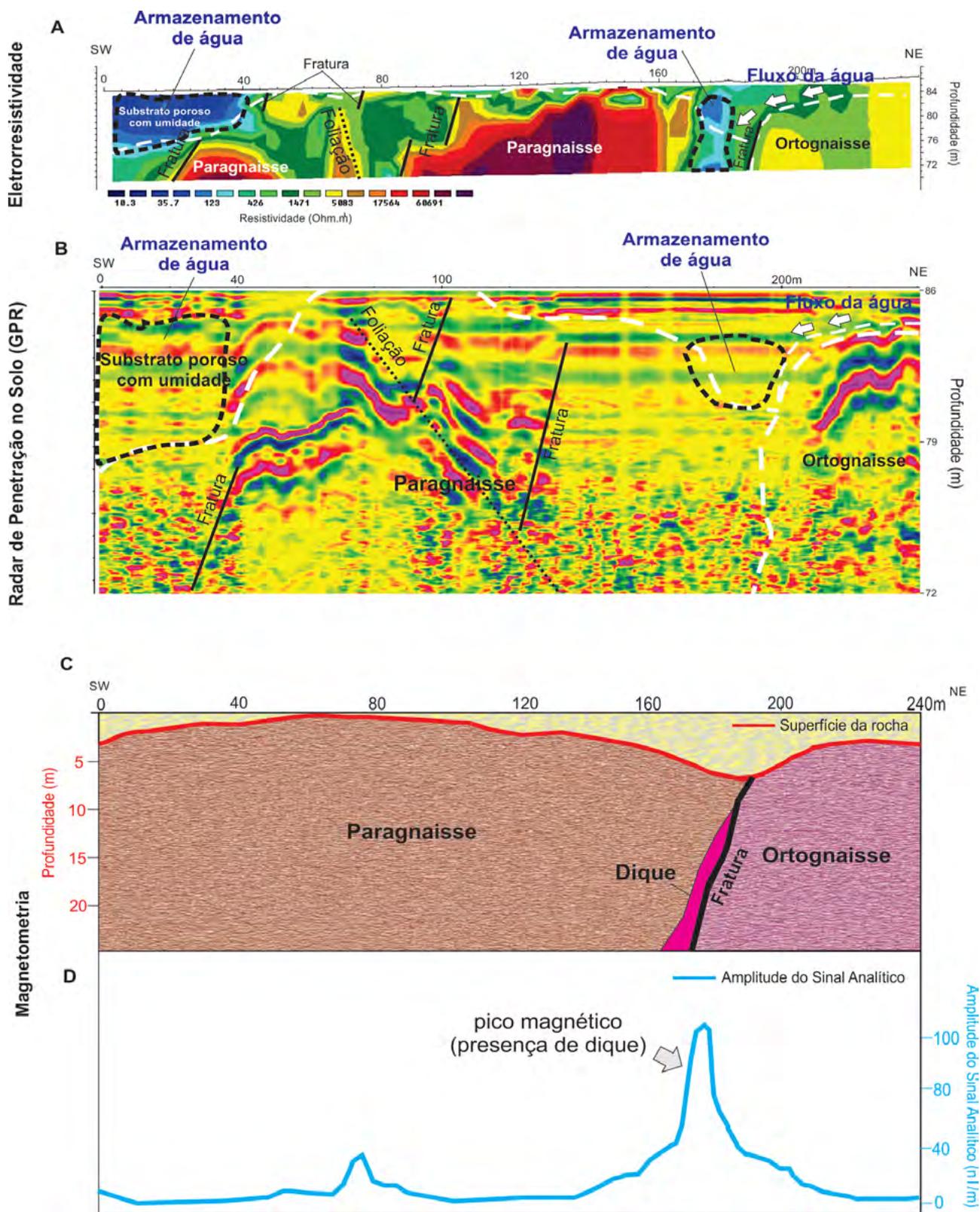


Figura 10 Integração de métodos geofísicos na localidade de Itajara, município de Itaperuna-RJ: A. Perfil de eletrorresistividade; B. Perfil do método eletromagnético (GPR), obtido com o uso da antena de 50 MHz; C. Topografia do embasamento; D. Amplitude do Sinal Analítico.

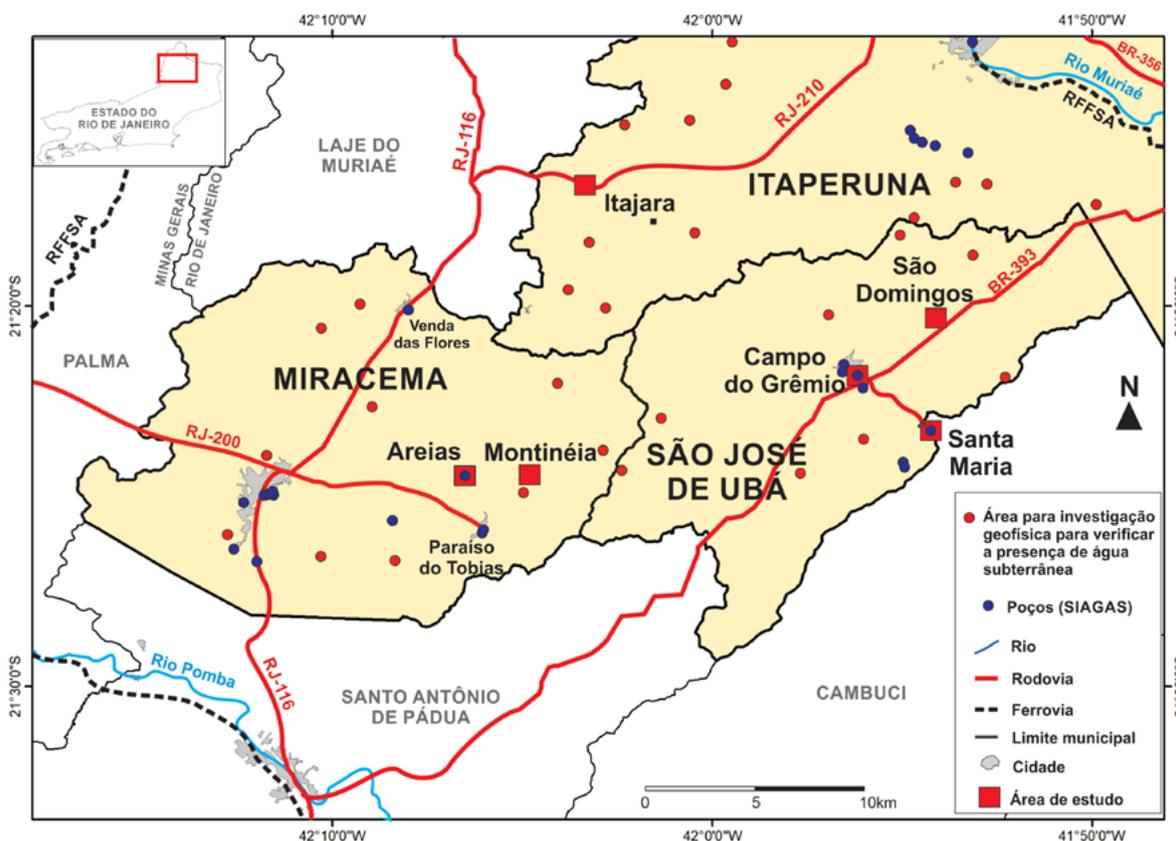


Figura 11 Áreas potenciais, na região noroeste fluminense, para futuras campanhas de investigação geofísica visando a verificar a presença de água subterrânea: Circulo vermelho - área potencial para investigação geofísica com o objetivo de averiguar a presença de água subterrânea.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem aos editores da Revista pela preciosa colaboração e ao Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio logístico e a cessão dos equipamentos geofísicos.

8 Referências

- Agência Nacional de Águas 2017, *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual*, Brasília.
- Akinsunmade, A., Karczewski, J., Mazurkiewicz, E. & Tomecka-Suchoń S. 2019, 'Finite-difference time domain (FDTD) modeling of ground penetrating radar pulse energy for locating burial sites', *Acta Geophysica*, vol. 67, pp. 1945–53. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00352-9>
- Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul/ Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul 2016, *Plano integrado de recursos hídricos – PIRH da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e planos de ação de recursos hídricos – PARH das bacias afluentes*, AGEVAP/CEIVAP, Relatório Síntese - Produto, Consultoria Estudos e Projetos, Sergipe, SE, acessado 21 Outubro 2021, <<http://ceivap.org.br/conteudo/REL-Produto-C-versao-final-dez16.pdf>>.
- CEDAE - vide Companhia Estadual de Águas e Esgotos.
- Climate-Data 2019, *Clima no noroeste do Rio de Janeiro*, acessado 21 Dezembro 2021, <<https://pt.climate-data.org/>>.
- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas 2019, *Poços cadastrados*, CPRM/SIAGAS, acessado 21 Dezembro 2021, <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>.
- Companhia Estadual de Águas e Esgotos 2018a, *Relatório Anual de informação aos usuários (Itaperuna)*, Rio de Janeiro, acessado 21 Dezembro 2021, <https://www.cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2018/Itaperuna.pdf>.
- Companhia Estadual de Águas e Esgotos 2018b, *Relatório Anual de informação aos usuários (Miracema)*, Rio de Janeiro, acessado 21 Dezembro 2021, <https://www.cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2018/miracema.pdf>.
- Companhia Estadual de Águas e Esgotos 2018c, *Relatório Anual de informação aos usuários (São José de Ubá)*, Rio de Janeiro, acessado 21 Dezembro 2021, <https://www.cedae.com.br/portals/0/relatorio_anual/2018/saojosedeuaba.pdf>.
- Cunha, A.P.M.A., Zeri, M., Deusdará Leal, K., Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., Tomasella, J., Vieira, R.M., Barbosa,

- A.A., Cunningham, C., Cal Garcia, J.V., Broedel, E., Alvalá, R. & Ribeiro-Neto, G. 2019, 'Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019', *Atmosphere* 2019, vol. 10, no. 642, pp. 1-20. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>
- Daniels, J.J. 2000, *Ground Penetrating Radar Fundamentals, Appendix to a report to the U.S.EPA, Region V*, Department of Geological Sciences, Ohio State University, acessado 21 Dezembro 2021, <https://clu-in.org/download/char/GPR_ohio_statebasics.pdf>.
- Dentith, M. & Mudge, S. 2014, 'Electrical and electromagnetic methods', in M. Dentith & S. Mudge, *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*, Cambridge University Press, Vector Research Pty Ltd, Perth, pp. 235-350. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139024358.007>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2003, *Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do estado do Rio de Janeiro*, acessado 21 Dezembro 2021, <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolos_rj_lat_long_wgs84_1#more>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2018, *Embrapa Solos, Impactos da seca nas regiões Norte e Noroeste do RJ são discutidos na Alerj*, acessado 7 Dezembro 2021, <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32747510/impactos-da-seca-nas-regioes-norte-e-noroeste-do-rj-sao-discutidos-na-alerj>>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 2019, *Clima: classificação climática*, acessado 21 Dezembro 2021, <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>.
- Gonçalves, J.A.C., Scudino, P.C.B. & Sobreira, F.G. 2005, 'Reservas Renováveis e Caracterização dos Aquíferos Fissurais do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e Adjacências', *Geologia USP. Série Científica*, vol. 5, no. 1, pp. 19-27. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2005000100002>
- Gunnarsdóttir, E.L. 2012, 'The Earth's Magnetic Field', Bachelor thesis, University of Iceland, Reykjavik, pp. 5-6, acessado 15 Dezembro 2021, <https://skemman.is/bitstream/1946/12177/1/the_earths_magnetic_field.pdf>.
- IBGE - vide Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística .
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2012, *Manual técnico da vegetação brasileira*, 2nd edn, acessado 18 Dezembro 2021, <<https://biblioteca.ibge.gov.br>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2015, *Mapa político do Estado do Rio de Janeiro*, acessado 4 Dezembro 2021, <<https://mapas.ibge.gov.br/politico-administrativo/estaduais>>.
- Instituto Estadual do Ambiente 2014, *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro PERHI-RJ, Relatório Gerencial*, INEA, Rio de Janeiro, acessado 11 Dezembro 2021, <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcx/~edisp/inea0071538.pdf>>.
- Instituto Estadual do Ambiente 2018, *Atlas dos mananciais de abastecimento público do Estado do Rio de Janeiro: subsídios ao planejamento e ordenamento territorial*, Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro.
- Kaliraj, S., Chandrasekar, N. & Magesh, N.S. 2014, 'Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique', *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 7, no. 4, pp. 1385-401. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0849-x>
- Loke, M.H. 2000, *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, a practical guide to 2D and 3D surveys*, Penang, Malaysia.
- Lumbreras, J.F., Carvalho Filho, A., Motta, P.E.F., Palmieri, F., Calderano, S.B., Baruqui, A.M., Pereira, N.R. & Naime, U.J. 2004, 'Macropedoambientes da região Noroeste Fluminense: uma contribuição ao planejamento ambiental', *Embrapa Solos / Documentos*, no. 64, Rio de Janeiro, acessado 16 Dezembro 2021, <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89271/1/doc64-2004-macropedoambientes.pdf>>.
- Martinez, A. & Brynes, A.P. 2001, 'Modeling Dielectric-Constant Values of Geologic Materials: An Aid to Ground-Penetrating Radar Data Collection and Interpretation', *Current Research in Earth Sciences, Bulletin*, vol. 247, no. 1, pp. 1-16. <https://doi.org/10.17161/cres.v0i247.11831>
- Nobre, C.A., Marengo, J.A., Seluchi, M.E., Cuartas, L.A. & Alves, L.M. 2016, 'Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015', *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 8, no. 2, pp. 252-62. <https://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- Silveira, L. & Usunoff, E.J. 2009, *Groundwater: Encyclopedia of life support systems*, vol. 3, Oxford, UK.
- Slater, D. 2019, 'Water Scarcity in Brazil: A Case Study', *Expeditions with MCUP*, pp. 1-42. <https://doi.org/10.36304/ExpwMCUP.2019.02>
- Soffiati, A. 2018, *Noroeste Fluminense: registros de um eco-historiador militante*, 1st edn, Autografia, Rio de Janeiro-RJ.

Contribuições dos Autores

Andrea Alves Ferreira: conceituação; análise formal; metodologia; redação – rascunho original; redação – revisão e edição. **Alfredo Akira Ohnuma Júnior:** análise formal; redação – rascunho original; redação – revisão e edição. **Marcelo dos Santos Salomão:** análise formal; metodologia; validação; visualização; redação – rascunho original; redação – revisão e edição.

Financiamento

Não aplicável.

Conflito de interesse

Os autores não possuem potenciais conflitos de interesse.

Declaração de disponibilidade de dados

Os scripts e códigos estão disponíveis mediante solicitação.

Editora chefe

Dra. Claudine Dereczynski

Editor Associado

Dr. Gerson Cardoso da Silva Jr.

Como citar:

Ferreira, A.A.; Ohnuma, A.A.Jr; Salomão, M.S. 2022, Avaliação do Potencial de Captação de Água Subterrânea em Áreas Rurais de Municípios do Noroeste Fluminense-RJ, Brasil, *Anuário do Instituto de Geociências*, 45:41755. https://doi.org/10.11137/1982-3908_45_41755