



## **Análise geoambiental do uso e ocupação do solo em áreas de implantação de carcinicultura no baixo Jaguaribe - Nordeste do Ceará: um enfoque SIG, Geologia & Hidrogeologia**

**Jackson Alves Martins<sup>a</sup>; Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco<sup>b</sup>; Christiano Magini<sup>b</sup>**

*Recebido em 4 de outubro de 2011 / Aceito em 2 de fevereiro de 2012*

### **Resumo**

A porção estuarina do baixo Jaguaribe entre Itaiçaba e a sua foz no Atlântico, Estado do Ceará, vem passando por transformações no uso e ocupação de suas margens através da carcinicultura. Nesta porção o canal e a planície do rio apresentam inúmeros sub-ambientes sensíveis a esta ação antrópica. O objetivo deste trabalho foi à caracterização do padrão físico do canal no baixo Jaguaribe, exposição de dados multitemporais da carcinicultura em seu entorno e a identificação de áreas mais susceptíveis a contaminações. A metodologia envolveu; i) pesquisa bibliográfica e elaboração de base cartográfica; ii) análise e processamento de imagens Landsat 5 –TM; iii) aquisição de parâmetros geológicos/hidrogeológicos (sub-área); e iv) aplicação de técnicas de SIG. O SR permitiu a compartimentação do rio em dois Segmentos: i) Meridional - Forma assimétrica, largura média de 170m e sinuosidade de 1,3. Canal com os padrões fluviais meandrante (barras em pontal, meandros abertos e canal único) e entrelaçado (multi-canal e barras longitudinais), além da presença de elementos como meandros abandonados, ilhas e rompimento de diques marginais; ii) Setentrional - Presença de Dunas encaixando a planície de inundação na margem direita, com canal possuindo largura média de 500m, sinuosidade em torno de 1,0, praticamente retilíneo de direção norte-sul, apresentando ilhas fixas vegetadas e pontos de rompimento de diques marginais sempre à margem direita. A análise multi-temporal revelou crescimento na degradação das margens nos últimos 10 anos, com desmatamento dos manguezais, mata ciliar e carnaubal chegando a 500%, passando de 7km<sup>2</sup> no ano de 2000, para 35km<sup>2</sup> nos dias atuais. Os parâmetros geológicos/hidrogeológicos revelaram: i) presença de Dunas não cartografadas com sistema aquífero utilizado para consumo humano; ii) nível estático raso para a região chegando a 1,5 m de profundidade; iii) presença de faixa anômala com valores de STD elevados em correlação ao sistema aquífero aluvionar; e iv) potencial hidráulico caracterizando a margem esquerda do rio como zona de descarga e a direita pela presença de planícies de inundação e fluxo subterrâneo de leve tendência para leste. Por fim, toda a porção do baixo Jaguaribe passa por falta de planejamento sustentável de suas respectivas atividades econômicas, e, conseqüente, pelo desordenamento do uso e ocupação do solo. Desta forma, a compreensão das variáveis do macroambiente e de como o sistema local funciona são fundamentais para o entendimento da situação atual e das possíveis tendências de mudanças no futuro.

Palavras-Chaves: Geoambiental, hidrogeologia, carcinicultura, rio Jaguaribe, sensoriamento remoto, diagnóstico.

### **Abstract**

*The portion of the lower estuary between Jaguaribe Itaiçaba and its mouth in the Atlantic, Ceara State, has undergone transformations in the use and occupation of its banks through the shrimp. In this portion of the canal and River plain have several sub-environments that are sensitive to human*

*activities. The objective of this study was to characterize the physical pattern of the channel in the lower Jaguaribe, multitemporal data exposure of shrimp farming in their environment and identify areas most susceptible to contamination. The methodology involved: i) Literature search and preparation of base mapping, ii) analysis and processing of Landsat TM 5-iii) Acquisition parameters geological/hydrogeological (Sub-area) and iv) Application of GIS techniques. The SR allowed the partitioning of the river in two segments: i) South - asymmetrical shape, average width of 170m and sinuosity of 1.3. Channel with the river meandering patterns (bars headland, meander open and single channel) and interlaced (multi-channel and longitudinal bars), and the presence of elements such as oxbow lakes, islands and broken levees ii) Northern - Presence of Dunas fitting the floodplain on the right bank, with channel having an average width of 500m, around 1.0 sinuous, almost straight north-south direction, with vegetated islands and fixed points of breakage of dikes always right margin. The multi-temporal analysis revealed degradation of the growth in margins over the past 10 years, with deforestation of mangroves, riparian forest and Carnforth reaching 500%, from 7 km<sup>2</sup> in 2000 to 35 km<sup>2</sup> today. The parameters geological / hydrogeological revealed: i) the presence of dunes with uncharted Aquifer System used for human consumption, ii) Static level for the shallow area reaching 1.5 m deep, iii) presence of anomalous values range of high STD in correlation to the alluvial aquifer system, and iv) Hydraulic potential characterizing the left bank of Rio as discharge zone and right by the presence of flood plains and groundwater flow to a slight tendency to east. Finally, the entire portion of the Jaguaribe goes down due to lack of sustainable planning of their economic activities and, consequently, the disordering of the use and occupation. Thus, understanding the variables in the macro environment and how the local system works are fundamental to understanding the current situation and possible trends of changes in the future.*

*Keywords: Geoenvironmental, hidrogeology, carciniculture, Jaguaribe river, remote sensing, diagnostic*

<sup>a</sup>Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – LGPSR-DEGEO-UFC

<sup>b</sup>Departamento de Geologia – DEGEO-UFC

## 1. Introdução

A Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe está situada em sua quase totalidade dentro dos limites do Estado do Ceará com pequena parcela estendendo-se ao sul para o Estado de Pernambuco. Segundo Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) sua área total é de aproximadamente 75.669 km<sup>2</sup> e o canal do Rio apresenta uma extensão de cerca de 610 km.

O rio Jaguaribe tem sua porção estuarina (baixo Jaguaribe) compreendido entre a região de Itaiçaba até sua foz no oceano Atlântico no município de Fortim. Nesta porção o canal e a planície do rio apresentam vários sub-ambientes com características diversas: diferentes formas geométricas; feições de deposição sedimentares ativas; morfologias e padrões fluviais diversos.

Não obstante a essa diversidade, o rio vem sofrendo inúmeras mudanças, principalmente do

ponto de vista de ações antrópicas. O crescimento da atividade de carcinicultura vem aumentando consideravelmente através do uso e ocupação de suas margens, promovendo a retirada da mata ciliar e gerando riscos de contaminações por infiltrações provocadas pelo uso indevido de armazenamento de águas já utilizadas no processo de criação (Borghetti *et al.*, 2003).

Diante deste quadro, a falta de planejamento e o conhecimento inadequado do sistema geoambiental do rio Jaguaribe, provoca alterações no aporte de sedimentos, na circulação da água e consequentemente modificações na sua dinâmica fluvial, justificando assim a realização de estudos buscando relacionar a atividade de carcinicultura e suas relações de uso e reuso das águas do rio na zona estuarina do baixo Jaguaribe.

O objetivo deste trabalho é caracterizar o padrão físico do canal no baixo Jaguaribe, expor dados diagnósticos multitemporais da distribuição

superficial das áreas de carcinicultura em seu entorno, bem como a identificação de áreas com maior susceptibilidade à possíveis contaminações.

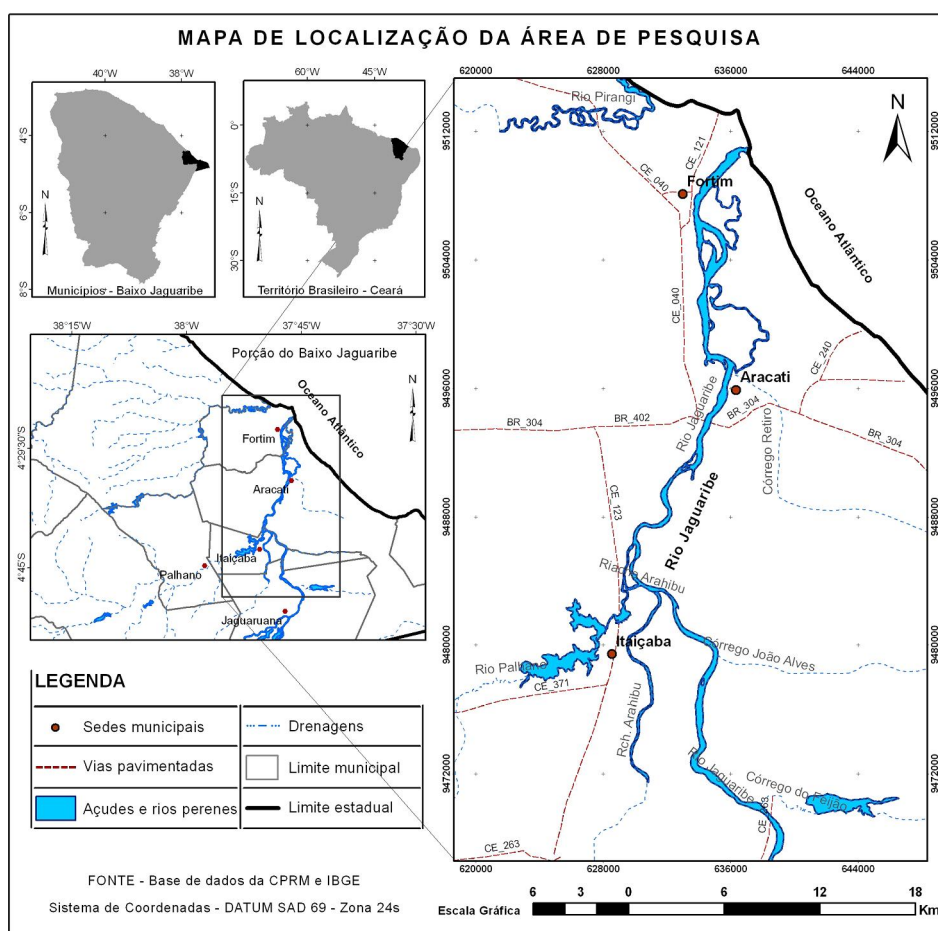
## 2. Localização e Aspectos Geoambientais

A área de pesquisa está inserida no nordeste do Estado do Ceará, enfocando toda a porção do baixo Jaguaribe, nos municípios de Itaiçaba, Aracati e Fortim (Fig. 1). Esta porção compreende parte da bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe, onde ocorre uma intensa concentração de carcinicultura.

Na região do baixo Jaguaribe a carcinicultura representa a segunda maior atividade demandante de água (Figueirêdo *et al.*, 2004), onde

anteriormente se cultivava arroz, melão e outras culturas irrigadas.

O rio apresenta em sua foz uma zona estuarina com diversas ilhas arenosas e canais sinuosos (gamboas), onde o canal principal atinge 900m de largura com uma área de mangue de 11,8 km<sup>2</sup>, cuja a penetração das águas do mar se faz sentir até 30 km de distância da foz. Seu estuário possui uma extensão de 36 km e ocupa uma área aproximada de 641.216 km<sup>2</sup>, sendo limitada a montante pela barragem de Itaiçaba e a jusante pelo Oceano Atlântico em uma região onde predominam praias do tipo arenosas, falésias marinhas e um vasto campo de dunas na margem leste, (Paula *et al.*, 2006).



*Fig. 1 - Mapa de localização da área de pesquisa compondo o baixo Jaguaribe.*

De acordo com o Mapa Geológico da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM (2003) o contexto geológico regional é da área e formado por rochas que pertencem ao

Complexo Cristalino (Unidade Proterozóica), representadas pelo Grupo Orós (Fm Santarém – PPos e Complexo Jaguaretama – PPjn).

Ocorrem ainda as Formações Jandaíra – Kapj e Açú – Kapa, pertencentes ao Grupo Apodi (Bacia Potiguar), e as unidades sedimentares de idade Cenozóica. As unidades representativas do período Terciário são os sedimentos da Formação Barreiras - Tbi e Coberturas Colúvio-elúviais - NQc. Já as unidades que compõem o período Quaternário são: Coberturas Colúvio-elúviais - NQc, Paleodunas - Qd, Dunas móveis – Qa e os Depósitos Flúvio-aluvionares ou de Mangue – Qal, (Fig. 2).

### 3. Materiais e Métodos

Como materiais e métodos foram utilizados:

i) Pesquisa bibliográfica sobre cartografia e morfologia do baixo Jaguaribe e métodos de trabalho em áreas degradadas através de uso e ocupação das margens de rios; ii) A análise e processamento de imagens Landsat 5 – TM proporcionando uma visão das características geomorfológicas (feições e padrões de canal) e de conjunto multitemporal e sinóptica do meio ambiente e da paisagem; iii) A aquisição e interpretação de parâmetros hidrogeológicos de campo; e iv) A aplicação de técnicas de SIG (Sistema de Informações Geográficas) integrando os dados e possibilitando a transformação de informações em mapas temáticos e diagnósticos.

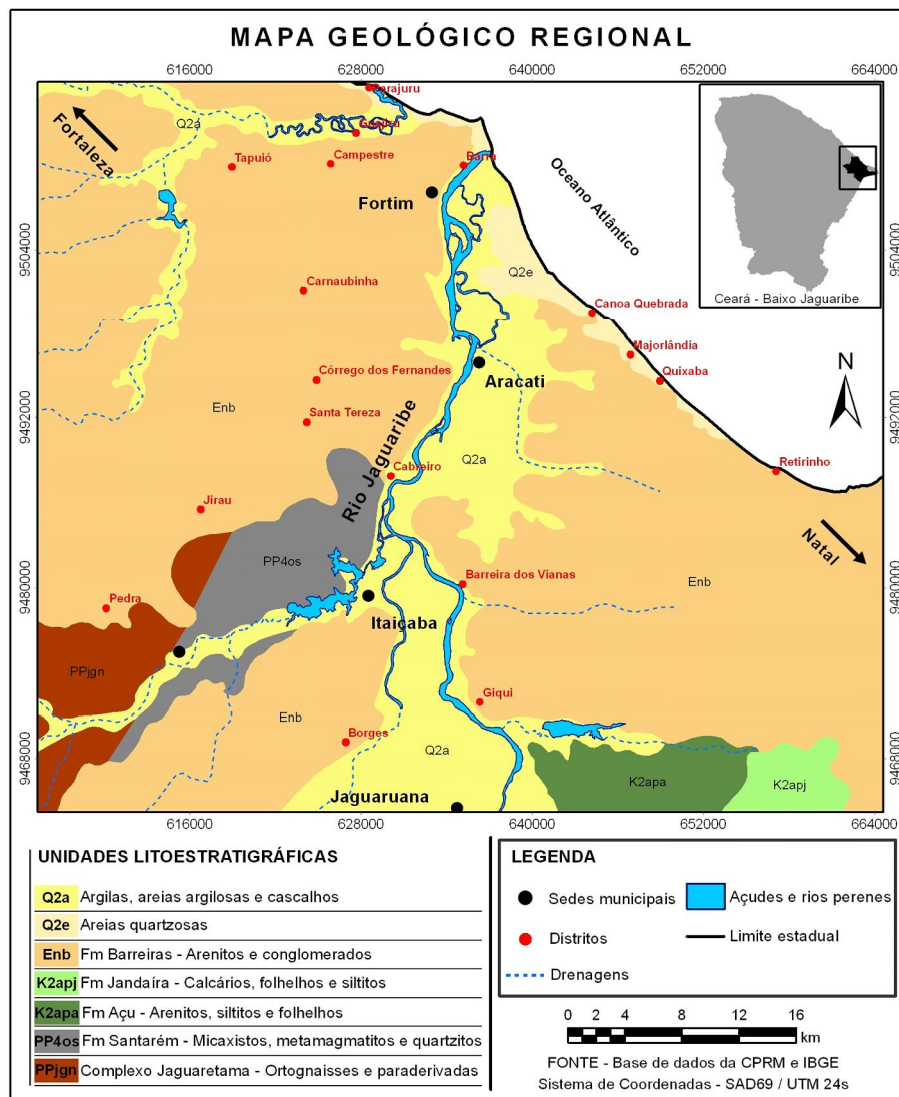


Fig. 2 – Mapa do contexto geológico regional da área de pesquisa.

Como referências bibliográficas destacam-se os trabalhos de Gatto *et al.*, (1999), Figueirêdo *et al.*, (2004), Paula *et al.*, (2006), Melo *et al.*, (2007), Silva *et al.*, (2006 e 2008), Leite & Rosa (2009).

No sensoriamento remoto foram utilizadas as imagens do Landsat 5 do sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita / ponto 216/063, para as data de 09 de agosto de 1989, 23 de agosto de 2000 e 01 de setembro de 2009. As mesmas foram obtidas através da *homepage* do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e processadas no *software ERMapper*, para identificação de: i) Elementos morfológicos presentes nas margens da planície fluvial; ii) Tipos de canal (*único, multicanal*); iii) Sinuosidade (*divisão da distância entre dois pontos ao longo do canal, pela distância entre eles em linha reta*); iv) Características da planície de inundação (*posicionamento do canal, formas superficiais, diques marginais*); v) Reconhecimento de formas deposicionais; vi) Padrões fluviais do canal; e vii) Avaliação de áreas degradadas por uso / ocupação de carcinicultura.

Na confecção de base cartográfica para apoio a etapa de campo (reconhecimento geológico e coleta de dados hidrogeológicos) utilizou-se novamente produtos do sensoriamento remoto para a identificação de estradas, drenagens e localidades. Posteriormente, em *software ArcGis 9.3* foram integrados a base de dados da CPRM (2003) e Cartas Plani-altimétricas na escala de 1:100.000 da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1985).

O trabalho de reconhecimento hidrogeológico baseou-se em descrições litológicas, documentação fotográfica, posicionamento X, Y e Z através de GPS Diferencial *Ashtech Solutions*, além do catálogo de 69 pontos de controle de água (poços e cacimbas) onde foram realizadas as coletas dos parâmetros hidrogeológicos: Profundidade do nível estático (NE); Condutividade elétrica (CE) da água; Posicionamento x,y e z (altitude); e Potencial hidrogeniônico (pH).

Nesta etapa foram utilizados materiais como bússola *Brunton*, GPS de navegação convencional *Garmim Etrex*, Dgps modelo *Promark 2 Ashtech*, um medidor de nível eletrônico de marca *Scame*,

*Jaciri mj 100m*, um pHmetro portátil digital, modelo *pHTestr 2*, condutivímetro portátil digital, modelo *Sammar CD-840*.

No processamento dos dados foram utilizados os softwares *Ashtech Solutions 2.70*, *ArcGis 9.3* e *AutoCad 2007*. Os dados hidrogeológicos foram digitalizados em planilha *software Excel* e posteriormente integrados ao *ArcGis 9.3* para interpolação (*Ordinary kriging*) através da ferramenta *Geostatistical Analyst* gerando os mapas de contorno (*Prediction Map*).

A etapa final consistiu de compilação e integração de todas as informações em ambiente SIG proporcionando interações e fusões de produtos, com geração de mapas temáticos, interpretação, discussão dos resultados e confecção final deste trabalho.

## 4. Resultados

### 4.1 Sensoriamento Remoto

As principais características geomorfológicas (feições e padrões de canal) e de uso e ocupação multitemporal do baixo Jaguaribe (Fig. 3) observadas no Processamento Digital das Imagens (PDI) foram: i) Seu curso fluindo de SSW para NNE com pequenas variações; ii) Sua margem esquerda (sentido Itaiçaba/foz) apresentando caráter de terraço fluvial, onde o rio recebe águas de vários tributários, destacando-se entre eles o Rio Palhano e, já na a margem direita, ocorrendo extravasamento em pontos de rompimento onde o canal principal assume um padrão distributário perdendo água para a planície de inundação, formando lagos, córregos, na região chamada de Lagamar da Aroeira; iii) Presença de cotas mais elevadas na margem esquerda com presença de vários tributários (afluentes) ao rio Jaguaribe e a margem direita com cotas baixas formada pelos terraços e planícies fluvio-deltáicas e dunas móveis (Fig. 4); iv) Identificação de controle estrutural no canal principal do rio e controle sedimentar nos terraços fluviais e canais secundários; v) A presença de uma compartimentação em dois segmentos (Setentrional e Meridional) de acordo com sua configuração em



planta (atributos geométricos), através das características e padrões do canal fluvial e, em função do reconhecimento de formas deposicionais

pretéritas impressas na planície de inundação (*paleocanais, depósitos de diques marginais, lagos em meandros abandonados e barras em pontal*).

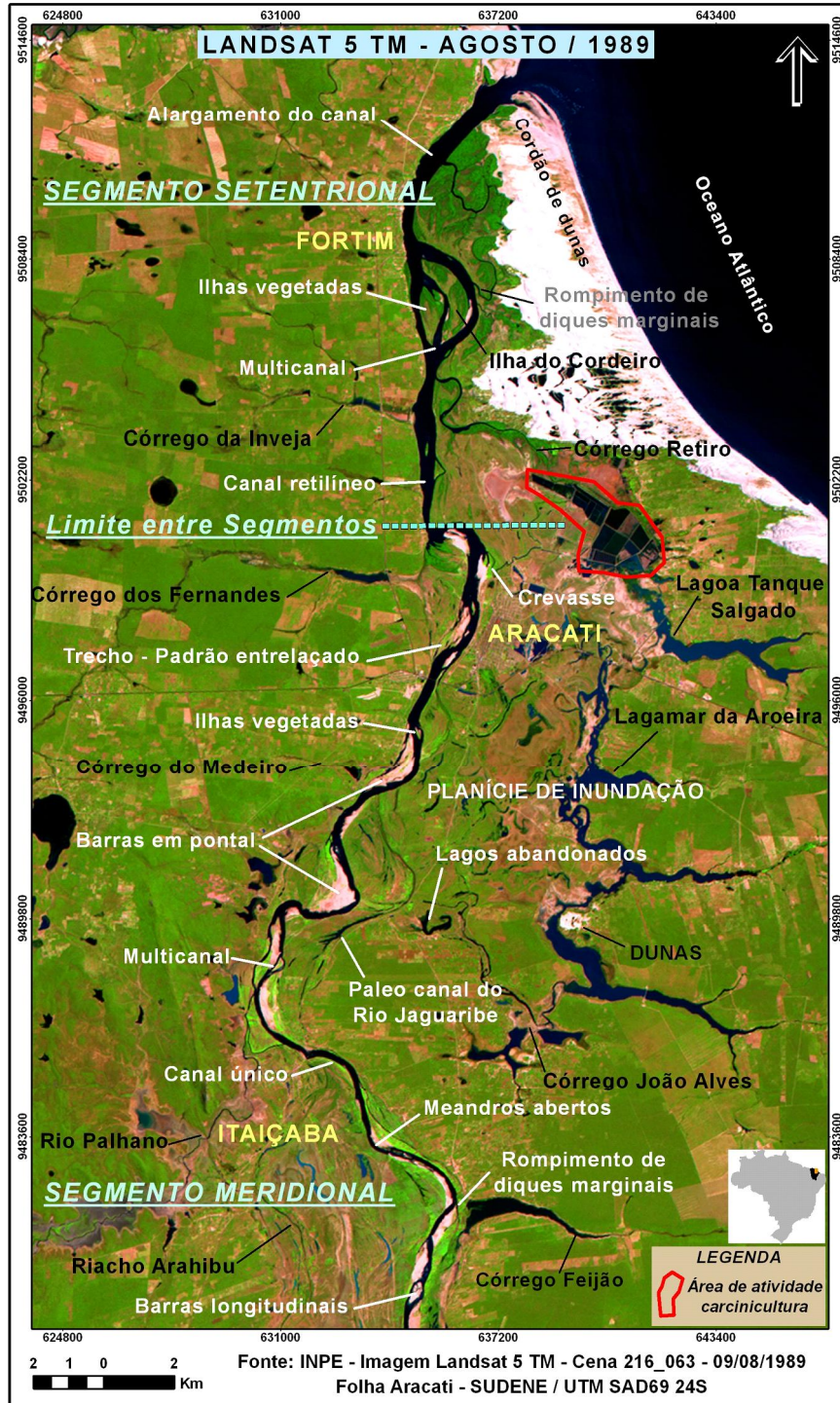


Fig. 3 – Imagem do baixo Jaguaribe com identificação de áreas de carcinicultura, drenagens secundárias e divisão do canal do Jaguaribe em dois segmentos em função de sua configuração e feições características.

No **Segmento Setentrional**, definido entre o município de Itaiçaba até a região próxima a sede de Aracati, a Planície Fluvial possui extensão aproximada de 21 km e largura em alguns trechos chegando a 6 km. Neste segmento a planície de inundação apresenta inúmeros depósitos de barras

em pontal, lagoas em meandros abandonados, sendo comum meandros abertos, presença de ilhas e rompimento de diques marginais. O canal do Rio está deslocado em relação às margens da planície (forma assimétrica), com largura média de 170 m e sinuosidade 1,3.

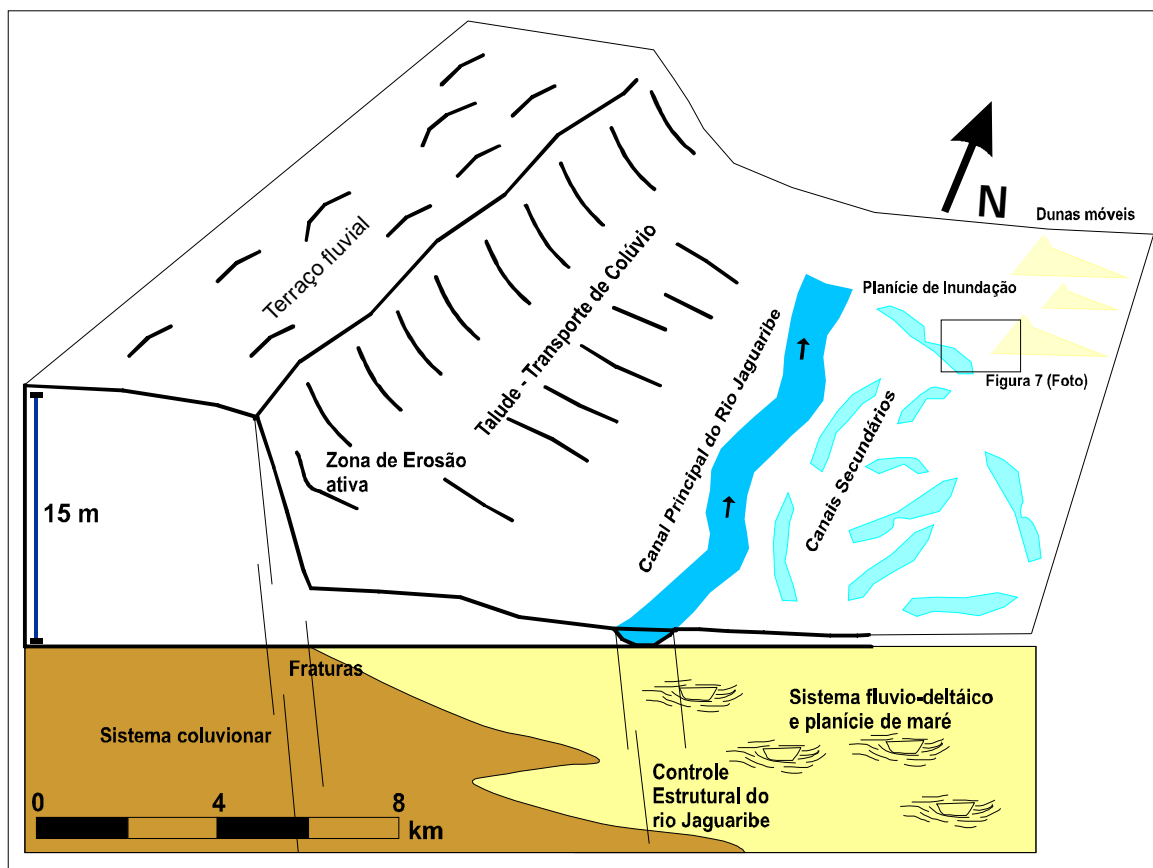


Fig. 4 - Bloco diagrama da área em estudo mostrando os sistemas sedimentares, coluvionar, fluvio-deltáico e dunas móveis.

A análise deste segmento demonstra que o canal do Rio Jaguaribe apresenta porções com padrão meandrante (em função da sinuosidade), presença de barras em pontal e canal único. Em contrapartida, ocorrem porções onde a geometria do canal apresenta características de padrão fluvial entrelaçado com presença de canais múltiplos, sinuosidade de 1,15 e barras longitudinais.

No **Segmento Meridional**, com extensão de 15 km e planície de inundação encaixada pela presença de dunas na margem direita, o Rio Jaguaribe apresenta largura média de 500 m e

sinuosidade em torno de 1,0. Seu canal é praticamente retilíneo, apresentando ilhas fixas vegetadas e pontos de rompimento de diques marginais sempre à margem direita.

Neste segmento, o canal apresenta direção norte-sul com a bifurcação do canal delineando ilhas vegetadas. Após se unir novamente o Rio tem deflexão para nordeste, associada a provável controle estrutural da Zona de Cisalhamento Jaguaribe (ZCJ), Castelo Branco *et al.*, (2006), com discreto alargamento do canal até a sua foz no Oceano Atlântico em meio aos cordões arenosos litorâneos (dunas).

Por fim, o sensoriamento remoto permitiu:  
v) Análise multitemporal (1989, 2000 e 2009) evidenciando o crescimento do uso e ocupação do solo nas vertentes do baixo Jaguaribe e o desmatamento de sua mata ciliar. Nos últimos 20 anos a atividade de carcinicultura avançou de forma desordenada, com enfoque principal nos últimos 10 anos. Desta maneira a presença da carcinicultura contribuiu para a degradação das margens do Rio, comprometendo as áreas de manguezais e conseqüentemente alterando o aporte de sedimentos no sistema (Fig. 5).

A mensuração deste aumento no número de cultivo de camarão na área revela dados preocupantes, caracterizando uso e ocupação do ecossistema manguezal, da mata ciliar e conseqüentemente o desequilíbrio ambiental no estuário do Rio Jaguaribe. Em 1989, apenas 3,7 km<sup>2</sup> das margens do rio eram ocupadas com esta atividade, chegando 10 anos depois a 7,2 km<sup>2</sup>. Atualmente cerca de 35 km<sup>2</sup> de suas vertentes estão degradadas e ocupadas por viveiros de criação de camarão, destruindo habitats naturais e a biodiversidade local.

#### 4.2 Contexto Geológico / Hidrogeológico

Os parâmetros geológicos e hidrogeológicos foram adquiridos em uma sub-área de 50 km<sup>2</sup> (ver Fig. 5, B) inserida na área de pesquisa. A mesma foi escolhida em função da maior intensidade de carcinicultura nas margens do Rio e planície de inundação, boa disponibilidade de pontos de observações (poços e cacimbas) e por apresentar uma maior diversidade de litotipos, como os da Formação Barreiras, os sedimentos argilo-arenosos (flúvio-aluvionares) e arenitos (dunas), cada qual com relações complexas entre diferentes sistemas aquíferos.

No contexto geológico local da sub-área predominam sedimentos da Formação Barreiras, são sedimentos areno-argilosos de coloração predominantemente creme ou avermelhada, moderadamente selecionados, com granulometria variando de fina a média e sem a presença de estruturas sedimentares. São na maioria das vezes inconsolidados e de composição basicamente

quartzosas, que por sua vez, estão geralmente recobertos pelos depósitos flúvio-aluvionares e por dunas móveis/paleodunas. Alguns afloramentos da Formação Barreiras foram cartografados ocorrendo em níveis mais grossos, contendo grãos de quartzo de tamanho milimétrico, sub-arredondados, bem litificados, coloração creme e com presença de porções avermelhadas e com aspecto mosqueado e oxidação do material (Fig. 6).

Os sedimentos argilosos ou argilo-arenosos depositados no sistema flúvio-deltáico são resultados do retrabalhamento do embasamento cristalino e da Formação Barreiras, transportados e depositados ao longo das margens do Rio Jaguaribe e seus paleocanais. Em complemento, na localidade de Morrinhos, ocorrem as Dunas/Paleodunas formadas por sedimentos arenosos quartzosos, coloração esbranquiçada ou amarelada, inconsolidados, granulometria de fina a média (Fig. 7), representando importante sistema aquífero para a região e que esta soterrando o sistema fluvio deltáico.

Os poços e cacimbas cadastrados para medir os parâmetros hidrogeológicos foram alocados de acordo com a disponibilidade, sendo levado em consideração a melhor distribuição espacial, boa representatividade na qualidade da interpolação e confecção dos produtos (Fig. 8).

O processamento dos dados hidrogeológicos gerou diversos mapas temáticos acerca da disposição dos recursos subterrâneos, em relação à profundidade do nível estático, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, potencial hidráulico e intensidade e sentido de fluxo de escoamento. Procurou-se analisar as condições atuais e contribuir com a preservação dos mananciais hídricos existentes nesta área para diversos fins, principalmente relacionados a carcinicultura. É importante salientar com relação a sazonalidade, que os dados foram adquiridos no mês de janeiro, pouco antes do início da quadra chuvosa na região.

O mapa de profundidade do nível estático (Fig. 9) mostra predomínio de aquífero raso para a região, obtendo assim uma relação direta com a maior possibilidade de contaminação através de infiltrações de águas contaminadas usadas no processo de cultivo de camarões. Em média tem-se nível estático em torno de 6 m de profundidade,



chegando a 1,5 m nas margens do Rio Jaguaribe e

11,8 m em poços na localidade de Outeiro e Tábua Lascada.

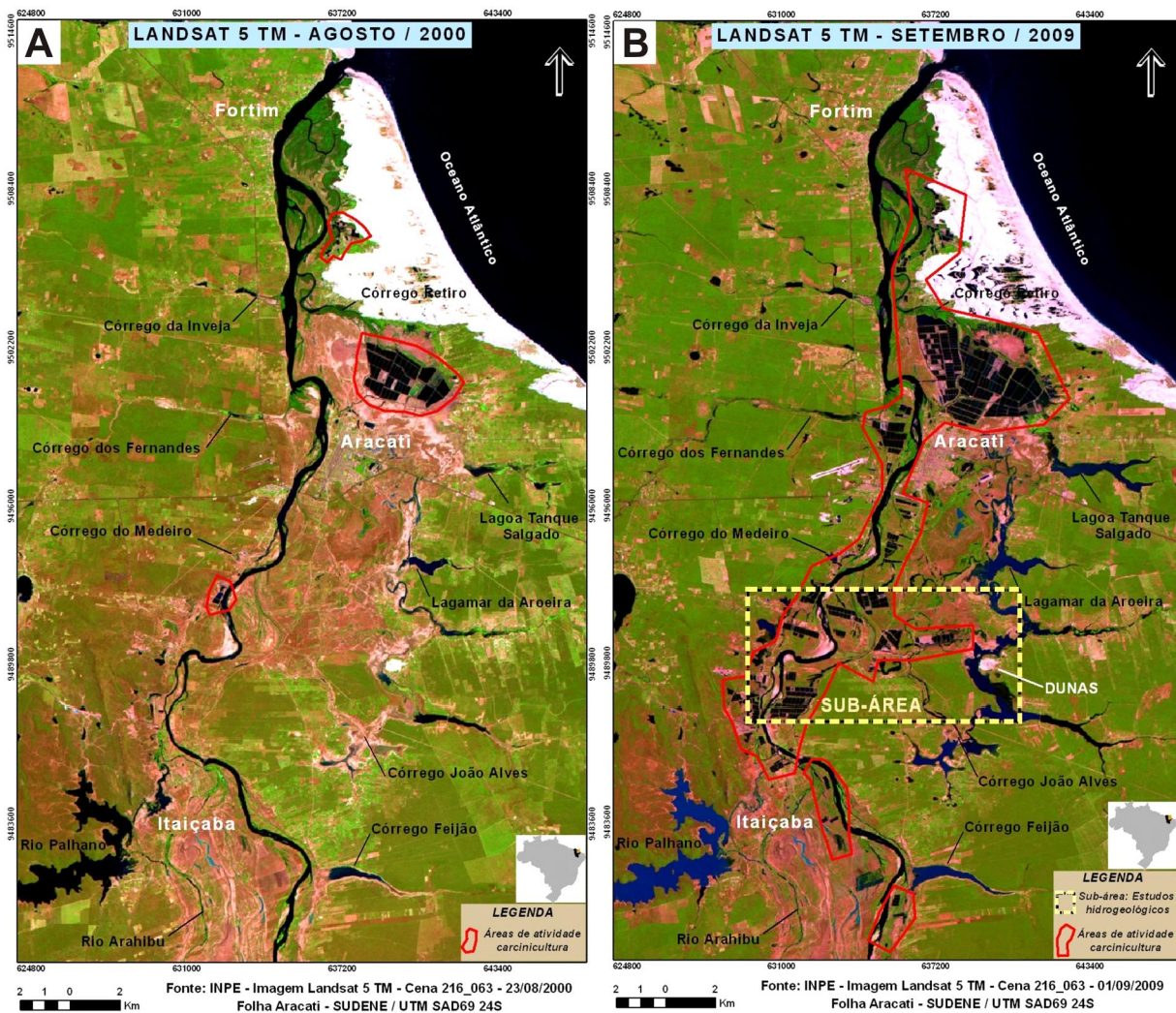


Fig. 5 – Imagens orbitais Landsat 5 (composições falsa cor RGB 543 – 08/2000 e 09/2009) com identificação das áreas evidenciando o crescimento da atividade de carcinicultura.

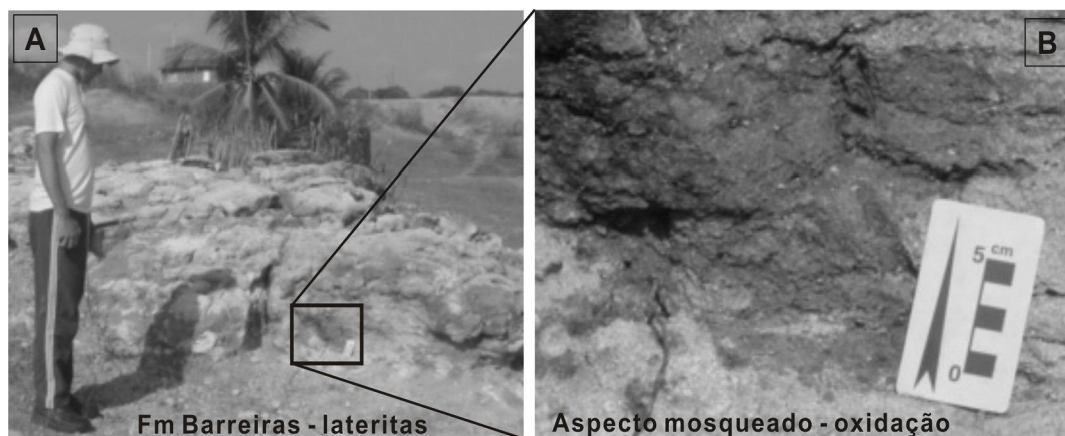


Fig. 6 – Exposição da Formação Barreiras em afloramento bem consolidado, apresentando oxidação e presença seixos de quartzo, coordenadas UTM / SAD69 9488720 / 629913.





Fig. 7 - Detalhe das areias quartzosas (Dunas) recobrendo os depósitos argilosos flúvio-aluvionares, coordenadas UTM / SAD69 9487190 / 638315.

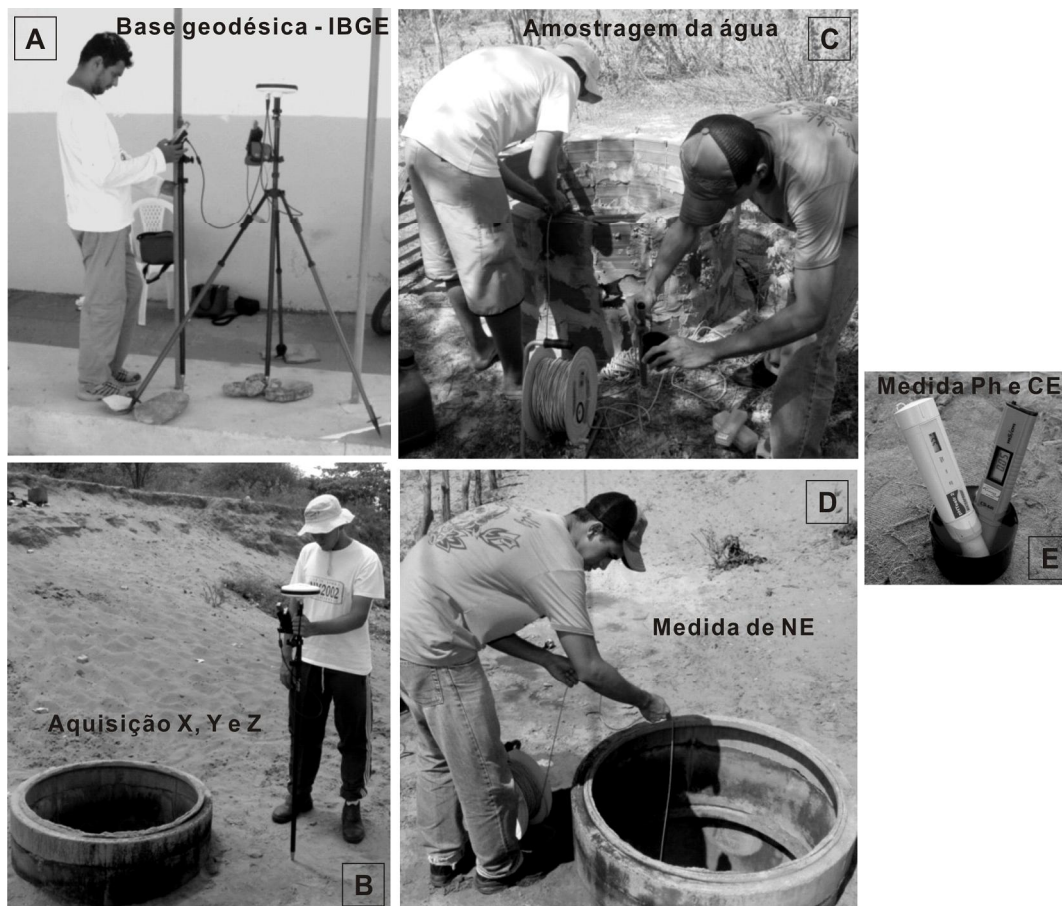


Fig. 8 - Prancha com fotografias da etapa de coleta dos parâmetros hidrogeológicos e posição X, Y e Z (altimetria) nos poços e cacimbas cadastrados.

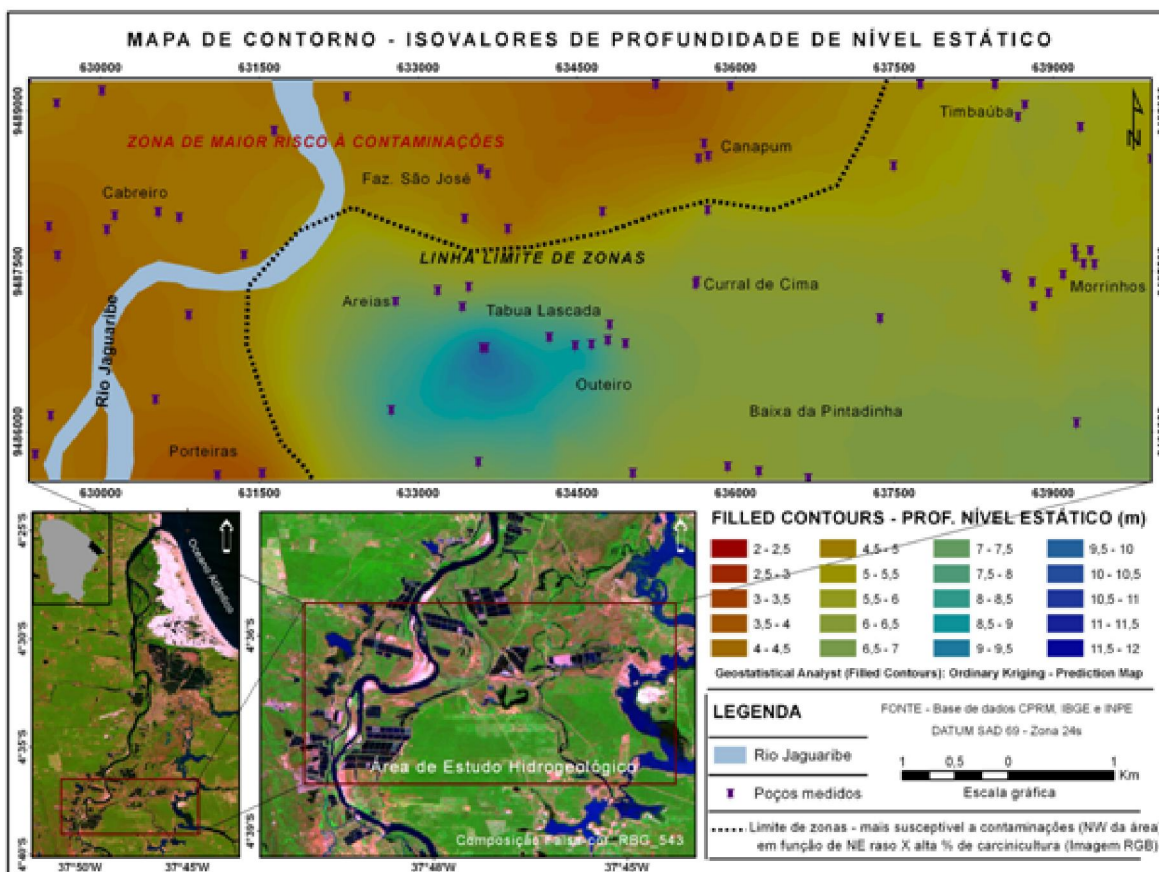


Fig. 9 – Mapa diagnóstico da profundidade de nível estático (m), com identificação de zonas de maior risco a possíveis contaminações.

Diante do mapa de contorno, foi traçado uma “linha limite de risco”, indicando a porção noroeste do mapa como zona de maior susceptibilidade a possíveis contaminações. A interpretação deste limite foi feita em função do raso nível estático e da intensa ocupação desta zona por intensa atividade de carcinicultura, observado na imagem Landsat 5 de 2009.

O mapa de isovalores de Condutividade Elétrica (CE) teve o objetivo principal de identificar e avaliar as áreas quanto à qualidade das águas subterrâneas na região, sob influência das atividades que possam comprometer os aquíferos locais (Fig. 10). Desta maneira, observa-se grande parte da área com valores fora dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), ou seja, com águas impróprias para o consumo humano, de acordo com a relação sólidos totais dissolvidos (STD) *versus* CE da água.

De acordo com a OMS, a quantidade de STD limite para o consumo humano é de 1000 mg/

l, o que equivale dizer que em termos de CE da água, o limite para o consumo humano é de aproximadamente 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Desta forma, o mapa diagnóstico de CE mostra valores acima de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que estão distribuídos ao longo de uma faixa que corta toda a área de leste a oeste sendo os mais altos valores (variando de 1500 a 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) encontrados no centro e oeste da área. É importante ressaltar a presença destes altos valores nesta região, levando em consideração a proximidade da calha do rio Jaguaribe que teoricamente funcionaria como um solvente diluindo a presença de sais existentes nos mananciais próximos.

Correlacionando o mapa de CE com o contexto geológico, nota-se a presença da faixa com águas condutivas ocupando a extensão da área que está sob o domínio dos sedimentos aluvionares argilosos, com vegetação caracterizada por carnaubeiras (*Copernicia prunifera*) predominando na planície fluvial do Rio Jaguaribe (Fig. 11).



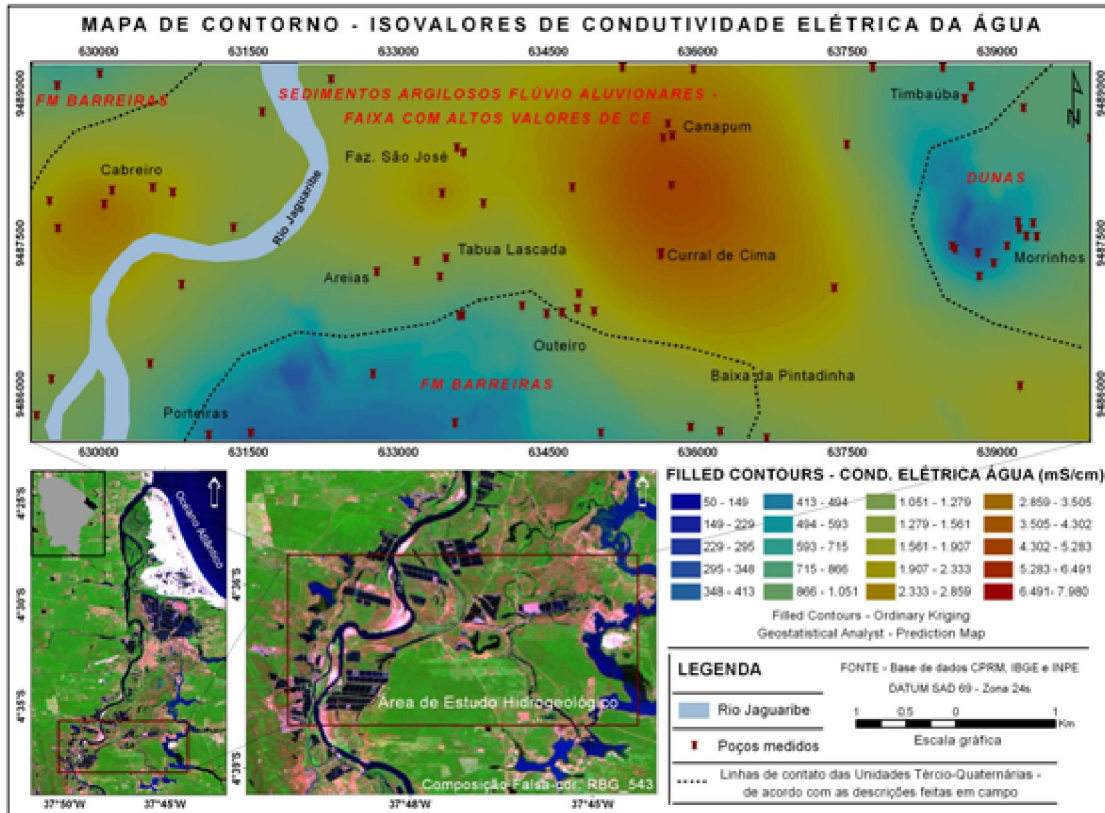


Fig. 10 – Mapa diagnóstico de Condutividade Elétrica (CE) da água, e suas relações com o contexto geológico, presença de carcinicultura e calha do Rio Jaguaribe.

Na localidade de Canapum (centro-nordeste da área), foi analisada a descrição litológica de um poço cedido pela CPRM, Núcleo Ceará, indicando presença de embasamento alterado a 20m e rocha sã a 25m, sugerindo que a concentração anômala nesta região (Canapum) foi originada pela alteração química do embasamento, pouco profundo, ou ainda relacionado a contribuições do sistema de aquífero fissural. Nas porções sudoeste e nordeste da área, observa-se valores recomendados pela OMS, variando de 50 a 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mais precisamente nas localidades de Outeiro, Porteiras, Morrinhos e Timbaúba. Logo, a área apresenta baixos valores de CE nos aquíferos presentes no sistema Dunas/Formação Barreiras.

Outro importante produto gerado foi o mapa potenciométrico da área (Fig. 12), onde se podem observar os pontos com alto potencial hidráulico e, desta forma, visualizar os locais mais favoráveis à captação de água, além de direções, sentidos e as intensidades de fluxo da água subterrânea, o que possibilita identificar um possível comportamento de migração de contaminantes solúveis em água.

Na porção noroeste ficou evidenciado uma região com alto potencial hidráulico (32 m), indicando um fluxo no sentido sudeste, convergindo para a direção da Bacia do Rio Jaguaribe. Esta região forma um divisor que possivelmente fornece recursos hídricos subterrâneos do aquífero raso para o Rio, caracterizando uma zona de descarga para a calha do mesmo. No nordeste da área observa-se um alto potencial hidráulico gerando um fluxo para oeste, convergindo para uma região de mínimo potenciométrico, que em determinados meses chuvosos do ano, o nível d'água aflora formando áreas alagadiças (planície de inundação). Notar no mapa que a maioria das setas de sentido de fluxo daquela região convergem para essa área (distrito de Timbaúba), principalmente da área de Dunas/Paleodunas de Morrinhos denotando a importância destes ambientes como colaboradores das condições de recarga dos mananciais subterrâneos.

A rede de fluxo foi elaborada de forma indistinta para as unidades sedimentares e cristalinas, pelo fato de que nestas últimas existe camada de alteração das rochas do embasamento, e que



permite, com base nas observações em cacimbas, a existência de um sistema aquífero freático,

provavelmente contínuo ao pacote sedimentar.

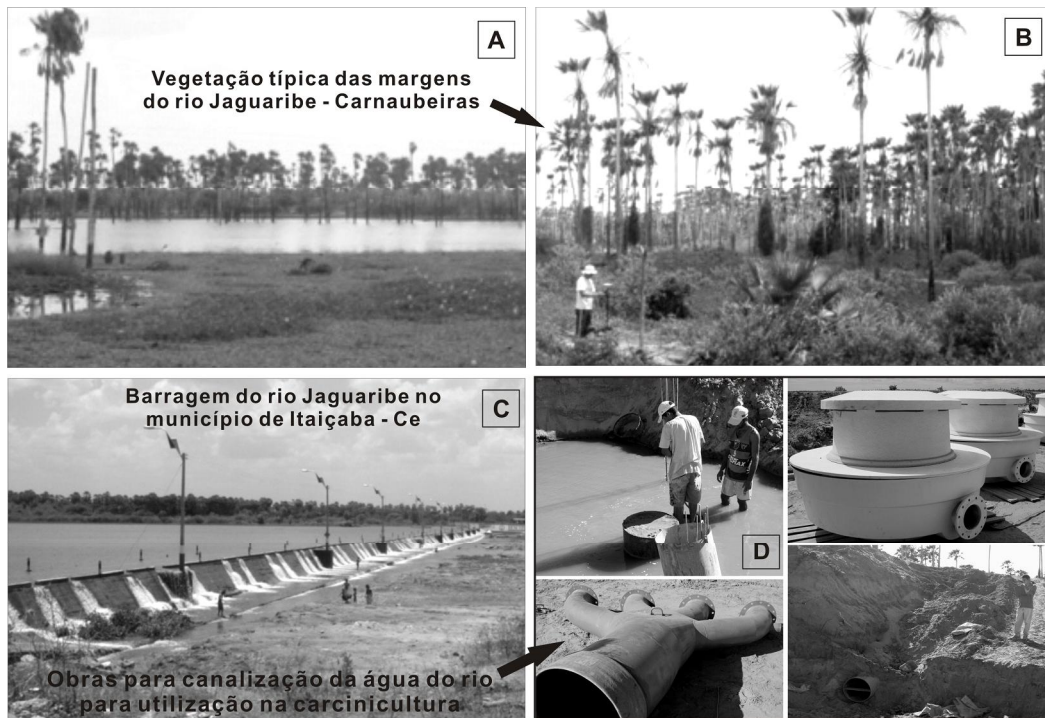


Fig. 11 – Prancha com fotografias destacando a vegetação típica nas margens do Rio Jaguaribe, com predomínio de sedimentos argilosos aluvionares (fotos A e B), a Barragem de Itaíçaba (C) e obras no canal do Rio voltadas para a carcinicultura (D).

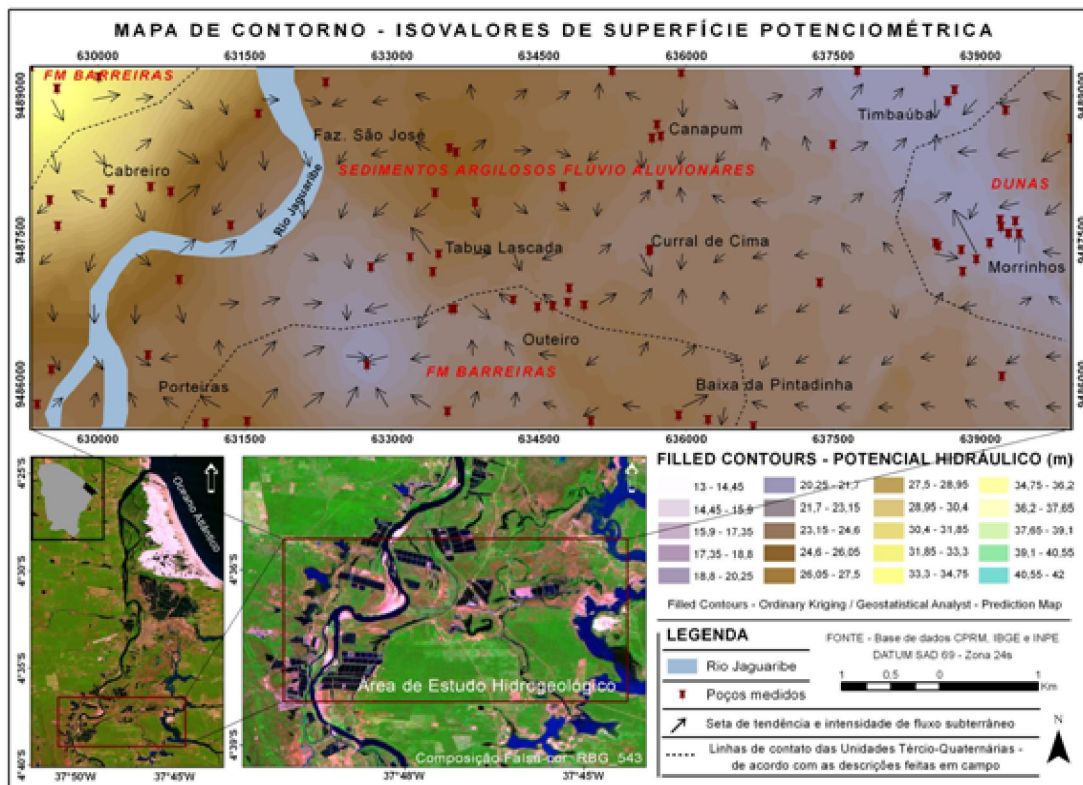


Fig. 12 – Mapa potenciométrico da área com indicativo do potencial hidráulico e tendência de sentido e intensidade de fluxo subterrâneo.

O mapa de isovalores do potencial hidrogeniônico da área (Fig. 13) apresenta variação de 3 até 7,6, com predominância de valores em torno de 7 para a porção oeste do mapa. Na região central da área, distrito de Curral de Cima, o pH ficou em torno de 5 a 6, com uma leve tendência a acidez. Fato importante é a presença de baixos valores encontrados na localidade de Morrinhos, a leste da área.

O valor médio de pH em toda a área foi de 5,1, ficando inserido na faixa das águas ácidas, apresentando certo desequilíbrio dos íons presentes.

Os padrões recomendados pela Portaria N° 518 do Ministério da Saúde (25/03/2004) considera um intervalo para o consumo humano entre 6 e 9,5. Um fato positivo foi a possível influência do Rio Jaguaribe sobre a água subterrânea local. Pois se observa nas margens valores próximos a 7, indicando bastante equilíbrio. Como o pH é um parâmetro hidrogeológico que pode sofrer muitas influências, apesar da medida *in situ*, o processamento dos dados foi realizado a fim de se obter uma idéia das condições e qualidade das águas da região.

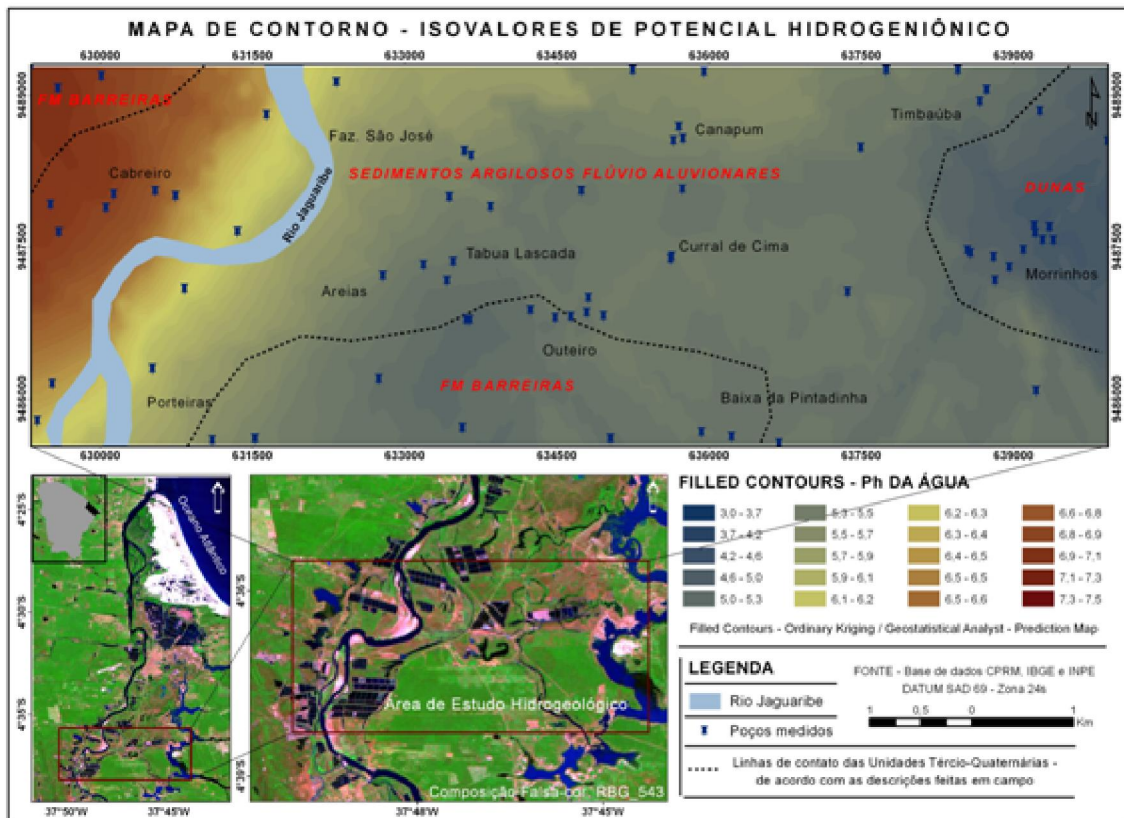


Fig. 13 – Mapa de isovalores para o parâmetro Potencial Hidrogeniônico (pH).

## 5. Conclusões

O canal do baixo Jaguaribe, no intervalo entre a região de Itaiçaba e Aracati (Segmento Meridional/21 km) possui forma assimétrica, largura média de 170 m, sinuosidade de 1,3. Quanto aos atributos geométricos e formas deposicionais o canal é compatível com os padrões fluviais meandrante (barras em pontal, meandros abertos e canal único) e entrelaçado (multi-canal e barras longitudinais), além da presença de elementos como

meandros abandonados, ilhas e rompimento de diques marginais.

Nos 15 km do Segmento Setentrional, observou-se a presença de Dunas encaixando a planície de inundação na margem direita do Rio Jaguaribe. O canal possui largura média de 500 m e sinuosidade em torno de 1,0. Neste Segmento o canal é praticamente retilíneo de direção norte-sul, apresentando ilhas fixas vegetadas e pontos de rompimento de diques marginais sempre à margem direita.

A compartimentação do Rio Jaguaribe na porção estudada, reveste-se de importância ambiental e econômica, pois se trata de sensível sistema estuarino utilizado como uma das principais fontes de desenvolvimento para a região. Para a adequada compreensão da evolução do Rio é necessário que cada compartimento da planície fluvial seja estudado em detalhe, buscando-se estabelecer melhor entendimento e parâmetros essenciais da planície e do canal, tais como potência específica da corrente, aporte de sedimentos, declividade do canal, entre outros.

A análise multi-temporal das imagens Landsat 5-TM mostrou o crescimento na degradação das margens do Rio, através do uso e ocupação do solo com atividades de carcinicultura. Nos últimos 10 anos este aumento no desmatamento dos manguezais, mata ciliar e carnaubal típico da região chega a representar 500%, passando de 7 km<sup>2</sup> em 2000, para 35 km<sup>2</sup> nos dias atuais. Se não bastasse o desmatamento das margens e suas conseqüências, temos ainda os riscos ambientais hídricos (superficiais e subterrâneos) oriundos desta atividade de camarões em viveiros.

O reconhecimento geológico comprovou a existência de sedimentos arenosos (Dunas) na localidade de Morrinhos (sub-área), recobrando os terraços flúvio-aluvionares. Importante salientar que estas Dunas não estão cartografadas nos mapas geológicos do estado, inclusive a base da CPRM. Outro fator importante é que o Sistema Aquífero Dunas de Morrinhos tem suas águas utilizadas para consumo humano em diversas localidades, inclusive pela sede municipal de Aracati. Complementando a cartografia geológica de superfície, foram identificados variações de exposição da Formação Barreiras.

O mapa de profundidade de nível estático revela um aquífero em geral muito raso para a região e enfatiza a presença maior da carcinicultura nos locais mais críticos (linha limite de risco), onde o nível chega a 1,5 m de profundidade. Vale salientar um ponto positivo dentro da zona de risco, onde a mesma é composta predominantemente de material argiloso (sedimentos Flúvio-aluvionares) formando uma capa de proteção natural do aquífero, devido sua baixa permeabilidade.

O mapa do parâmetro CE da água e sua relação com STD identificou faixa anômala com valores fora do permitido para o consumo humano, em relação visível com a presença dos sedimentos argilosos (Sistema Aquífero Aluvionar). Esta questão necessita de pesquisas mais detalhadas, pois pode estar mascarando estes altos valores de CE que já podem ser resultado de possíveis contaminações por infiltração das águas salinizadas utilizadas no processo de cultivo de camarões.

Com relação ao potencial hidráulico, ficou evidenciado o que foi visto nas águas superficiais tanto nas imagens Landsat como em campo. Na margem esquerda do rio temos uma zona de descarga (contribuição à planície de captação do rio), visto na existência de diversos tributários, destacando o rio Palhano logo abaixo da sub-área. Já na planície de inundação (margem direita) o fluxo se mostra confuso, com leve tendência geral para leste. Importante dizer que, apesar da boa quantidade e distribuição dos poços observados, além da precisão, acuracidade na coleta e processamento dos dados, o mapa potenciométrico gerou apenas uma visão preliminar das características subterrâneas, necessitando mais detalhes e investimentos em pesquisa para uma visão mais completa.

Finalizando, os tensores de origem antrópica presentes no sistema estuarino do Rio Jaguaribe resultam da falta de ordenamento do uso e ocupação do solo. Os problemas levantados no presente estudo estão, essencialmente, relacionados à falta de planejamento sustentável dos municípios e suas respectivas atividades econômicas, e, conseqüente, ineficiência dos serviços de saneamento básico.

Desta forma, a compreensão das variáveis do macroambiente e de como o sistema local funciona são fundamentais para o entendimento da situação atual e das possíveis tendências de mudanças no futuro.

## Anexo

Tab. 1 - Poços e cacimbas cadastradas no levantamento hidrogeológico com seus respectivos valores de Nível Estático (N.E.), Nível Topográfico (N.T.), Nível Potenciométrico (N.P.), Condutividade Elétrica (C.E) e pH da água.

| PONTO | UTM_X  | UTM_Y   | N.T.(m) | N.E.(m) | N.P.(m) | Ph  | C.E.<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | TIPO     | LOCALIDADE          |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|-----|-------------------------------------|----------|---------------------|
| 1     | 635635 | 9487392 | 31,1    | 5,9     | 25,2    | 6,5 | 2820                                | poço     | Canapum             |
| 2     | 635626 | 9487370 | 24,7    | 6       | 18,7    | 7,1 | 4440                                | poço     | Canapum             |
| 3     | 634961 | 9486808 | 33,6    | 5,8     | 27,8    | 7   | 1900                                | poço     | Outeiro             |
| 4     | 634813 | 9486984 | 27,2    | 3,3     | 23,9    | 6,1 | 950                                 | poço     | Outeiro             |
| 5     | 634795 | 9486838 | 30,4    | 7,1     | 23,3    | 6   | 1820                                | poço     | Outeiro             |
| 6     | 634641 | 9486798 | 34      | 11,3    | 22,7    | 6,5 | 520                                 | poço     | Outeiro             |
| 7     | 634487 | 9486786 | 34      | 11,2    | 22,8    | 5,5 | 710                                 | poço     | Outeiro             |
| 8     | 634243 | 9486864 | 24,9    | 7       | 17,9    | 6,4 | 730                                 | poço     | Outeiro             |
| 9     | 633643 | 9486768 | 33,7    | 11,5    | 22,2    | 5,4 | 280                                 | poço     | Tabua Lascada       |
| 10    | 633612 | 9486767 | 36,7    | 11,8    | 24,9    | 5,1 | 350                                 | poço     | Tabua Lascada       |
| 11    | 633418 | 9487154 | 39,6    | 7,4     | 32,2    | 5,7 | 1550                                | poço     | Tabua Lascada       |
| 12    | 633187 | 9487308 | 23,6    | 5       | 18,6    | 5,3 | 1590                                | poço     | Areias              |
| 13    | 631524 | 9485598 | 32,8    | 1,5     | 31,3    | 6,1 | 130                                 | poço     | Porteiras           |
| 14    | 631103 | 9485581 | 28,1    | 2,2     | 25,9    | 6,2 | 170                                 | cacimba  | Porteiras           |
| 15    | 632788 | 9487202 | 25,6    | 7,9     | 17,7    | 6,9 | 890                                 | cacimba  | Areias              |
| 16    | 633479 | 9487340 | 28,1    | 3,5     | 24,6    | 6,6 | 160                                 | cacimba  | Tabua Lascada       |
| 17    | 633850 | 9487882 | 27,3    | 1,8     | 25,5    | 6,2 | 1340                                | poço     | Ilha São José       |
| 18    | 633443 | 9487982 | 30,6    | 4,4     | 26,2    | 6,2 | 4440                                | poço     | Ilha São José       |
| 19    | 633656 | 9488396 | 31,8    | 4       | 27,8    | 6,2 | 590                                 | poço     | Ilha São José       |
| 20    | 633590 | 9488440 | 29,9    | 4,2     | 25,7    | 6,4 | 2330                                | poço     | Ilha São José       |
| 21    | 635249 | 9489241 | 24,4    | 2,1     | 22,3    | 6,9 | 1250                                | cacimbão | Volta da Mutamba    |
| 22    | 635954 | 9489224 | 30,2    | 4       | 26,2    | 7   | 2400                                | cacimbão | Canapum             |
| 23    | 639295 | 9487556 | 28,7    | 6,4     | 22,3    | 6,6 | 310                                 | poço     | Morrinhos           |
| 24    | 639396 | 9487552 | 25,3    | 6       | 19,3    | 4,9 | 810                                 | poço     | Morrinhos           |
| 25    | 639360 | 9487682 | 26,8    | 4,5     | 22,3    | 4,1 | 590                                 | poço     | Morrinhos           |
| 26    | 639219 | 9487626 | 21      | 4,2     | 17,2    | 4,3 | 170                                 | poço     | Morrinhos           |
| 27    | 639209 | 9487696 | 24,5    | 5       | 19,5    | 4,5 | 230                                 | poço     | Morrinhos           |
| 28    | 639101 | 9487458 | 23,4    | 4,6     | 18,8    | 5,5 | 830                                 | poço     | Morrinhos           |
| 29    | 638810 | 9487388 | 19,3    | 4,8     | 14,5    | 5,4 | 50                                  | poço     | Morrinhos           |
| 30    | 638550 | 9487456 | 31,8    | 7,6     | 24,2    | 5,1 | 50                                  | poço     | Morrinhos           |
| 31    | 638578 | 9487428 | 29,6    | 4,2     | 25,4    | 4,7 | 80                                  | poço     | Morrinhos           |
| 32    | 630010 | 9489179 | 33,5    | 3,3     | 30,2    | 7,4 | 330                                 | cacimbão | Tab. do Cabreiro    |
| 33    | 629584 | 9489060 | 44,8    | 4       | 40,8    | 7,3 | 270                                 | cacimba  | Tab. do Cabreiro    |
| 34    | 629314 | 9489286 | 46,7    | 5,2     | 41,5    | 7,2 | 640                                 | cacimba  | Tab. do Cabreiro    |
| 35    | 630541 | 9488040 | 38,5    | 4       | 34,5    | 6,9 | 2170                                | cacimba  | Cabreiro            |
| 36    | 630742 | 9487992 | 23,4    | 4,8     | 18,6    | 6,6 | 2310                                | cacimbão | Cabreiro            |
| 37    | 630131 | 9488010 | 32,2    | 3,7     | 28,5    | 7,4 | 410                                 | cacimbão | Cabreiro            |
| 38    | 630058 | 9487874 | 38      | 4       | 34      | 7,2 | 6920                                | cacimba  | Cabreiro            |
| 39    | 631352 | 9487640 | 22,6    | 3       | 19,6    | 7,1 | 910                                 | poço     | Cabreiro            |
| 40    | 629593 | 9487634 | 30,9    | 3       | 27,9    | 7,6 | 2950                                | cacimba  | Serrote Cabreiro    |
| 41    | 629508 | 9487906 | 29      | 2,4     | 26,6    | 7,5 | 1360                                | cacimba  | Serrote Cabreiro    |
| 42    | 633571 | 9485699 | 30,6    | 5,3     | 25,3    | 5,8 | 300                                 | poço     | Baixa da Pintadinha |
| 43    | 635031 | 9485598 | 29,1    | 4,9     | 24,2    | 6,1 | 350                                 | poço     | Baixa da Pintadinha |



continuação Tab. 1

|    |        |         |      |      |       |     |      |          |                  |
|----|--------|---------|------|------|-------|-----|------|----------|------------------|
| 44 | 635928 | 9485660 | 34,2 | 5    | 29,2  | 5,9 | 760  | poço     | Venâncio         |
| 45 | 636223 | 9485615 | 25,7 | 6    | 19,7  | 5,6 | 540  | poço     | Venâncio         |
| 46 | 636693 | 9485547 | 29   | 6,1  | 22,9  | 6,4 | 680  | poço     | Venâncio         |
| 47 | 635653 | 9488542 | 29,3 | 3,8  | 25,5  | 6,5 | 7980 | poço     | Canapum          |
| 48 | 635746 | 9488562 | 25,4 | 2,8  | 22,6  | 6,4 | 670  | poço     | Canapum          |
| 49 | 635704 | 9488680 | 27   | 3    | 24    | 7,3 | 3980 | cacimba  | Canapum          |
| 50 | 638965 | 9487286 | 31,9 | 3,9  | 28    | 7,6 | 110  | poço     | Morrinhos        |
| 51 | 638824 | 9487156 | 26,6 | 5    | 21,6  | 6,4 | 280  | cacimbão | Morrinhos        |
| 52 | 638674 | 9488930 | 23,4 | 6,1  | 17,3  | 6,2 | 760  | poço     | Timbaúba         |
| 53 | 638741 | 9489046 | 29   | 6,9  | 22,1  | 6,2 | 370  | poço     | Timbaúba         |
| 54 | 637751 | 9489241 | 22,5 | 4,72 | 17,78 | 6,3 | 750  | poço     | Timbaúba         |
| 55 | 638456 | 9489241 | 22,8 | 3,1  | 19,7  | 6,6 | 570  | poço     | Timbaúba         |
| 56 | 639265 | 9488836 | 28,4 | 5,3  | 23,1  | 6,2 | 930  | poço     | Tanque Salgado   |
| 57 | 639933 | 9488536 | 34   | 4,2  | 29,8  | 5,6 | 760  | poço     | Tanque Salgado   |
| 58 | 635738 | 9488062 | 29,1 | 6,9  | 22,2  | 3,1 | 7570 | poço     | Canapum          |
| 59 | 632748 | 9486185 | 23,1 | 10,5 | 12,6  | 5,5 | 300  | poço     | Areias           |
| 60 | 632328 | 9489123 | 26,3 | 3,9  | 22,4  | 6,9 | 980  | poço     | Volta da Mutamba |
| 61 | 634745 | 9488044 | 27,6 | 4,2  | 23,4  | 5,3 | 2500 | poço     | Curral de Cima   |
| 62 | 639228 | 9486068 | 31,1 | 7,2  | 23,9  | 5,6 | 2100 | poço     | Água Fria        |
| 63 | 637369 | 9487042 | 29,9 | 6,3  | 23,6  | 6,7 | 2890 | poço     | Água Fria        |
| 64 | 637497 | 9488473 | 27,6 | 4,1  | 23,5  | 6,3 | 700  | poço     | Jotabá           |
| 65 | 631639 | 9488798 | 29,5 | 3,8  | 25,7  | 7,3 | 1100 | poço     | Cabreiro         |
| 66 | 630830 | 9487075 | 30,7 | 3,6  | 27,1  | 6,9 | 900  | poço     | Cabreiro         |
| 67 | 629525 | 9486135 | 27,1 | 4    | 23,1  | 7   | 950  | poço     | Porteiras        |
| 68 | 629380 | 9485772 | 26,8 | 3,9  | 22,9  | 6,8 | 1010 | poço     | Porteiras        |
| 69 | 630515 | 9486286 | 25,3 | 4,2  | 21,1  | 7,1 | 890  | poço     | Porteiras        |

## Rerefências Bibliográficas

- Borghetti, N. R. B.; Ostrensky, A. (2003) - J.R. Aquicultura: Uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo. Curitiba: Grupo Integrado de Aqüicultura e Estudos Ambientais, 128p.
- Castelo Branco, R. M. G.; Santos, F.A.M., Castro, D.L., Brito Neves, B.B. (2007) - Integração preliminar de dados MT, TDEM, GRAV e MAG na delimitação dos Domínios Crustais Jaguaribeano e Ceará Central, Província Borborema (NE do Ceará). Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. CD.
- Figueirêdo, M. C. B.; Rosa, M. F.; Araújo, L. F. P.; Correia, L. J. A.; Morais, L. F. S., (2004) - Perfil das Fazendas de Camarão em Águas Interiores, na Região do Baixo Jaguaribe, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, *Volume 9 n.3 Jul/Set 2004, 101-108.*
- Gatto, L. C. S., (1999) – Diagnóstico Ambiental da Bacia do rio Jaguaribe, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Salvador, Diretrizes gerais para ordenação territorial, 77 p.
- Leite, E. F., & Rosa, R. (2009) - Sensoriamento Remoto multitemporal na Bacia Hidrográfica do Rio Nioaque, MS. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5903-5908.
- Melo, A. W. F.; Silva, S. S.; Tavares, R. A.; Freschi, J. M.; Gavazzi, R. A.; Silva, J. F. M.; Piyanko, B. & Brown, I. F., (2007) - Aplicação de dados SRTM, sensoriamento remoto e SIG em etnomapeamento: o caso da Terra Indígena Kampa do Rio Amônia na fronteira Brasil-Acre/Peru-Ucayali, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5949-5956.
- Paula, D. P.; Morais, J. O. & Pinheiro, L. S., (2006) – Análise Geoambiental do estuário do Rio Jaguaribe – CE: Tensores naturais e antrópicos., VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology, Goiânia 6 a 10 de setembro de 2006.

Silva, A.; Assine, M. L.; Souza Filho, E. E.; Cunha, S. B. & Zani, H., (2006) – Compartimentação geomorfológica do rio Paraguai na borda norte do Pantanal, município de Cáceres, MT., Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro de 2006, p.257-264.

Silva, A.; Souza Filho, E. E. & Cunha, S. B., (2008) - Padrões de canal do rio Paraguai na região de Cáceres (MT), Revista Brasileira de Geociências, 38(1): 167-177, março de 2008.

