

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA/LAGEMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA
TERRA – DOT
MESTRADO

Janaina Prudente Gonzaga

Classificação Automática de Padrões Sonográficos: Estudo de Caso do Rio Araguaia

Niterói

2017

Janaina Prudente Gonzaga

Classificação Automática de Padrões Sonográficos: Estudo de Caso do Rio Araguaia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Terra (M. Sc.). Área de concentração: Geologia e Geofísica Marinha.

Orientador:

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto

Co-orientador:

Prof. Dr. Luiz Antônio Pereira de Souza

Niterói

2017

G642

Gonzaga, Janaina Prudente

Classificação automática de padrões sonográficos: estudo de caso do rio Araguaia / Janaina Prudente Gonzaga. – Niterói: [s.n.], 2017.

93 p.

Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra) – Universidade Federal Fluminense, 2017.

1.Métodos geofísicos. 2.Padrões sonográficos. 3.Classificação automática. 4.Rio Araguaia. I.Título.

CDD 622.15

Janaina Prudente Gonzaga

Classificação Automática de Padrões Sonográficos: Estudo de Caso do Rio Araguaia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Terra (M. Sc.). Área de concentração: Geologia e Geofísica Marinha.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2017, pela banca examinadora:

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto (Orientador)
Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR

Prof. Dr. Luiz Antônio Pereira de Souza (Co-orientador)
Universidade de São Paulo
Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas

Prof. Dr. Alessandro Mendonça Filippo
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Faculdade de Oceanografia – Departamento de Oceanografia Física e Meteorologia

Prof. Dr. Gilberto Tavares de Macedo Dias
Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao meu orientador Arthur Ayres Neto, por quem eu tenho grande admiração. Agradeço as suas aulas, a sua competência, paciência, dedicação, apoio e incentivo. Agradeço também por estar sempre disposto a esclarecer as minhas dúvidas, transmitindo conhecimento e contribuindo para o meu crescimento profissional. Obrigada por aceitar me orientar nesta dissertação.

Agradeço ao meu co-orientador Luiz Antônio Pereira de Souza pelos dados disponibilizados e auxílio em etapas do meu trabalho.

Agradeço à banca avaliadora da minha dissertação, Alessandro Mendonça Filippo e Gilberto Tavares de Macedo Dias, por aceitarem o meu convite.

Agradeço a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), pelo financiamento do projeto responsável pela coleta dos dados.

Agradeço aos meus amigos Carlos Henrique Barreto Firenze, Cássia Lima Cardoso, Elisa Nóbrega Passos, Esthephany Oliveira, Fábio Radomille Santana, Marcela Coronel Lopes e Marina Veiga. Cada um de vocês contribuiu de alguma forma importante para o desenvolvimento do meu trabalho. Obrigada pela ajuda e paciência a mim dedicadas.

Agradeço muito ao meu namorado, companheiro Leonardo Belati Martins. Muito obrigada pela paciência e apoio.

Mãe, obrigada!

E um agradecimento especial para uma das pessoas mais importantes da minha vida... minha vó Mariquinha! As vezes ficava me perguntando de quem eu tinha “puxado” essa minha força de vontade e coragem para lutar, aí um certo dia, no meio de uma das várias histórias que eu amava ouvir “caiu a ficha”, era dela. Foi difícil, está sendo, mas sei que está comigo nesse momento. Obrigada por fazer parte do que sou!

Ninguém vai bater mais forte do que a vida.
Não importa como você vai bater e sim o quanto aguenta apanhar e continuar lutando;
quanto pode suportar e seguir em frente.
É assim que se ganha.

Rocky Balboa

Resumo

A sonografia é um dos métodos geoacústicos existentes, com os quais se torna possível a caracterização da superfície do fundo subaquático. Seus dados geralmente são tratados qualitativamente, sendo assim, condicionados a perícia técnica do intérprete. Este tipo de interpretação geralmente está baseado na associação visual e subjetiva dos diferentes padrões sonográficos, texturas e distribuição superficial de sedimentos. O problema é que em vários casos há variações granulométricas que resultam em padrões sonográficos semelhantes e os olhos humanos nem sempre são capazes de detectar essas pequenas variações, tornando esse tipo de análise limitada. Com o objetivo de estabelecer uma análise quantitativa, foi analisado estatisticamente as variações dos padrões sonográficos. Mediante os dados coletados no rio Araguaia, na altura da cidade de Conceição do Araguaia, foi selecionado padrões sonográficos correspondentes as localizações das amostragens de sedimento do fundo fluvial. Esses padrões foram analisados com escala de cinza normal e invertida, para obtenção não só de informação de granulometria e morfologia do fundo, mas também de influência da direção do ângulo de incidência dos feixes. Foi estabelecido rotinas no *MatLab* para análise estatísticas de primeira e segunda ordem, através de histogramas e matrizes de co-ocorrência dos níveis de cinza, respectivamente. Nos resultados obtidos, foi observado que somente a análise de primeira ordem não fornece dados satisfatórios, pois mostram dependências, como na mudança de direção do ângulo de incidência dos feixes. Com análise estatística de segunda ordem foi calculado os parâmetros de Homogeneidade e Entropia das imagens sonográficas, as correlações dessas propriedades mostraram resultados muito bons e não possuem dependências. A eficiência da análise quantitativa foi comprovada pela sua acurácia na classificação automática dos padrões sonográficos, com isso, a análise torna-se menos subjetiva.

Palavras chave: classificação automática, padrões sonográficos e rio Araguaia.

Abstrat

Sonography is one of the existing geoaoustic methods, with which it becomes possible to characterize the bottom surface of aquatic environments. Their data are treated qualitatively, thus being conditioned the technical expertise of the interpreter. This type of interpretation is based on the visual and subjective association of different patterns of sonographies, textures and surface sediment distribution. The problem is that in many cases there are granulometric variations that result in similar sonographic patterns and human eyes are not always sensitive to small variations, making this type of analysis limited. In order to establish a quantitative analysis, it was analyzed statistically as variations of the sonographic patterns. Based on the data collected in the Araguaia river, at the height of the city of Conceição do Araguaia, corresponding sonographic patterns were selected as sediment sample locations of the river bottom. These patterns were analyzed with normal and inverted gray scale, to obtain not only granulometry information and background morphology, but also the influence of the direction of the angle of incidence of the bundles. MatLab routines were established for statistical analysis of first and second order, through histograms and matrices of co-execution of gray levels, respectively. In the obtained results, it was observed that only a first order analysis does not contain satisfactory data, since they show dependencies, like a change of orientation of the angle of incidence of the bundles. With statistical analysis of the second order was calculated with the parameters of Homogeneity and Entropy of sonographic images, as correlations of these properties showed very good results and no dependent dependencies. The efficiency of the quantitative analysis was proved by its accuracy in the automatic classification of sonographic patterns, thus, the analysis becomes less subjective.

Keywords: automatic classification, sonographic standards and Araguaia river.

Lista de figuras

- Figura 1 – Mapa do rio Araguaia entre os municípios Conceição do Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO. Onde está localizada a área de estudo, limitada pelas linhas azuis tracejadas; as três seções para levantamento de dados (CA-01, CA-02 e CA-03), linhas em vermelho e os três pontos de amostragem geológica, círculos em amarelo. 3
- Figura 2 – Ilustração da bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins mostrando a localização da bacia no país, seu sistema fluvial e o rio Araguaia com sua divisão (alto, médio e baixo curso) e as alturas onde ocorre (Registro do Araguaia e Conceição do Araguaia). 4
- Figura 3 – Mapa geológico da região entre os municípios Conceição de Araguaia e Couto Magalhães. Divisão geológica regional: Formação Couto Magalhães (PMtcf1), rochas básico-ultrabásicas (PMs), detrito-lateríticas (TQdl), aluviões pleistocênicas (Qpa) e aluviões holocênicas (Qha). 8
- Figura 4 – Representações de sistemas batimétricos com ecobatímetro monofeixe (a esquerda) e multifeixe (a direita). 12
- Figura 5 – Ilustração mostrando como é construída a “imagem acústica” do sonar de varredura lateral à medida que o transdutor se locomove ao longo do perfil. 13
- Figura 6 – Exemplos de imagens sonográficas. A) Afloramento rochoso e *sand waves*; B) Boia de sinalização; C) Naufrágio; D) Naufrágio: escuna a carvão. 15
- Figura 7 – Representação de uma imagem digital. 16
- Figura 8 – Exemplo de um histograma calculado a partir da imagem sonográfica ao lado, que extraiu alguns parâmetros estatísticos como: frequência de ocorrência dos níveis de cinza, mínimo, máximo, mediana, média e range dinâmico. 19
- Figura 9 – Comparação de duas imagens com texturas diferentes representadas por matrizes 4·4 com oito níveis de cinza (a e c). Nota-se que suas texturas são diferentes devido à distribuição dos píxeis, no entanto seus histogramas são iguais (b e d). 20
- Figura 10 – Células de resolução e sua relação com píxeis vizinhos em vários ângulos. As células de resolução 1 e 5, 4 e 8, 3 e 7, 2 e 6 são respectivamente 0°, 45°, 90° e 135° vizinhos mais próximos para a células 0. 22

- Figura 11 – Matriz 5·5 que representa uma imagem sonográfica com três níveis de cinza: 0, 1 e 2. 22
- Figura 12 – Cálculo das GLCMs derivadas da matriz da figura 11: (a) $d = 1$ e $\theta = 0^\circ$, (b) $d = 1$ e $\theta = 45^\circ$, (c) $d = 1$ e $\theta = 90^\circ$ e (d) $d = 1$ e $\theta = 135^\circ$. 23
- Figura 13 – GLCM resultante da soma das GLCMs calculadas a partir da matriz da figura 11. 25
- Figura 14 – Perfilador de profundidade doppler acústico (ADCP) modelo *Workhorse Sentinel*, da *Teledyne RD Instruments*. 32
- Figura 15 – Sonar de varredura lateral modelo *Klein System 3.000, Towfish*, da L-3 *Klein Associates*. 33
- Figura 16 – Fluxograma básico de processamento dos dados sonográficos. 33
- Figura 17 – Amostrador *Rock-Island* para coleta de sedimentos da superfície do fundo fluvial. 34
- Figura 18 – Exemplo de imagem sonográfica extraída no programa *SonarWiz 5*, com uma área delimitada (em azul) de 5·5 m em torno da localização de amostragem para a análise estatística. 35
- Figura 19 – *Stick plot* com vetores de velocidade da superfície d'água medida em um transectos na seção realizada a montante de Conceição do Araguaia - PA (CA-02). Valores expressos em m/s. 38
- Figura 20 – Contornos de velocidade da calha do rio ao longo de um dos transectos na seção realizada a montante de Conceição do Araguaia - PA (CA-02). Valores expressos em m. 39
- Figura 21 – Vazão climatológica (médias mensais) do Rio Araguaia, no Município de Conceição do Araguaia - PA, para o período de 1970 a 2007. Valores expressos em m³/s. 40
- Figura 22 – Tela do programa *WinRiver II* utilizado na coleta dos dados, ela é subdividida em algumas janelas que mostram as informações sobre os dados em tempo real: a janela do canto superior esquerdo indica e gerencia os arquivos gerados durante a coleta; a seguinte mostra perfis de intensidade da corrente medida por cada um dos quatro transdutores, sendo que cada cor refere-se a um transdutor; na terceira janela, na parte superior da tela, é mostrado um diagrama *stick plot*, indicando a trajetória da embarcação e os vetores médios de velocidade em cada posição medida; na parte inferior da tela, são mostrados os contornos de

velocidade ao longo do transecto da calha do rio e por fim, no lado direito, existe uma tabela com todas as informações instantâneas do processo de coleta de dados, onde o cálculo da profundidade (m) está destacado por um retângulo laranja. 41

- Figura 23 – Mapa batimétrico interpolado mostrando as isóbatas da superfície do fundo fluvial e suas variações, representadas em cores. Valores expressos em m. 42
- Figura 24 – Mosaico sonográfico integrando todas as linhas obtidas com o sonar de varredura lateral. 44
- Figura 25 – Amostra coletada no ponto CA-02, onde observa-se duas frações granulométricas (cascalho e areia). 46
- Figura 26 – Detalhe da fração cascalho presente na amostra de fundo fluvial coletada no ponto CA-02. 46
- Figura 27 – Amostra coletada no ponto CA-01, onde predomina a fração areia. 47
- Figura 28 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza normal. 49
- Figura 29 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza normal, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM). 50
- Figura 30 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza invertida. 51
- Figura 31 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza invertida, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM). 52
- Figura 32 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza normal. 53
- Figura 33 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza normal, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM). 54

Figura 34 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza invertida. 55

Figura 35 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza invertida, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM). 56

Lista de tabelas

- Tabela 1 – Relação entre a GLCM e as propriedades de Homogeneidade e Entropia segundo as características texturais. 28
- Tabela 2 – Localização e características das seções levantadas entre os municípios Conceição de Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO. Coordenadas em UTM. 30
- Tabela 3 – Localização dos pontos das amostras de sedimentos superficiais do fundo fluvial, definido como uma localização média da seção. Coordenadas em UTM. 30
- Tabela 4 – Dados de vazão da base pública do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional das Águas (ANA). Estação fluviométrica, código, coordenadas e período. 37
- Tabela 5 – Valores de vazão obtidos através do levantamento de campo. Data (dia/mês/ano) e vazão (m³/s). 39
- Tabela 6 – Resultados da análise granulométrica do sedimento superficial do fundo fluvial e classificação textural. 45
- Tabela 7 – Imagens sonográficas extraídas no programa *SonarWiz 5* com uma área delimitada (em azul) de 5·5 m em torno da localização de amostragem para a análise estatística. 48
- Tabela 8 – Resumo dos resultados obtidos a partir das análises de primeira e segunda ordem segundo as imagens. 57
- Tabela 9 – Resumo dos dados de vazão, largura, profundidade e granulometria característica dos pontos de amostragem. 58

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Caracterização da área do estudo	2
2.1	Geologia Regional.....	5
2.1.1	Geologia Local	7
2.2	Climatologia Regional.....	9
3	Referencial teórico	9
3.1	Fundamentos dos métodos geofísicos acústicos	9
3.1.1	Ecobatimetria.....	11
3.1.2	Sonografia.....	12
3.1.2.1	Imagem Sonográfica.....	14
3.2	Visão geral de técnicas de processamento de imagem para a classificação dos padrões sonográficos	17
3.3	Métodos estatísticos para a análise textural das imagens sonográficas	18
3.3.1	Primeira ordem.....	18
3.3.2	Segunda ordem.....	21
4	Objetivos.....	28
4.1	Objetivo geral	28
4.2	Objetivos específicos.....	28
5	Materiais e métodos.....	29
5.1	Caracterização do mapeamento.....	29
5.6	Classificação digital dos padrões sonográficos.....	34
5.6.1	Análise estatística das imagens sonográficas	34

6.	Resultados.....	37
6.1	Dados e velocidade de corrente e vazão (ou hidrológicos).....	37
6.2	Batimetria	40
6.3	Sonar de varredura lateral.....	43
6.4	Dados geológicos	45
6.5	Análises estatísticas das imagens sonográficas	47
7	Discussão	58
8	Conclusão	62
	Referência bibliográfica	64

1 Introdução

A geofísica estuda o planeta Terra através da medição de suas propriedades físicas. Existem diversos tipos de métodos geofísicos, cada um relacionado à medida de uma propriedade física do nosso planeta (AYRES NETO, 2000).

Atualmente, com o avanço tecnológico pode-se utilizar equipamentos geofísicos de pequeno porte (perfilador sísmico de alta resolução, sonar de varredura lateral (SVL) e ecobatímetros de alta precisão) em coluna d'água entre 2 a 200 m, o que possibilita uma série de investigações oceanográficas em águas rasas (REYNOLDS, 1997).

Em estudos qualitativos de mapeamento do fundo subaquático o SVL é o equipamento mais utilizado, o seu principal objetivo é localizar objetos e mapear a geologia superficial. O sucesso do método é em grande parte devido ao fato de ele permitir a cobertura total de uma área de maneira rápida e eficiente, e por ser instrumento acessível e relativamente fácil de operar a partir de uma gama de diferentes embarcações (JOHNSON; HELFERTY, 1990). Seus dados geralmente são tratados qualitativamente, sendo assim, condicionados a perícia técnica do intérprete. Este tipo de interpretação geralmente está baseado na associação visual e subjetiva dos diferentes padrões sonográficos e texturas da imagem sonográfica à distribuição superficial de sedimentos no fundo. O problema é que em vários casos há variações granulométricas, em uma determinada área, que resultam em padrões de reflexão semelhantes e o olho humano nem sempre é capaz de detectar essas pequenas variações.

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de identificar atributos de imagens sonográficas que permitissem diferenciar as variações entre os padrões sonográficos através do estudo do comportamento e distribuição dos píxeis das imagens, o contraste entre eles, processamento e análise estatística, entre outras características. E assim foi possível definir uma metodologia com padrões mais quantitativos, deixando de lado as subjetividades e/ou ambiguidades, para interpretação da superfície do fundo fluvial.

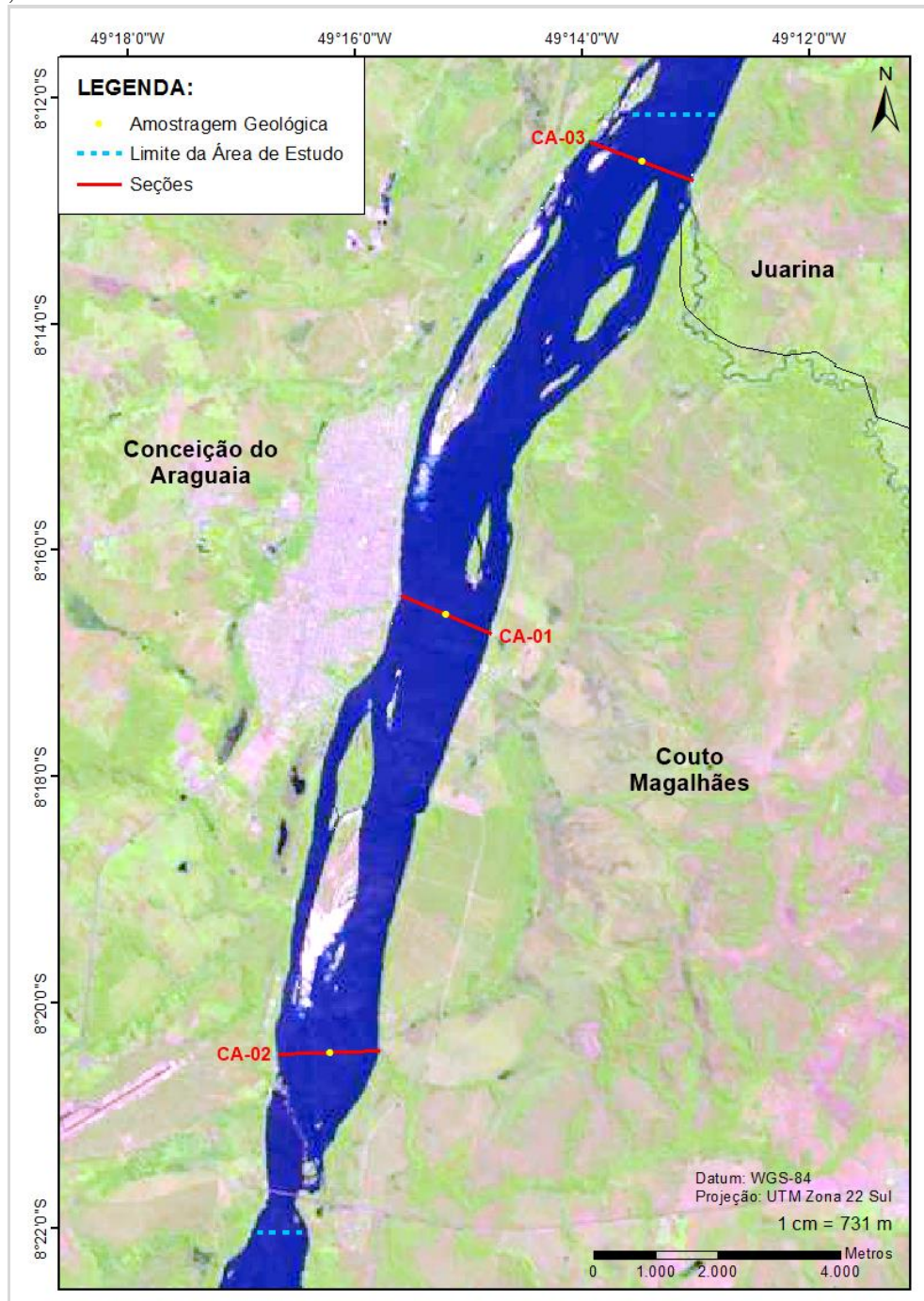
A meta desse estudo é avaliar o método de caracterização de atributos de imagens sonográficas proposta por Corzo Moya (2014). Onde, a técnica de análise de mosaicos sonográficos, desenvolvida por ele, permite fazer o reconhecimento e diferenciação dos padrões de sonográficos através do uso de atributos quantitativos da imagem sonográfica e validação dos mesmos pela parametrização com amostragem geológica.

Dados e informações foram selecionados e obtidos em um estudo feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT-SP) no rio Araguaia, coletados através do projeto “HIDROVIA DO ARAGUAIA: investigação de problemas ambientais locais advindos de obras de pequeno porte e do tráfego de comboios de carga”. Para a interpretação dos padrões sonográficos, dentre os levantamentos contemplados pelo projeto, o escolhido para área de estudo foi o realizado adjacente à costa do município de Conceição do Araguaia, no estado do Pará.

2 Caracterização da área do estudo

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas 8°15'49,61" S; 49°16'46,15" O e 8°22'1,82" S; 49°14'41,07" O (Figura 1). Está localizada entre os municípios Conceição de Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO, no médio curso do rio Araguaia, dentro da bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins e faz parte da região norte do Brasil.

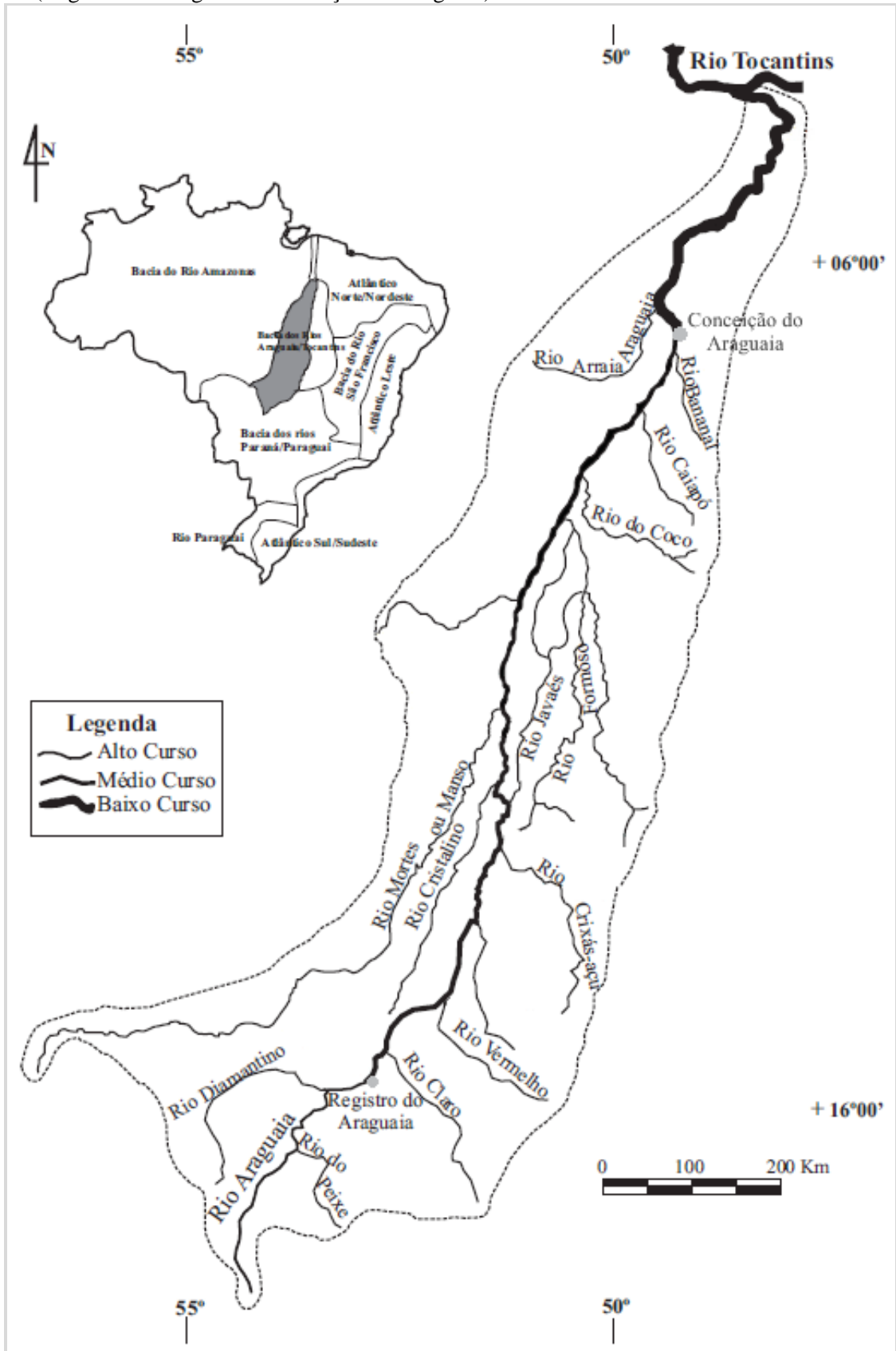
Figura 1 – Mapa do rio Araguaia entre os municípios Conceição do Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO. Onde está localizada a área de estudo, limitada pelas linhas azuis tracejadas; as três seções para levantamento de dados (CA-01, CA-02 e CA-03), linhas em vermelho e os três pontos de amostragem geológica, círculos em amarelo.



Fonte: Produção da própria autora.

A bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins (Figura 2) é considerada a quarta maior bacia de drenagem da América do Sul, estende-se por 777.308 km², englobando parte de dois grandes biomas sul-americanos: a floresta tropical amazônica ao norte e o cerrado brasileiro ao sul (AQUINO *et al.*, 2009; LATRUBESSE; STEVAUX, 2006).

Figura 2 – Ilustração da bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins mostrando a localização da bacia no país, seu sistema fluvial e o rio Araguaia com sua divisão (alto, médio e baixo curso) e as alturas onde ocorre (Registro do Araguaia e Conceição do Araguaia).



Fonte: Modificado de Aquino *et al.* (2005).

O rio Araguaia é o principal tributário do rio Tocantins, possui uma área de drenagem de aproximadamente 380.000 km² e descarga média de 6.100 m³/s e é o divisor natural de quatro estados: Goiás, Mato Grosso, Pará e Tocantins. É considerado um rio de baixa sinuosidade e baixo índice de entrelaçamento (*braiding index*), com um canal principal e não mais do que um ou dois braços. Contudo, alguns setores mostram uma tendência para canal único meandrante, apresenta de forma comum barras centrais (*mid-channel bars*), ilhas e ocasionais barras em pontal (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002, 2006).

Sua nascente fica a 850 m de altitude na serra dos Caiapós, na divisa dos estados Goiás e Mato Grosso. Depois de percorrer 720 km, divide-se em dois braços: o Araguaia e o Javaés, formando a maior área insular fluvial do mundo, a ilha do Bananal, com aproximadamente 80 km de largura e 300 km de comprimento. Desemboca a cerca de 90 m de altitude no rio Tocantins, na divisa dos estados Pará e Tocantins, após fluir descendo o canal por mais de 2.100 km. E seu principal afluente é o rio das Mortes com aproximadamente 60.000 km² de área de drenagem. (AQUINO *et al.*, 2005, 2008, 2009).

Seu perfil longitudinal pode ser dividido em três segmentos denominados: alto, médio e baixo Araguaia. O alto Araguaia estende-se por 450 km até Registro do Araguaia, drenando uma área de 36.400 km². No médio curso, que se estende por 1.160 km desde Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia, a área de drenagem aumenta drasticamente alcançando uma dimensão maior que 300.000 km², onde está presente uma planície aluvial bem desenvolvida. O baixo Araguaia se constitui depois da localidade de Conceição do Araguaia até sua confluência com o rio Tocantins, com extensão aproximada de 500 km (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002, 2006).

2.1 Geologia Regional

A bacia Araguaia-Tocantins é dominada por três unidades geológicas principais constituídas por rochas pré-cambrianas do escudo brasileiro, rochas paleozóicas e mesozóicas da bacia sedimentar do Paraná e sedimentos terciários e depósitos

quaternários na planície do Bananal (LATRUBESSE; STEVAUX, 2006; VALENTE, 2007).

O rio Araguaia apresenta de forma geral depósitos relativos ao canal que compõem-se de areia média a grossa com estratificação cruzada planar e em calha (*planar and trough cross bedding*) geradas em barra central, depósitos de acreção lateral em setores meandriformes e depósitos finos de dique marginal e baía de inundação que se desenvolvem sobre ilhas e barras acrescidas (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002, 2006).

No alto Araguaia o rio corre encaixado em rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino e sobre sedimentos paleozóicos da bacia do Paraná. Geomorfologicamente esta área é formada por paisagens mais abruptas com elevações de até 1.000 m. Rochas basálticas e sedimentares, paleozóicas e mesozóicas formam uma paisagem tabular. O rio flui através vales em forma de V, controlados por lineamentos litológicos e estruturais com direção predominante NNE-SSW originados no ciclo tectônico Transbrasiliano (HASUI *et al.*, 1975).

No médio curso o rio flui através de uma planície aluvial bem desenvolvida, considerada um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares formadas por sedimentos do Holoceno e do Pleistoceno tardio e subdivide-se em três tipos de unidades geomorfológicas dominantes que conformam a planície aluvial atual: i) planície de barras e ilhas acrescidas; ii) planície de inundação de escoamento impedido e; iii) unidade dominada por paleomeandros. Entretanto, na área superior do médio Araguaia o rio corta blocos tectônicos de rochas pré-cambrianas, mais adiante nesse setor o rio transcorre através de terras baixas da planície do Bananal, uma importante unidade geomorfológica e sedimentar. Em alguns pontos da planície aluvial aparecem ao longo do canal afloramentos rochosos originando pequenas corredeiras. (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002, 2006).

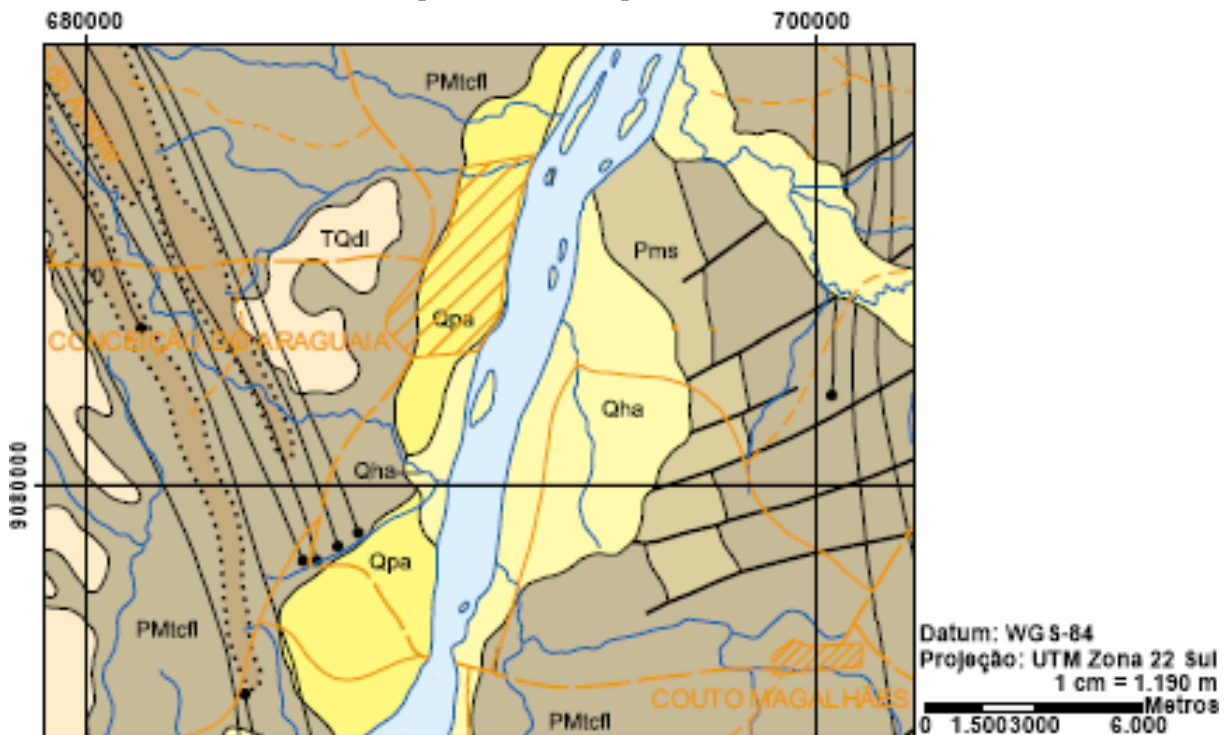
O baixo Araguaia inicia-se depois da planície do Bananal, quando a planície aluvial do rio praticamente desaparece e o rio entra em área de rochas cristalinas pré-cambrianas até a confluência com o rio Tocantins. Pequenas cachoeiras e ilhas estão

presentes e o controle estrutural é muito intenso. (LATRUBESSE; STEVAUX, 2002, 2006).

2.1.1 Geologia Local

Na região entre os municípios Conceição do Araguaia e Couto Magalhães, Silva e Sá (1982) observaram três unidades tectônicas distintas: Domos Gnáissicos, correspondentes ao domínio cratônico; Faixa Orogênica Tocantins-Araguaia com a ocorrência de rochas dos grupos Estrondo e Tocantins (Formação Couto Magalhães), rochas básico-ultrabásicas e Sinéclise do Parnaíba. Capeando essas unidades geotectônicas, foram registrados outros eventos deposicionais mais recentes, representados pelas coberturas arenosas e/ou detrítico-lateríticas, de idade terciária e quaternária e aluviões quaternários (pleistocênicos e holocênicos), todos agrupados nas unidades designadas Coberturas Tércio-Quaternárias e Depósitos Aluvionares (Figura 3).

Figura 3 – Mapa geológico da região entre os municípios Conceição de Araguaia e Couto Magalhães. Divisão geológica regional: Formação Couto Magalhães (PMtcf), rochas básico-ultrabásicas (PMs), detrito-lateríticas (TQdl), aluviões pleistocênicas (Qpa) e aluviões holocênicas (Qha).



LEGENDA:

	LITOLOGIA	LITOAMBIÊNCIA	POTENCIAL MINERAL
ALUVIÕES HOLOCÊNICAS	Qha Sedimentos inconsolidados formados por areia, material silto-argiloso e cascalho.	Planície fluvial	Localmente prospectivo para Au, diamante e ametista.
ALUVIÕES PLEISTOCÊNICAS	Qpa Terraços aluvionares constituídos de sedimentos arenosos e conglomeráticos, inconsolidados	Planície fluvial	Localmente prospectivo para ametista.
DETRITO-LATERÍTICAS	TQdl Cangas lateríticas, avermelhadas e sedimentos argilo-arenosos laterizados. Concreções limoníticas e magnésíferas.	Continental	Material para construção civil, notadamente em revestimento de estradas.
ROCHAS BÁSICO-ULTRABÁSICAS	PMs Serpentinitos e serpentinitos silicificados. Localmente ocorrem metaultrabásitos, clorititos, talco xistos e brechas silicosas. Diques básico-ultrabásicos e diabásio (db).	Plutônico	Cromita, talco e amianto.
FORMAÇÃO COUTO MAGALHÃES	PMtcf Filitos, ardósias, calcários (fl) e quartzitos (qt).	Marinho plaformal associado a miogeoclinal	Indícios (geoquímicos) de As, Cu, Zn, Ni, Co, Cr e Pb.

—	Contato	—	Estrada pavimentada
.....	Limite litológico	—	Estrada sem pavimentação, tráfego permanente
—	Falha	—	Caminho
●—●	Dique sem indicação de mergulho	—	Curso d'água perene
■	Cidade		

Fonte: Modificado de CPRM (1994).

Duas grandes unidades geomorfológicas destacam-se nessa região: a Depressão do Araguaia e a Planície do Bananal.

2.2 Climatologia Regional

As condições climáticas que predominam na bacia Araguaia-Tocantins são de natureza continental tropical, devido à sua posição no continente não sofre o efeito direto da confluência intertropical. Apresenta-se semiúmido com tendência a úmido, com quatro a cinco meses secos (AQUINO *et al.*, 2005, 2008, 2009).

Durante o ano há duas estações bem acentuadas: a chuvosa e a seca, com um mês de transição entre elas. O período mais chuvoso da bacia compreende os meses de outubro a abril e o mais seco os meses de julho a agosto. Na parte norte da bacia os meses de janeiro a março são os mais chuvosos, e nas partes central e sul a pluviosidade é maior entre dezembro e fevereiro (SGM-GO, 2006).

A distribuição espacial das chuvas é característica da zona do Cerrado, mostra que na região das nascentes a precipitação alcança 1.500 mm anuais. Na faixa correspondente ao médio curso do Araguaia as precipitações diminuem no sentido O-L, de 1.850 mm para 1.000 mm por ano. Na parte mais norte da bacia, entrando em ambiente de transição para a bacia Amazônica, as precipitações aumentam consideravelmente alcançando valores superiores a 2.000 mm (AQUINO *et al.*, 2005, 2008).

3 Referencial teórico

3.1 Fundamentos dos métodos geofísicos acústicos

As ferramentas geofísicas acústicas (sísmica, sonografia e ecobatimetria) se baseiam na propagação de ondas acústicas e constituem ferramentas importantes para o estudo do fundo subaquático. Através destas ferramentas é possível realizar o imageamento do fundo em diferentes perspectivas, com relativa facilidade e assim

permitindo a realização de levantamentos nas regiões mais profundas dos oceanos como também a investigação das camadas geológicas até alguns quilômetros abaixo do fundo (AYRES NETO, 2000).

Para a formação de padrões acústicos é preciso haver dois meios físicos com contrastes representativos (propriedades elásticas diferentes), isto é, impedâncias acústicas distintas, um produto entre a velocidade de propagação do som em um meio e a densidade desse meio. Corpos extremamente homogêneos não refletem as ondas acústicas, até que estas encontrem uma interface acústica (SOUZA, 2006).

A velocidade de propagação de ondas acústicas na coluna d'água varia conforme a temperatura, salinidade e pressão. Em águas salgadas rasas a velocidade da propagação varia entre 1.440 m/s e 1.520 m/s e atingem valores menores em águas doces rasas, ao redor de 1.430 m/s (TELFORDET *et al.*, 1976).

Essa velocidade de propagação em um meio qualquer é função de suas constantes elásticas como: módulo de Young (E), módulo de Poisson (n), módulo de rigidez ou cisalhamento (μ) e módulo de compressão ou volume (k). Estas constantes variam de acordo com o material e relacionam a quantidade de deformação sofrida por um material em função da força exercida sobre ele. No caso do rio está associado com alterações na densidade coluna d'água e a pressão mecânica exercida pelo deslocamento da energia acústica no meio. Estas mudanças são adiabáticas por se tratar de um meio líquido. As velocidades de propagação das ondas P (ondas longitudinais) e S (ondas transversais) são definidas pelas equações (UNESCO, 1983; SCHÖN, 1996):

$$V_P = \sqrt{\frac{\frac{4}{3}k + \mu}{\rho}} \quad (1) \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

onde: ρ é a densidade do meio em que a onda se propaga. $\mu = 0$, no meio líquido, com isso as ondas do tipo S não conseguem se propagar nesse meio.

Tao e Nabi-Bidhedi (1995) mostraram que a propagação de ondas P em sedimentos no meio líquido está ligada ao módulo de compressão do fluido intersticial.

Este fato é claramente observado ao compararmos a velocidade de propagação em um sedimento saturado com água e outro com gás, ambos com o mesmo conteúdo de sólidos. Devido ao módulo de compressão muito baixo do gás quando comparado ao da água, a sua presença, mesmo em pequenas proporções, domina o módulo de compressão final do sistema, reduzindo a velocidade de propagação das ondas acústicas nos sedimentos. A velocidade de ondas P pode variar entre 800 m/s em sedimentos superficiais saturados com gás e 4000 m/s em rochas sedimentares depositadas nas partes mais profundas de uma bacia (AYRES NETO, 2000).

O coeficiente de reflexão é a função do contraste de impedância acústica entre dois meios. Quanto maior for esse contraste, maior será a quantidade de energia refletida. Um material mais compacto, menos poroso e com um teor de água menor será mais denso e refletirá uma quantidade maior de energia. Enquanto um material poroso, saturado e com densidade menor, refletirá menos energia (AYRES NETO, 2000).

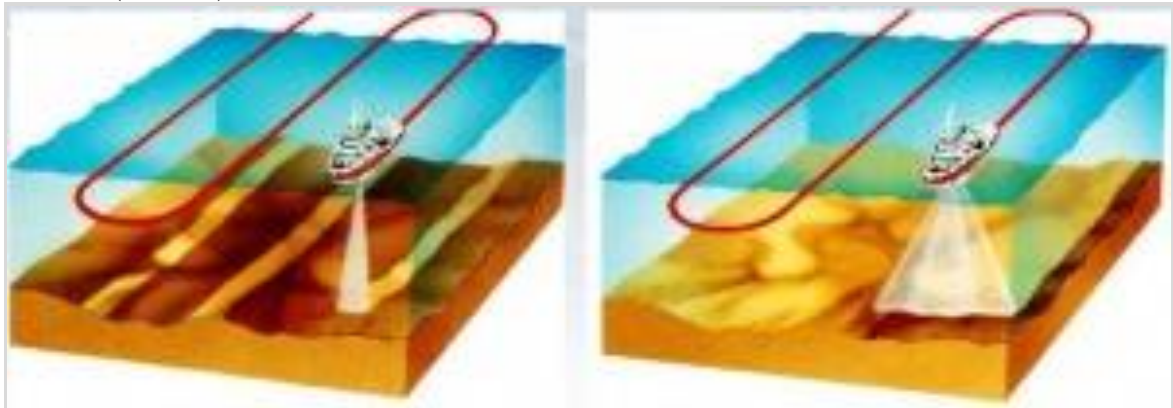
Basicamente, a utilização dos métodos geofísicos acústicos se dá a partir da emissão de pulsos sonoros por meio de fontes acústicas na superfície d'água ou a certa distância da superfície do fundo. Ao emitir esses pulsos sonoros, frentes de ondas se propagam através da coluna d'água e com a ocorrência de contrastes de impedância acústicas entre os meios, uma parte da energia das frentes de ondas é refletida na interface entre os meios e retorna à superfície enquanto a outra penetra nas camadas sedimentares retornando aos sensores (*hidrofonos*) subseqüentemente. Finalmente os sinais recebidos são conduzidos ao sistema de pré-processamento e armazenamento (SOUZA, 2006).

3.1.1 Ecobatimetria

A ecobatimetria constitui-se no primeiro e mais tradicional método acústico de investigação de áreas submersas (SOUZA, 2006). Baseia-se na emissão de sinais acústicos de alta frequência através de monofeixes ou multifeixes (Figura 4). Os principais objetivos deste método são determinar a profundidade da coluna d'água

com alta resolução e alta precisão, mapear a morfologia e calcular o gradiente do fundo. A frequência de operação deve estar de acordo com a profundidade do local do mapeamento (BLONDEL, 2009).

Figura 4 – Representações de sistemas batimétricos com ecobatímetro monofeixe (a esquerda) e multifeixe (a direita).



Fonte: GEOLEVEL.

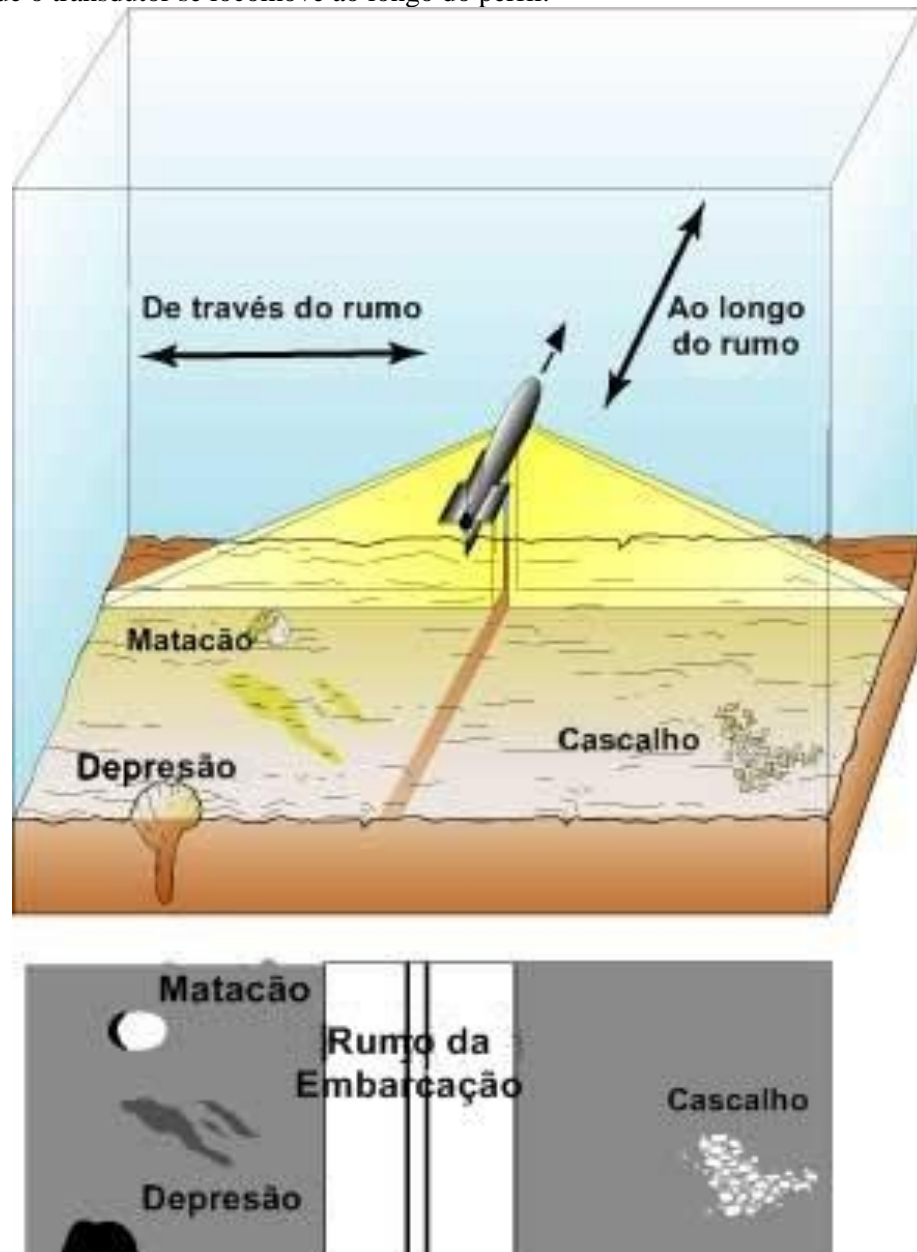
3.1.2 Sonografia

A sonografia é um método que muito tem contribuído para a efetiva caracterização morfológica e sedimentológica da superfície de fundo subaquático. As imagens sonográficas revelam feições expressivas do relevo e a variação da distribuição superficial dos sedimentos, e identificam estruturas naturais e antrópicas. Em áreas que apresentam formas de fundo (*bed forms*), como *sand waves* e *mega ripples*, pode fornecer ainda informações sobre a ação de correntes marinhas sobre estes sedimentos. Os registros sonográficos são capazes de mostrar também a presença de objetos sobre o fundo, por exemplo, navios naufragados e estruturas de produção *offshore*. Adicionalmente, nos permite uma fácil e alta taxa de aquisição dos dados em um curto período de tempo e a capacidade de armazenamento dos mesmos (AYRES NETO, 2000).

O sistema de SVL permite a construção de imagens da superfície do fundo subaquático a partir das varreduras (*scans*) laterais, ilustrada na figura 5. Isso é possível a partir da atuação de dois transdutores submersos, que apontam para as laterais da superfície do fundo em relação ao rumo da navegação. Os feixes emitidos

pelo SVL são bastante estreitos na direção paralela à navegação, raramente ultrapassando 2°, e largos na direção perpendicular à rota de navegação, comumente da ordem de 40 a 50°. Dependendo da escala do levantamento e do nível de resolução que se pretende no estudo, existe a possibilidade de se trabalhar com altas frequências, entre 100 e 500 kHz para mapeamentos de áreas rasas, e baixas frequências, entre 8 e 20 kHz em equipamentos *shallow-tow* para mapeamentos de larga escala em áreas profundas (BLONDEL, 2009).

Figura 5 – Ilustração mostrando como é construída a “imagem acústica” do sonar de varredura lateral à medida que o transdutor se locomove ao longo do perfil.



Fonte: Modificado de USGS, U.S. Geological Survey.

São basicamente dois os mecanismos primários que controlam o sinal que retorna ao transdutor: contraste de impedância entre o fundo e a água, e a textura do fundo. A intensidade da reflexão está relacionada com o sinal que atinge a superfície do fundo e retorna diretamente ao transdutor. Já o espalhamento está relacionado com a interação entre a energia do sinal e a textura do material da superfície do fundo (DAMUTH, 1975).

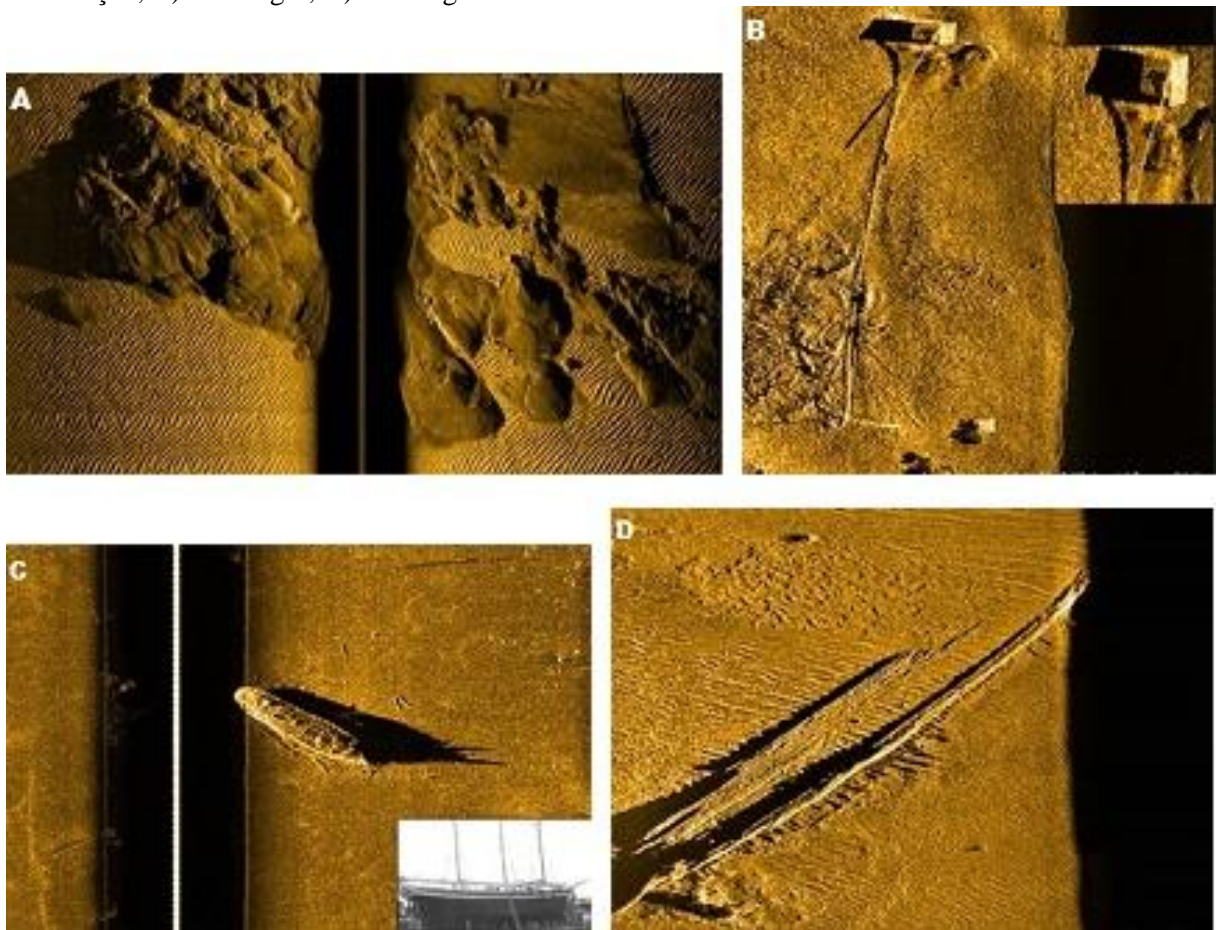
Os mesmos transdutores de emissão do sinal acústico são também responsáveis pela recepção do sinal e atuam independentemente um do outro. Os transdutores, constituídos por conjuntos de pastilhas piezelétricas, formam a parte principal do sistema, já que são esses os responsáveis pela conversão da energia elétrica original em energia mecânica (vibrações) que irá se propagar na coluna d'água, e vice-versa, quando no retorno do sinal, na forma de energia mecânica, ao transdutor após refletir na superfície de fundo (SOUZA, 2006).

No mapeamento geológico básico, quando o objetivo é a identificação de estruturas sedimentares, lineamentos, falhas, contatos geológicos, entre outras feições geológicas na superfície do fundo, o SVL em conjunto com a ecobatimetria formam uma poderosa ferramenta de investigação (SOUZA, 2006).

3.1.2.1 Imagem Sonográfica

A imagem sonográfica ("imagem acústica") é formada pelo eco do sinal acústico emitido que retorna ao equipamento com intensidades distintas de acordo com uma série de fatores, exemplificado na figura 6. Os principais são o tipo de sedimento do fundo, o ângulo de incidência, a micromorfologia do fundo e a atenuação das ondas acústicas (BLONDEL; MURTON, 1997).

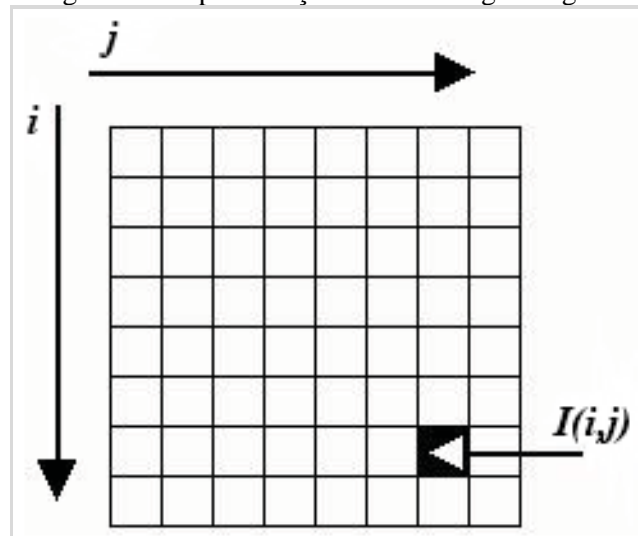
Figura 6 – Exemplos de imagens sonográficas. A) Afloramento rochoso e *sand waves*; B) Boia de sinalização; C) Naufrágio; D) Naufrágio: escuna a carvão.



Fonte: L-3 Klein Associates.

Essa imagem sonográfica é uma função bidimensional (x, y) que consiste em y linhas e x colunas. Sua resolução é representada como $X \cdot Y$, onde $f(0,0)$ encontra-se no canto superior esquerdo da imagem e $f(X - 1, Y - 1)$ no canto inferior direito (SINGH; RAO, 2005). Sua representação em forma digital (imagem digital) é como uma matriz de elementos $M \cdot N$ (Figura 7), onde cada coordenada distinta é um elemento da imagem digital, chamado de píxel $I(i, j)$ e cada um tem um valor digital (nível de cinza) entre 0 e 255 representando a intensidade do brilho dentro da imagem (FAZANO, 2005; LEAL 2006). Para o armazenamento da informação do nível de cinza de cada píxel geralmente é utilizado 1 *byte* (8 *bits*), possibilitando armazenar até 256 níveis de cinza diferentes, onde normalmente 0 corresponde ao mais escuro (preto) e 255 mais claro (branco). O número de *bits* define a resolução da imagem. (GONZALEZ; WOODS, 1992; LEAL, 2006).

Figura 7 – Representação de uma imagem digital.



Fonte: Leal (2006).

Os níveis de cinza são interpretados qualitativamente através da análise de seus contrastes texturais. Essa interpretação permite o reconhecimento de características da superfície do fundo (contatos entre diferentes materiais, relevo, etc.), tendo como base os padrões texturais observados nas imagens sonográficas, a geometria das feições identificadas e a refletividade acústica da superfície do fundo (GOLF *et al.*, 2000; WEVER *et al.*, 1997).

Uma desvantagem deste tipo de interpretação é que em muitas situações ocorre uma mudança gradual na geologia, não sendo possível delimitar com exatidão seus limites texturais. Hoje em dia existe um aumento no uso da interpretação quantitativa dos dados de SVL para extração de informações mais específicas das propriedades do fundo, tais como: tamanho médio do grão, teor de M.O. e CaCO_3 , litologia, forma dos grãos e porosidade. Estes parâmetros são particularmente importantes para obras costeiras e estudos ambientais em águas rasas (COLLIER; BROWN, 2005).

O princípio da interpretação quantitativa consiste em uma avaliação estatística da frequência dos níveis de cinza dos pixels de uma imagem sonográfica, permitindo avaliar a complexidade do fundo. Quanto a correlação dos níveis de cinza com a textura dos sedimentos e com os padrões sonográficos, percebe-se que amostras com granulometria mais grossas apresentam uma escala mais expansiva de níveis de cinza, conseqüentemente um padrão mais refletivo (escuro) do que amostras com texturas

menos grossas, onde o padrão é menos refletivo (claro) (COLLIER; BROWN, 2005).

O processo de seleção automática é obtido empregando o método Máquina de Vetores de Suporte (*Support Vector Machine* (SVM)) treinado a partir das características extraídas das imagens. Existem programas, por exemplo: SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) e InterIMAGE (Interpretando Imagens Livrementemente (*Interpreting Images Freely*)), que possibilitam a classificação digital dos píxeis permitindo uma análise quantitativa dos padrões sonográficos através de rotinas escolhidas para a execução das mais variadas tarefas como: transformações binárias para a separação dos objetos; controle automático de níveis de cinza que asseguram a inserção de cor em um *bit plane*; configuração e contraste das imagens coletadas por meio de sistemas de filtros e medições lineares além de visualização tridimensional (FAZANO, 2005).

3.2 Visão geral de técnicas de processamento de imagem para a classificação dos padrões sonográficos

As técnicas de análise estatísticas são utilizadas para determinar a caracterização física das imagens. A extração de características é o processo de geração de alguma propriedade quantificável para permitir a classificação. Essas características podem ser classificadas em três tipos: cor, forma e textura (KEBAPCI *et al.*, 2010). A característica de Cor é extraída por histograma cor ou matriz de co-ocorrência cor. O histograma de cor pode ser avaliado através de três diferentes espaços de cores: RGB, RGB normalizado e HIS espaços de cores. Por outro lado, a matriz de co-ocorrência cor pode ser calculada usando os quatro ou oito píxeis vizinhos presentes na imagem (CHANG; KRUMM, 1999). A característica Forma é extraída usando dois métodos: região-base e o contorno-base. O método região-base utiliza toda a área da partícula para a descrição da forma, enquanto o método contorno-base detecta a informação presente no contorno da partícula (ZHANG; LU, 2003). O terceiro tipo de extração usa a Textura como característica que por sua vez é dividida em: estrutural, estatística, modelo-base e transformação-base (TUCERYAN; JAIN,

1998). Os métodos estatísticos medem a interação espacial dos píxeis da imagem e são classificados de acordo com a quantidade que define as características locais, como as estatísticas de primeira ordem, segunda ordem e o de ordem superior (ALBREGTSEN, 2008). O método baseado em histograma segue a estatística de primeira ordem e é amplamente utilizado para a extração de parâmetros, uma vez que são métodos rápidos e simples (KONG, 2009). No entanto, o histograma não considera a relação do pixel de referência com os píxeis vizinhos, o que limita o seu desempenho. O Método Matriz de Co-ocorrência dos Níveis de Cinza (*Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM)), seguindo as estatísticas de segunda ordem determina a relação espacial entre os píxeis, calculando a diferença de níveis de cinza entre o pixel referência e os seus vizinhos (HARALICK *et al.*, 1973). Outros métodos disponíveis que permite classificar os níveis de cinza são: Método Comprimento de Corrida dos Níveis de Cinza (*Gray Level Run Length Method* (GLRLM)), Matriz de Diferença dos Níveis de Cinza (*Gray Level Difference Matrix* (GLDM)) e o Método de Espectro de Potência (*Power Spectrum Method* (PSM)). Os métodos baseados em GLCM superaram os outros métodos de segmentação convencionais em diversas aplicações, tais como a classificação do terreno e análise de imagem médica (CHANDRARATNE, 2006; MUSTAFA *et al.*, 2010) devido, principalmente, à utilização da estatística de segunda ordem.

3.3 Métodos estatísticos para a análise textural das imagens sonográficas

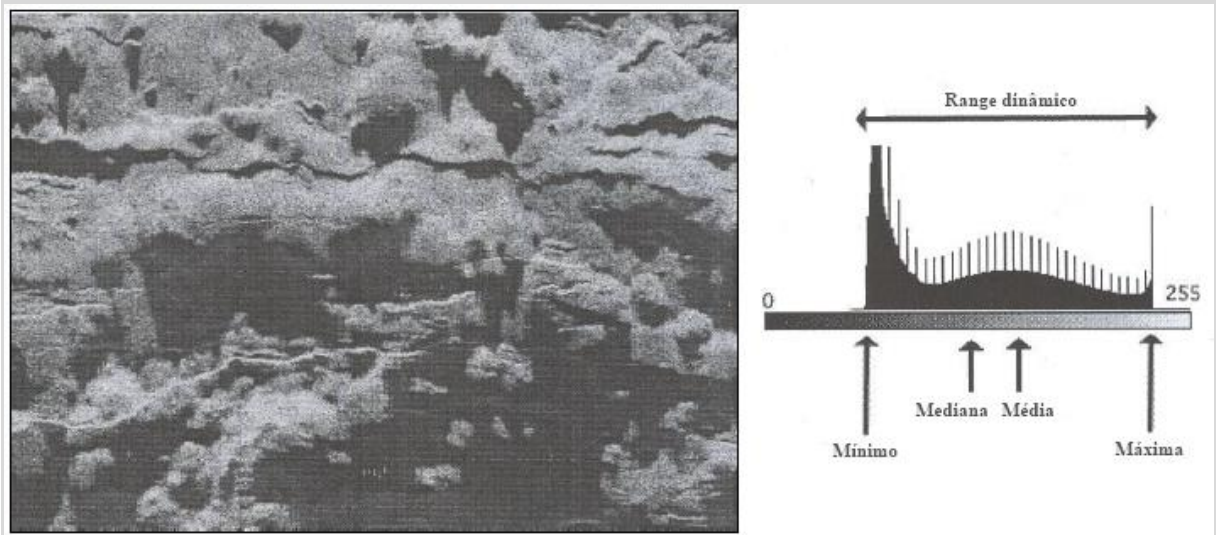
3.3.1 Primeira ordem

O método de primeira ordem avalia as propriedades dos píxeis individualmente e ignora a sua interação espacial, sua análise estatística é realizada através do estudo do histograma da imagem, uma representação gráfica da distribuição dos píxeis (SHARMA *et al.*, 2008).

O histograma é composto de colunas (retângulos) que transportam dados previamente tabulados e divididos em classes uniformes. Os píxeis com os mesmos

níveis de cinza são agrupados e a soma é atribuída à respectiva classe, neste caso, uma das 256 (KUNTTU *et al.*, 2003). É possível computar características locais da textura tais como: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão, variâncias, assim como também o range dinâmico, o contraste e a frequência de ocorrência dos níveis de cinza (Figura 8). Esta é uma ferramenta visual amplamente aceita e útil para o estudo das imagens sonográficas. Com um simples olhar podem dar uma ideia muito aproximada da distribuição dos níveis de cinza, o contraste na imagem e uma pista para manipular o método mais adequado. (CORZO MOYA, 2014).

Figura 8 – Exemplo de um histograma calculado a partir da imagem sonográfica ao lado, que extraiu alguns parâmetros estatísticos como: frequência de ocorrência dos níveis de cinza, mínimo, máximo, mediana, média e range dinâmico.



Fonte: (exemplo de aula)¹.

O histograma de uma imagem sonográfica com níveis de cinza no intervalo de $[0, G - 1]$, é uma função discreta, dada pela:

$$H(r_k) = \frac{n_k}{N} \quad (3)$$

¹ Exemplo fornecido por Arthur Ayres Neto na disciplina Geoacústica Submarina, no programa de pós-graduação em dinâmica dos oceanos e da terra – dot, em setembro de 2015.

onde: r_k é a intensidade do nível de cinza de ordem $k = 0, 1, 2, 3, \dots, G - 1$; n_k é o número de píxeis na imagem sonográfica com a intensidade r_k e N é o número total de píxeis na imagem sonográfica (CORZO MOYA, 2014; KUNTTU *et al.*, 2003).

No entanto esse método somente não serve para o estudo de classificação de texturas, pois apresenta limitações e resultados contraditórios. De modo a elucidar essas limitações, considere duas imagens diferentes com uma matriz 4·4 com oito níveis de cinza (Fig. 9). No histograma obtido a partir destas imagens é evidente que, embora as imagens tenham texturas diferentes, os histogramas avaliados são o mesmo; produzindo assim resultados contraditórios durante a classificação com base nesse método (TIRUMAZHISAI, 2012).

Figura 9 – Comparação de duas imagens com texturas diferentes representadas por matrizes 4·4 com oito níveis de cinza (a e c). Nota-se que suas texturas são diferentes devido à distribuição dos píxeis, no entanto seus histogramas são iguais (b e d).

7	5	0	0
4	2	6	0
1	1	2	7
0	4	6	5

(a)

Níveis de cinza	0	1	2	3	4	5	6	7
Total de píxeis	4	2	2	0	2	2	2	2

(b)

0	6	1	1
2	0	5	4
7	0	2	6
0	7	4	5

(c)

Níveis de cinza	0	1	2	3	4	5	6	7
Total de píxeis	4	2	2	0	2	2	2	2

(d)

Fonte: Modificado de Tirumazhisai (2012).

No caso da imagem sonográfica as características importantes extraídas através do histograma são a frequência de ocorrência relativa dos níveis de cinza e seus limites (mínimo e máximo), com esses últimos pode-se calcular seu range dinâmico e seu contraste (BLONDEL, 2009):

Range Dinâmico

$$D = I_{max} - I_{min} \quad (4)$$

Contraste:

Mede a diferença entre o valor máximo e mínimo de um conjunto contíguo de píxeis. O contraste proporciona valores elevados quando há grandes diferenças entre os níveis de cinza. Se todos os valores fossem iguais o contraste da imagem seria igual a zero (LEAL, 2006).

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (5)$$

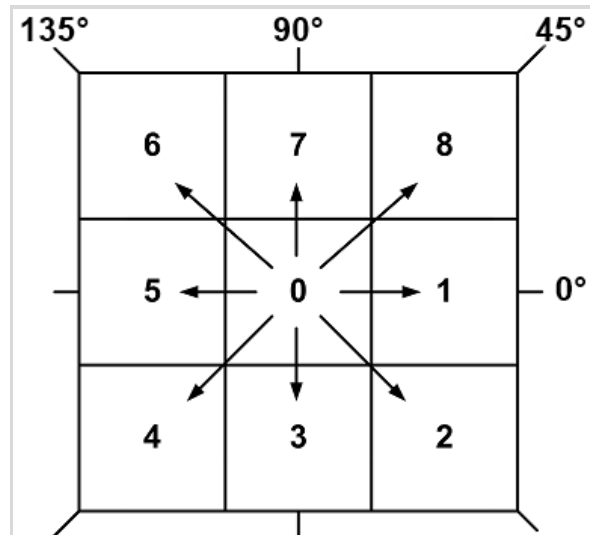
3.3.2 Segunda ordem

Quando o método de primeira ordem não é suficiente para a análise textural de uma imagem sonográfica, o método de segunda ordem é utilizado porque permite uma melhor discriminação das texturas (CORZO MOYA, 2014). Esse método estima as propriedades do pixel de referência com relação aos píxeis vizinhos, sua análise estatística é realizada através do estudo da GLCM (SHARMA *et al.*, 2008).

A GLCM é o método de calcular a frequência de pares de píxeis que possuem o mesmo nível de cinza na imagem sonográfica. A relação entre o pixel de referência e os píxeis vizinhos é calculado para determinar as características de textura (SONKA *et al.*, 1999). Na figura 10, as células de resolução 1 e 5 são 0° vizinhos mais próximos para a célula 0. Da mesma forma, as células de resolução 4 e 8, 3 e 7, 2 e 6 são

respectivamente 45° , 90° e 135° vizinhos mais próximos para a célula 0 (HARALICK, 1973).

Figura 10 – Células de resolução e sua relação com píxeis vizinhos em vários ângulos. As células de resolução 1 e 5, 4 e 8, 3 e 7, 2 e 6 são respectivamente 0° , 45° , 90° e 135° vizinhos mais próximos para a células 0.



Fonte: Modificado de Haralick (1973).

Para ilustrar o cálculo da GLCM é demonstrada uma matriz que representa uma imagem sonográfica com três níveis de cinza: 0, 1 e 2 (Figura 11).

Figura 11 – Matriz 5·5 que representa uma imagem sonográfica com três níveis de cinza: 0, 1 e 2.

		<i>j</i>				
		0	1	2	3	4
<i>i</i>	0	0	1	1	2	2
	1	0	1	1	2	2
	2	0	1	1	2	2
	3	0	1	1	2	2
	4	0	1	1	2	2

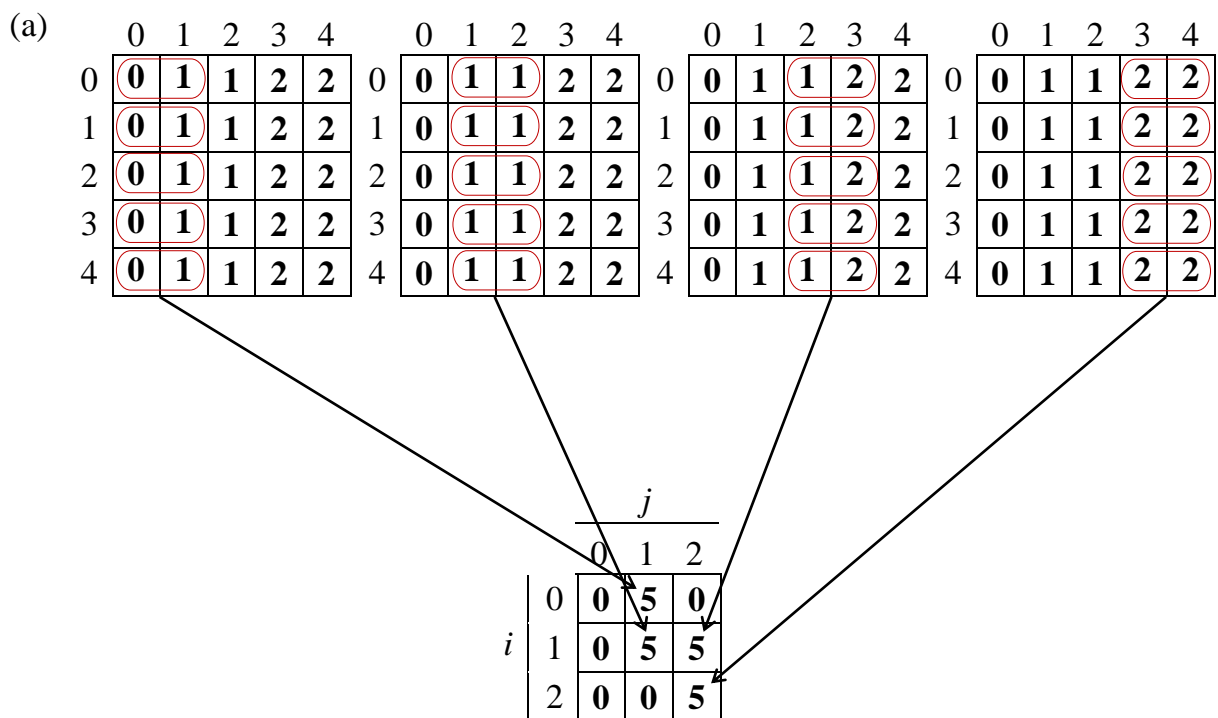
Fonte: Corzo Moya (2014).

Uma vez que as texturas envolvidas nas imagens sonográficas são microtexturas a distância $d = 1$ é escolhida para extrair as informações detalhadamente. Além disso, os píxeis são mais susceptíveis de se correlacionarem com os que estão mais próximos,

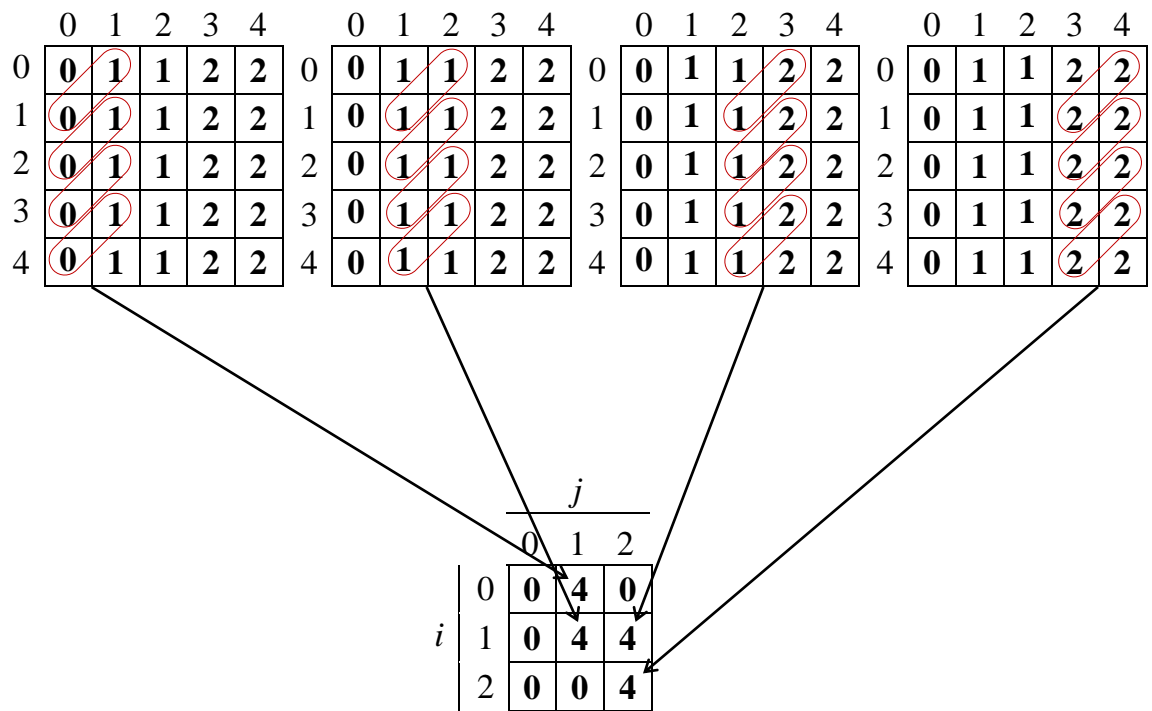
isto é, com valor menor de d do que com os píxeis que estão mais afastados (TIRUMAZHISAI, 2012). A GLCM resultante para cada uma das direções θ é uma matriz 3-3 (Figura 12) devido a imagem e/ou matriz analisada ter três níveis de cinza (CORZO MOYA, 2014).

A matriz de co-ocorrência é formada pela avaliação da contagem de pares de píxeis com níveis de cinza i , ocorrendo adjacência ao pixel com nível de cinza j , uma matriz bidimensional (GADHKARI, 2004). As frequências relativas de pares de píxeis de níveis de cinza separadas por uma distância d em uma direção θ forma o vetor deslocamento (d, θ) . Como pode ser visto na figura 12 (a), o pixel da GLCM $(0, 0 | 1, 0^\circ)$ está presente na matriz original cinco vezes. Enquanto, o pixel da GLCM $(0, 2 | 1, 0^\circ)$ seu valor é 0 devido aos píxeis com nível $i = 0$ e $j = 2$ não ocorrerem de forma adjacente à uma distância $d = 1$ na direção $\theta = 0^\circ$.

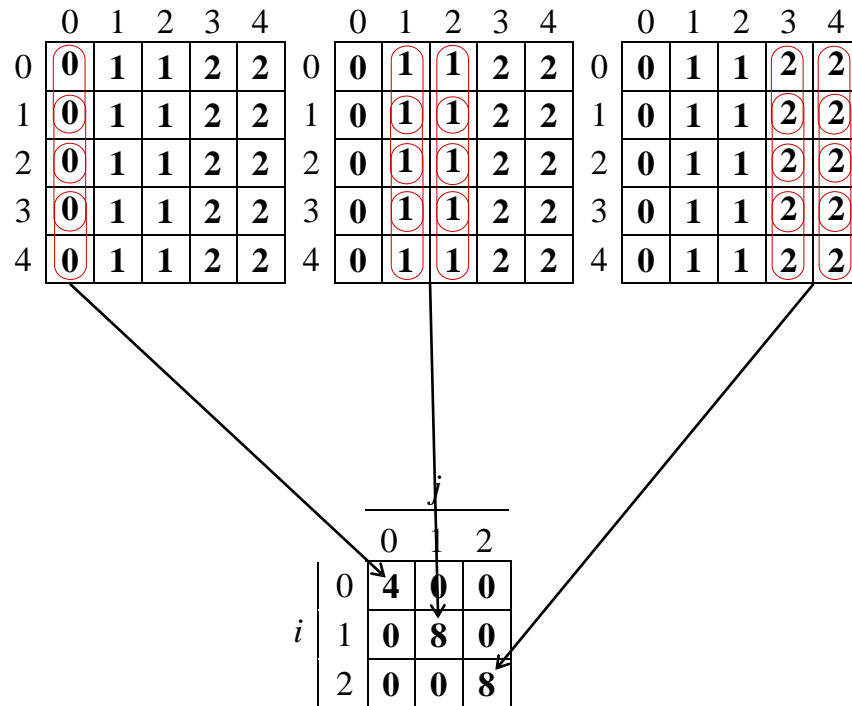
Figura 12 – Cálculo das GLCMs derivadas da matriz da figura 11: (a) $d = 1$ e $\theta = 0^\circ$, (b) $d = 1$ e $\theta = 45^\circ$, (c) $d = 1$ e $\theta = 90^\circ$ e (d) $d = 1$ e $\theta = 135^\circ$.

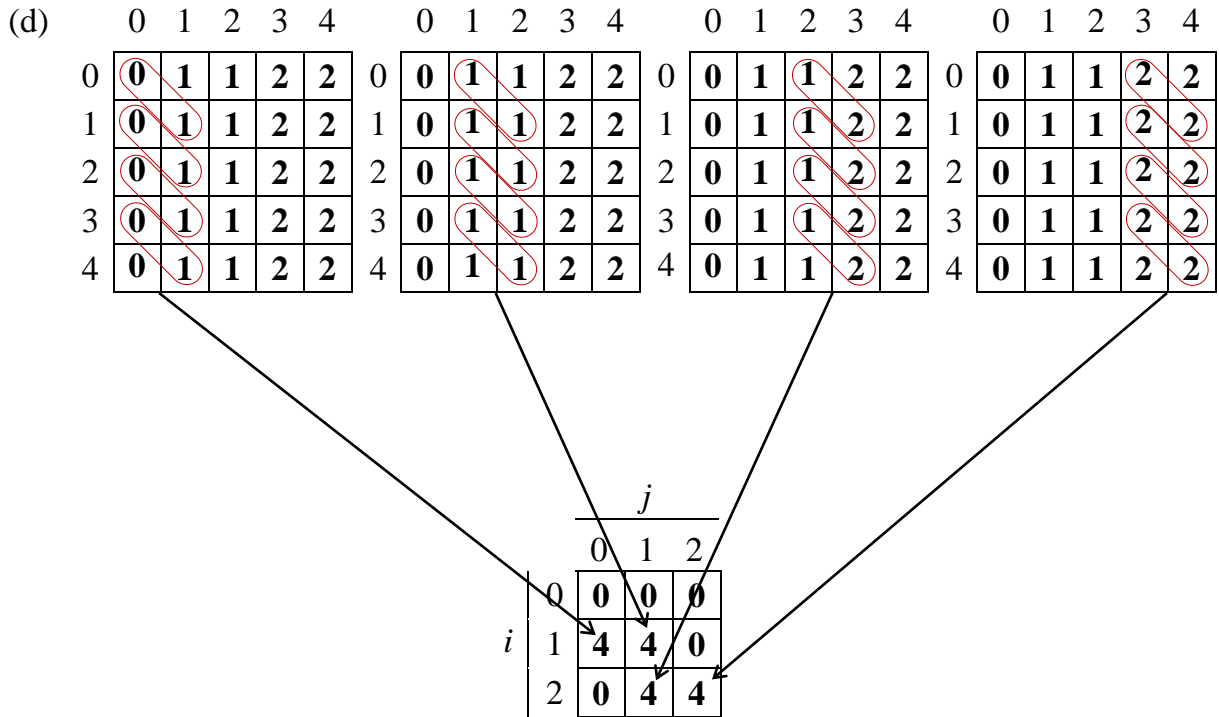


(b)



(c)





Fonte: Corzo Moya (2014).

Para as outras direções o procedimento do cálculo da GLCM é o mesmo (Figura 12 (b, c e d)). Uma vez calculadas as GLCMs para as quatro direções elas são somadas resultando em uma única GLCM (Figura 13).

Figura 13 – GLCM resultante da soma das GLCMs calculadas a partir da matriz da figura 11.

		j		
		0	1	2
i	0	4	9	0
	1	4	21	9
	2	0	4	21

Fonte: Corzo Moya (2014).

Existem relações simples entre certos pares das distribuições de frequências estimadas $P(d, \theta)$. Seja $P^t(d, \theta)$ a transposição da matriz $P(d, \theta)$. Então:

$$P(d, 0^\circ) = P^t(d, 180^\circ)$$

$$P(d, 45^\circ) = P^t(d, 225^\circ)$$

$$P(d, 90^\circ) = P'(d, 270^\circ)$$

$$P(d, 135^\circ) = P'(d, 315^\circ)$$

Assim, o conhecimento de $P(d, 180^\circ)$, $P(d, 225^\circ)$, $P(d, 270^\circ)$ e $P(d, 315^\circ)$ não acrescenta em nada à especificação da textura (ALBREGTSEN *et al.*, 2008).

A dependência espacial dos níveis de cinza pode ser quantificada através do cálculo das 14 características de textura da matriz de co-ocorrência construídos por Haralick (1973). Entretanto, Blondel *et al.* (1998) mencionou, depois de uma avaliação detalhada das propriedades proposta por Haralick, que só duas delas têm boa correlação na análise das imagens sonográficas, e estas são a Homogeneidade e a Entropia. No trabalho de Haralick, a Homogeneidade é definida como o Momento Angular Secundário (*Angular Second Moment* (ASM)), mas em outras literaturas, como nos trabalhos de Tirumazhisai (2012) e Leal (2006), pode ser visto também como Energia.

Head (2004) fez a correlação da Entropia com o Momento da Diferença Inversa (*Inverse Difference Moment* (IDM)), também conhecida como Homogeneidade ou Homogeneidade Local em algumas literaturas, como no trabalho de Albregtsen (2008).

As propriedades mencionadas acima são descritas pelas equações abaixo tomadas de Albregtsen (2008), onde $P(i, j)$ é igual a frequência de ocorrência de um pixel relacionado aos seus vizinhos determinada pela GLCM (i, j) e G é igual aos níveis de cinza.

Momento Angular Secundário (ASM):

O ASM ou Energia é definido através da medição da suavidade da textura da imagem sonográfica, isto é, mede a ocorrência de pares de píxeis repetidos.

$$ASM = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \{P(i, j)\}^2 \quad (6)$$

Quando uma imagem sonográfica é homogênea, apresenta apenas alguns níveis de píxeis de modo que a GLCM tem poucos valores em sua diagonal, mas eles são altos e por sua vez os valores de ASM também são. O ASM é menor quando a imagem é não homogênea. Esse cálculo tende a não extrapolar os valores máximos e mínimos.

Momento da Diferença Inversa (IDM):

A medição do IDM, também é influenciada pela homogeneidade textural:

$$IDM = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{1}{1 + (i-j)^2} P(i,j) \quad (7)$$

A medição do IDM é menor quando a transição dos níveis de cinza da imagem sonográfica não é suave (homogênea). Esta condição é dominada pelo fator $(1 + (i-j)^2)^{-1}$, de modo que em imagens mais homogêneas a diferença dos níveis de cinza $i - j$ tende ser mínima contribuindo para valores mais altos IDM.

Uma imagem sonográfica homogênea tem poucos níveis de cinza e pequenas transições dominantes entre eles. A homogeneidade é diretamente proporcional às semelhanças locais dentro da área analisada. Assim, imagens que têm valores de ASM e IDM altos são mais homogêneas.

Entropia:

A Entropia mede a aleatoriedade dos níveis de cinza na imagem sonográfica, tendendo ser mais elevada quando os níveis de cinza mostram heterogeneidades, menos elevada quando são mais semelhantes e atingindo o seu valor mínimo quando eles são iguais (homogeneidade).

$$ENTROPIA = - \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i,j) \times \log(P(i,j)) \quad (8)$$

Quando os níveis de cinza apresentam uma boa distribuição espacial os valores de entropia são baixos. Nas imagens sonográficas os padrões sonográficos mostram baixas entropias. Estes valores aumentam à medida que o fundo vai tornando-se mais contrastante, apresentando rugosidade e/ou estruturas mais complexas, heterogeneidades.

A tabela 1 apresenta a relação entre as texturas, GLCM e as propriedades extraídas, Homogeneidade (ASM e IDM) e Entropia.

Tabela 1 – Relação entre a GLCM e as propriedades de Homogeneidade e Entropia segundo as características texturais.

Características texturais	Texturas homogêneas	Texturas heterogêneas
GLCM	poucos valores na diagonal / altos	valores aleatórios
ASM	altos	baixos
IDM	altos	baixos
ENTROPIA	baixos	altos

Fonte: Corzo Moya, 2014

4 Objetivos

4.1 Objetivo geral

Analisar qualitativamente e quantitativamente imagens sonográficas, através de técnicas de processamento digital de imagens, validadas pela parametrização com amostras de sedimentos fluviais.

4.2 Objetivos específicos

- Parametrização da imagem sonográfica com os resultados das análises;

- Identificação de padrões de sonográficos e ecotexturais;
- Verificação da eficiência do método de classificação digital de imagens;
- Estabelecimento de uma rotina para a classificação de imagens sonográficas do fundo fluvial;
- Parametrização da classificação digital através das características granulométricas e de composição dos sedimentos obtidos por amostragem na área de estudo;

5 Materiais e métodos

5.1 Caracterização do mapeamento

No levantamento de campo, realizado anteriormente, o objetivo foi contribuir no processo de estabelecimento de metodologias sustentáveis de investigação para a caracterização das principais propriedades físicas dos sedimentos do fundo do rio Araguaia sob o ponto de vista da sua navegabilidade, bem como, contribuir para o planejamento e gestão ambiental da hidrovia Araguaia, no caso da necessidade de execução de pequenas obras fluviais.

Sua execução ocorreu no médio curso Araguaia, entre os municípios Conceição de Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO, no período de 6 a 14 de março de 2009, estação chuvosa e considerada como época de cheia do rio Araguaia.

Os dados foram georreferenciados com um sistema de posicionamento global (*global positioning system* (GPS)) por satélite, ao sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM), ao DATUM WGS-84 e Zona 22 S.

De modo a completar o fluxo fluvial foram traçadas três seções compostas por, no mínimo, quatro transectos (seções transversais), com a utilização do equipamento perfilador de profundidade doppler acústico (*acoustic doppler current profiler* (ADCP)). Esse procedimento foi adotado de forma a garantir a possibilidade de comparação entre a dinâmica e a geomorfologia do canal, temporal e espacialmente. A escolha das seções foi feita considerando a profundidade do canal, com valores

suficientes para medidas confiáveis de uma margem a outra e onde era possível chegar a uma distância relativamente pequena da margem, sem conferir perigo para a integridade do instrumento e confiabilidade dos dados coletados. As medições foram realizadas segundo metodologia descrita em ASA (2009). A tabela 2 apresenta as seções em que foram realizadas as medidas e amostragens bem como os respectivos dados de localização (coordenadas UTM) e características.

Tabela 2 – Localização e características das seções levantadas entre os municípios Conceição de Araguaia - PA e Couto Magalhães - TO. Coordenadas em UTM.

Seções	Coordenadas em UTM (m)				Ph	Temperatura (°C)	Largura da seção (m)
	Margem Esquerda		Margem Direita				
	X	Y	X	Y			
CA-01	691681,70	9085083,40	693145,10	9084464,30	5	29,3	1.600
CA-02	689701,90	9077602,00	691351,20	9077656,80	5	28,9	1.660
CA-03	694651,20	9092388,10	696321,00	9091763,20	5	30,2	1.700

Fonte: IPT (2012).

Para a amostragem de sedimentos da superfície do fundo fluvial foram selecionados três pontos de coleta (Tabela 3), um ao longo de cada seção, dois a jusante (CA-01 e CA-03) e um a montante (CA-02) de Conceição de Araguaia. Tendo como critérios de escolha: a tentativa de recobrimento do canal principal do rio; escolha de um trecho reto do rio, com margens altas e declividades moderadas; leito firme e uniforme para facilitar a coleta das amostras dos sedimentos em suspensão; condições de navegabilidade que permitissem a demarcação exata dos perfis de coleta, principalmente na estação chuvosa.

Tabela 3 – Localização dos pontos das amostras de sedimentos superficiais do fundo fluvial, definido como uma localização média da seção. Coordenadas em UTM.

Seções	Coordenadas em UTM (m)	
	X	Y
CA-01	692413,40	9084773,85
CA-02	690526,55	9077629,40
CA-03	695486,10	9092075,65

Fonte: IPT (2012).

A quantidade de quatro transectos é o mínimo para uma medida confiável de vazão, sendo que sua variação em cada um deve estar abaixo de 5% da vazão média calculada com base em todos os transectos.

A malha amostral dos dados batimétricos cobriu uma extensão total de aproximadamente 17 km, sendo composta por 119 transectos espaçados, em média, 200 m um do outro. Também foi feito um levantamento batimétrico longitudinal e transversal juntamente à seção dos perfis longitudinais, para a verificação da morfologia da superfície do fundo fluvial.

Os dados de vazão, velocidade do fluxo e batimétricos foram coletados através de um programa fornecido pelo fabricante do equipamento chamado *WinRiver II*. Utilizado para programar o instrumento, monitorar a operação e coletar e armazenar todos os dados. Os dados foram armazenados em arquivos .PDO e exportados para um formato Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações (*American Standard Code for Information Interchange* (.ASCII)) para pré-processamento, de modo a eliminar os dados espúrios.

Para a coleta dos dados sonográficos foi utilizado o programa *SonarPro* fornecido pelo fabricante do equipamento. Possibilitando a obtenção de imagens sonográficas (*screen dumps*), gravação dos arquivos em formato Arquivo de Dados Espaciais (*Spatial Data File* (.SDF)) e *eXtended Triton Format* (.XTF) e correção do georreferenciamento. Nos dados brutos foram aplicadas seguintes correções: i) correção da distância entre o peixe do SVL e a antena do GPS (*layback*); ii) correção de altitude do peixe e iii) correção nas variações no aproamento do peixe (*pitch, roll e heading*).

Segue uma breve descrição dos equipamentos e metodologia utilizada para o levantamento dos dados físicos (vazão e velocidade do fluxo), geofísicos (ecobatimetria e sonografia) e amostragem geológica que foram realizados em março de 2009 e utilizados no presente trabalho.

Os equipamentos foram instalados em suportes e estes presos a uma embarcação. Quando instalados, os equipamentos são conectados por cabos a uma

fonte de energia e a um computador portátil. O computador é utilizado para programar o instrumento, monitorar a operação, coletar e armazenar os dados.

Todos os dados geofísicos e geológicos foram georreferenciados com sistema de posicionamento GPS por satélite em tempo real.

O levantamento dos dados físicos e da ecobatimetria foi realizado com um ADCP, modelo *Workhorse Sentinel* fabricado pela *Teledyne RD Instruments* (Figura 14).

Os principais componentes externos de um ADCP são o conjunto de transdutores e uma caixa estanque. O conjunto é composto por quatro transdutores que operam em uma frequência fixa, geralmente de 300, 600 (ecobatimetria), ou 1.200 kHz (vazão e velocidade do fluxo). São espaçados em 90° e todos tem o mesmo ângulo de inclinação em relação a vertical, conhecido como ângulo do feixe (*beam angle*), com valores típicos de 20° ou 30°. A caixa estanque é acoplada ao conjunto de transdutores e contém todos os componentes eletrônicos do equipamento.

Figura 14 – Perfilador de profundidade doppler acústico (ADCP) modelo *Workhorse Sentinel*, da *Teledyne RD Instruments*.



Fonte: *Teledyne RD Instruments*.

Para o imageamento da superfície do fundo fluvial, foi utilizado o *Klein System 3.000* fabricado pela *L-3 Klein Associates* (Figura 15). Este sistema é composto de um transdutor/receptor rebocado na popa da embarcação (peixe (*towfish*)), que emite feixes laterais de ondas acústicas. Operam em frequências de 100 e 500 kHz, o que

possibilita a aquisição de dados não só com grande alcance lateral, mas também com grande resolução, quando se trata de distâncias inferiores a 150 m.

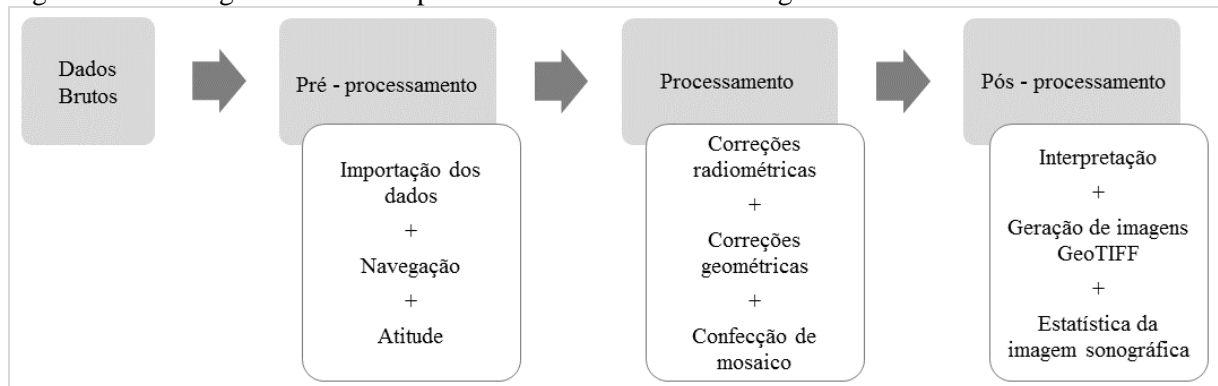
Figura 15 – Sonar de varredura lateral modelo *Klein System 3.000, Towfish*, da L-3 *Klein Associates*.



Fonte: L-3 *Klein Associates*.

O processamento dos dados de SVL foi realizado no programa *SonarWiz 5* desenvolvido pela *Chesapeake technology Inc.*, usando uma sequência básica de processamento (Figura 16), pois o objetivo era manipular os dados o mínimo possível.

Figura 16 – Fluxograma básico de processamento dos dados sonográficos.



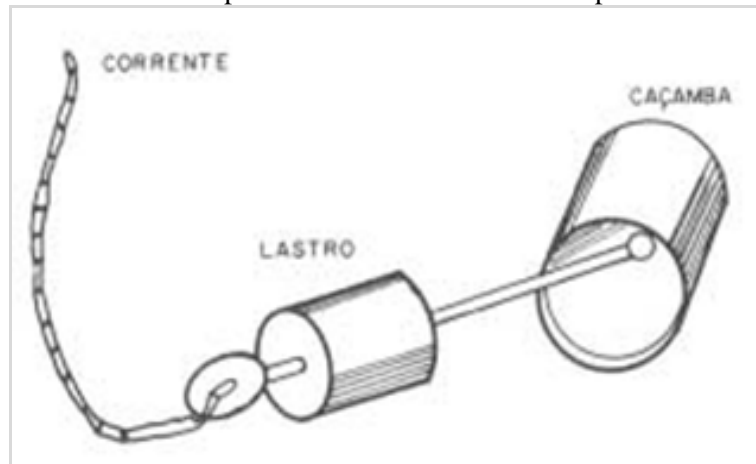
Fonte: Produção da própria autora.

O amostrador do tipo raspagem, *Rock-Island* (Figura 17), foi usado para coletar sedimentos superficiais de fundo fluvial, de penetração horizontal, do tipo caçamba de dragagem, consiste em um cilindro fechado numa extremidade e com haste presa no fundo com liberdade de movimento. A haste tem lastro cilíndrico que obriga a caçamba de remoção a ficar horizontal, coletando uma camada de quase 5 cm de

amostra sedimentar. É melhor operado manualmente, pesa cerca de 7 kg e tem comprimento de 55 cm.

As coletas foram feitas na seção transversal nas margens e meio do canal. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para determinação granulométrica.

Figura 17 – Amostrador *Rock-Island* para coleta de sedimentos da superfície do fundo fluvial.



Fonte: ANEEL (2000).

5.6 Classificação digital dos padrões sonográficos

A análise qualitativa das imagens sonográficas ocorreu através da observação e interpretação das feições encontradas, onde foi parametrizada por amostras de superfície do fundo fluvial.

A classificação digital foi realizada através das seguintes etapas, segundo a metodologia desenvolvida por Corzo Moya (2014).

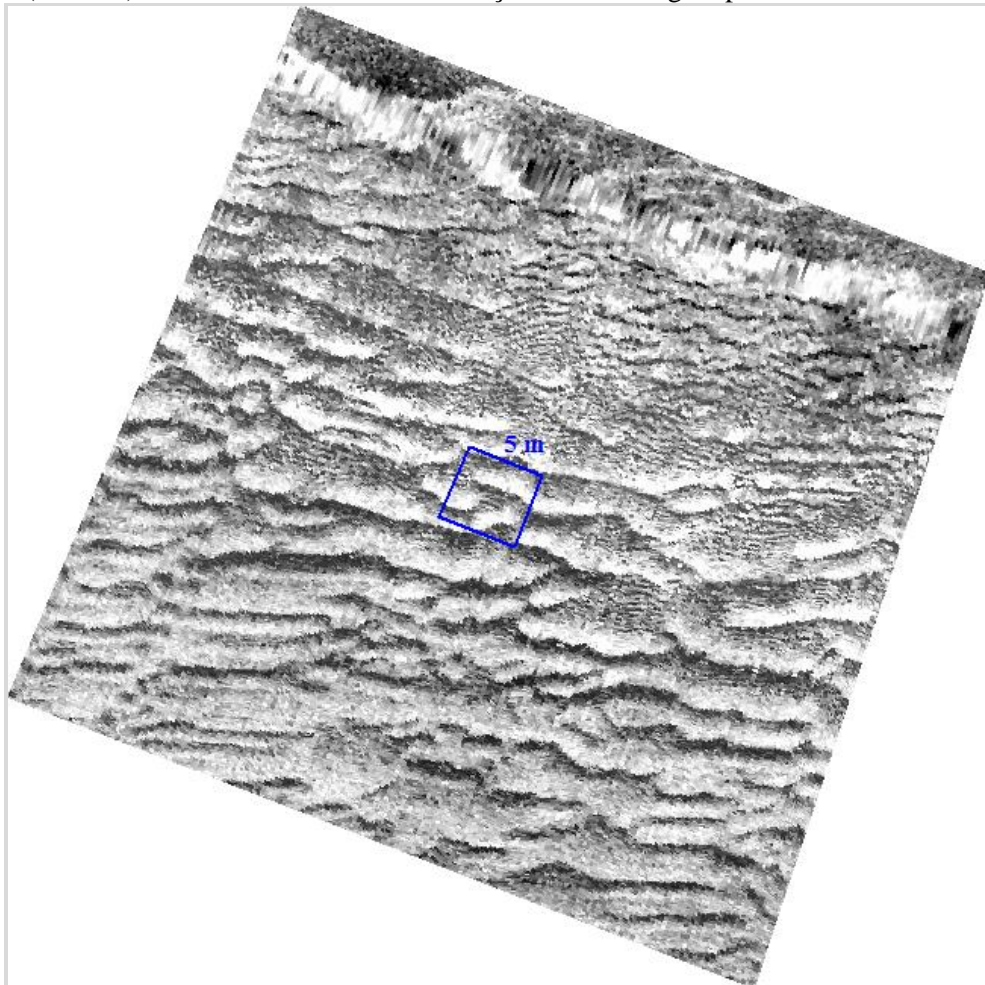
5.6.1 Análise estatística das imagens sonográficas

A análise dos padrões sonográficos das imagens sonográficas foi baseada na análise estatística, na análise da distribuição espacial dos níveis de cinza determinando as características locais que apresenta cada um dos píxeis da imagem sonográfica e nas características estatísticas derivadas de sua posição em relação aos seus píxeis vizinhos.

Os métodos estatísticos são categorizados como: primeira ordem, segunda ordem e ordens maiores. Mas o presente trabalho utilizou os métodos de primeira e segunda ordem e, para fazer as análises estatísticas foram geradas rotinas no programa *MatLab*.

Com o uso do *SonarWiz 5* foram extraídas quatro imagens sonográficas dos pontos de amostragem CA-01 e CA-02, duas de cada ponto, sendo uma na escala de cinza normal e a outra na escala de cinza invertido e, na frequência de 500 kHz. Nessas imagens foram delimitadas áreas de 5·5 m em torno da localização de amostragem (Figura 18), com o intuito de que o padrão sonográfico representasse bem a amostra para a análise estatística.

Figura 18 – Exemplo de imagem sonográfica extraída no programa *SonarWiz 5*, com uma área delimitada (em azul) de 5·5 m em torno da localização de amostragem para a análise estatística.



Fonte: Produção da própria autora.

No ponto de amostragem CA-03 não houve seleção de imagem sonográfica, por causa dos dados sonográficos não satisfatórios nessa região, impossibilitando uma representação textural.

O primeiro passo da análise estatística foi a geração de uma rotina no *MatLab* para realizar a análise através do método estatístico de primeira ordem e assim poder visualizar o comportamento dos histogramas das imagens sonográficas, conhecer seus respectivos ranges dinâmicos e seus contrastes e correlacioná-los ao tipo do sedimento da área de análise.

Por meio da geração dos histogramas da área de amostragem foram extraídos para cada uma das imagens seu range dinâmico e contraste e foi gerada uma tabela onde podem ser vistos os resultados obtidos. Os histogramas assim como a tabela podem ser visualizados no seguinte capítulo.

Pelos resultados pouco satisfatórios obtidos unicamente por meio da análise estatística de primeira ordem para a padronização das texturas e como as texturas das superfícies fazem referência à distribuição espacial dos níveis dos píxeis, foi aplicado às imagens o método de segunda ordem baseado na GLCM como foi feito em outros trabalhos (Blondel et al 1998; Head 2004).

Para levar a cabo esta análise de segunda ordem também foi feito uma rotina no *MatLab*. O algoritmo para gerar a GLCM no *MatLab* está baseado na análise da distribuição de um pixel com seus píxeis vizinhos, como foi mencionado anteriormente a uma distância d e direção θ .

O *MatLab* permite gerar a GLCM fazendo a comparação dos píxeis de referência com seus vizinhos em qualquer direção e distância.

Como o objetivo é tentar padronizar de um jeito mais quantitativo a característica das texturas para cada área de amostragem, a distância parametrizada para a geração da GLCM foi $d = 1$ e $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ e 135° .

Análise tem como finalidade tomar em conta o comportamento dos resultados obtidos com respeito a direção de aquisição dos dados sonográficos e o ângulo de incidência.

6. Resultados

6.1 Dados e velocidade de corrente e vazão (ou hidrológicos)

Os dados de vazão apresentam duas fontes distintas: o levantamento de campo e a base pública do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional das Águas (ANA), estação fluviométrica indicada na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de vazão da base pública do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional das Águas (ANA). Estação fluviométrica, código, coordenadas e período.

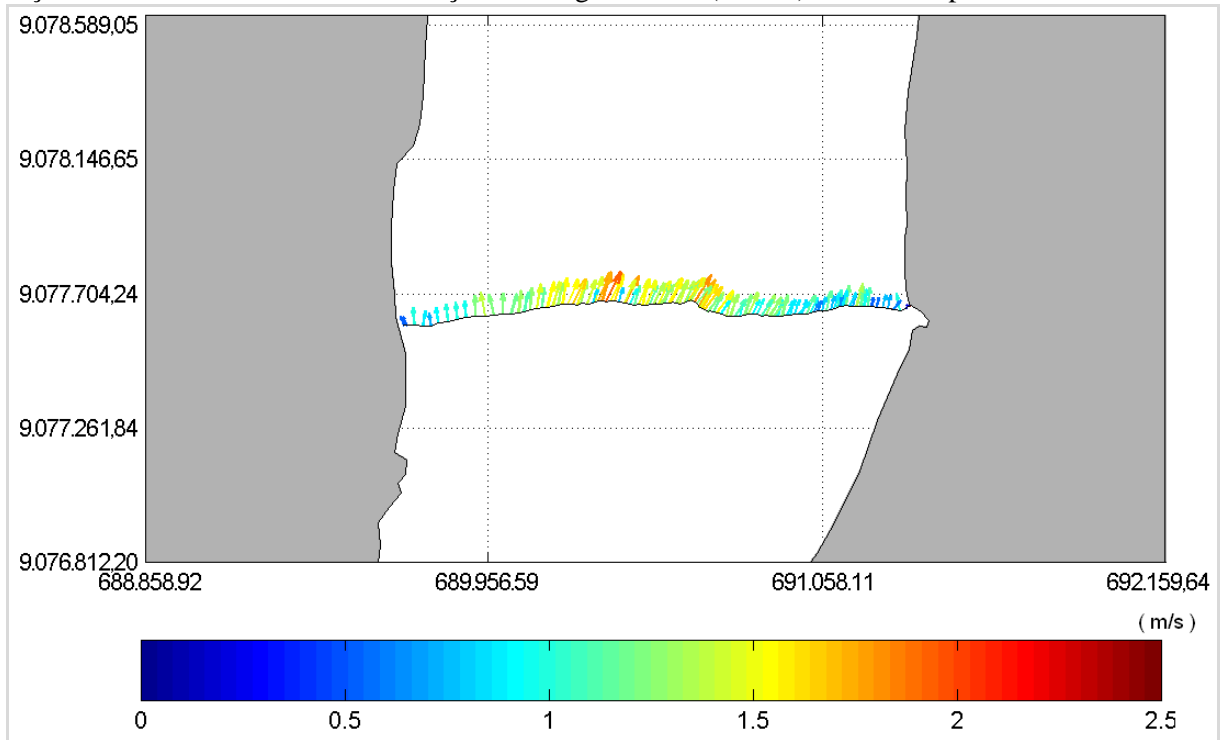
Estação	Código	Coordenadas em UTM (m)		Período
		X	Y	
Conceição do Araguaia	27500000	691708,22	9085495,54	1970 a 2007

Fonte: SNIRH.

Foi feita uma análise para verificar a consistência dos dados coletados e fornecer parâmetros estatísticos básicos dos dados brutos de velocidade medida no transecto escolhido. A partir desta análise, foram extraídos alguns parâmetros estatísticos para as medidas de velocidade. Como resultado, obteve-se uma velocidade média de 0,94 m/s e velocidade máxima de 2,0 m/s. Os valores mais frequentes de velocidade foram 0,78; 0,85 e 0,87 m/s, com 15 ocorrências cada. Os percentuais de 5, 50 e 95% são 0,49; 0,94 e 1,39 m/s, respectivamente. A direção mais frequente foi 19°37' em relação ao norte verdadeiro concordante com a orientação do rio, no trecho onde os dados foram coletados.

Para demonstrar o comportamento do fluxo fluvial d'água na superfície foi confeccionado um *stick plot* (Figura 19) com os vetores de velocidade.

Figura 19 – *Stick plot* com vetores de velocidade da superfície d'água medida em um transectos na seção realizada a montante de Conceição do Araguaia - PA (CA-02). Valores expressos em m/s.

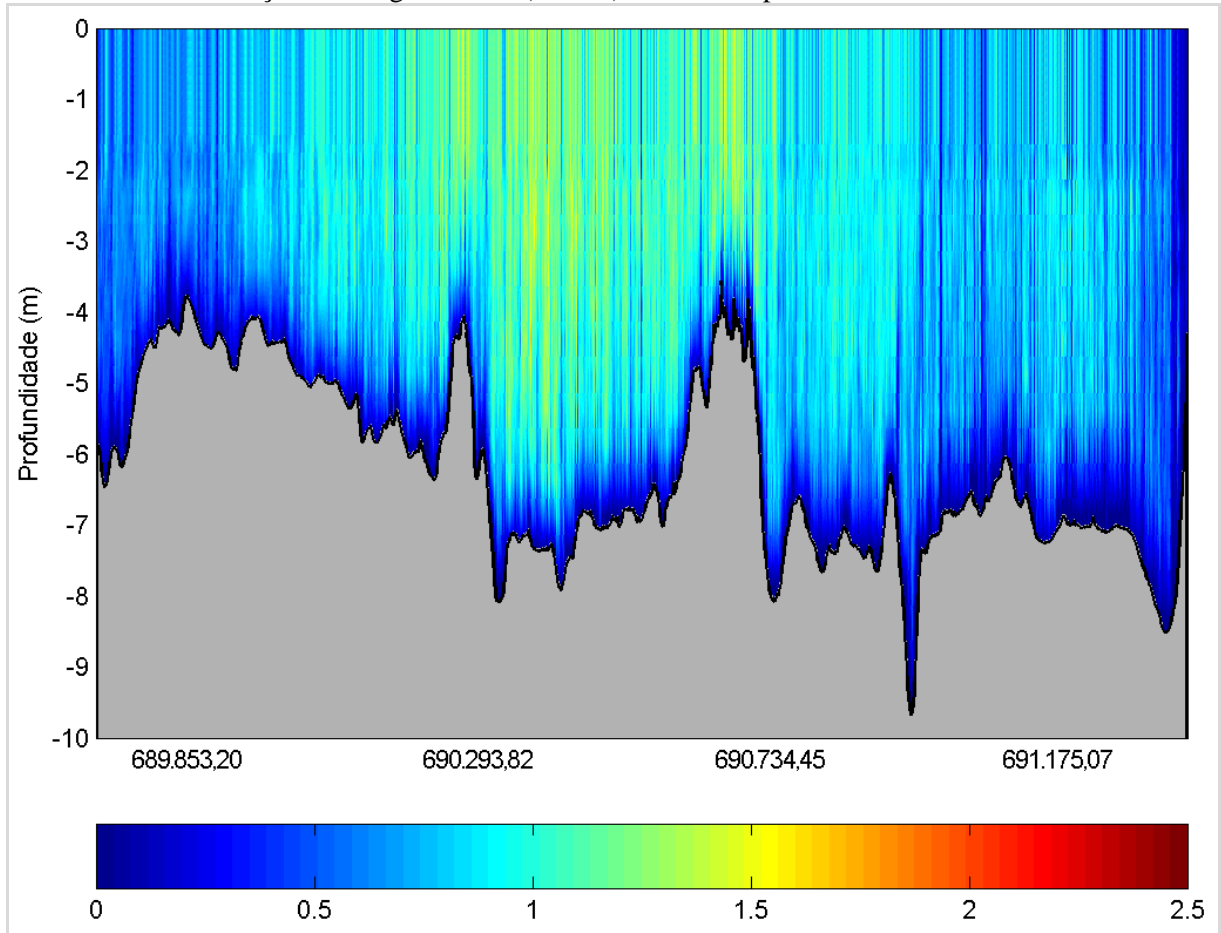


Fonte: IPT (2012).

Além da verificação do comportamento da velocidade da lâmina d'água, foi estudada também a distribuição da velocidade na coluna d'água. Para isto, foi feita uma análise do perfil médio de velocidades ao longo do transecto escolhido. Como o equipamento possui limitações para a aquisição de dados na superfície d'água e na região imediatamente acima do fundo do rio, foi feito um ajuste logarítmico da curva de distribuição vertical média de velocidades obtidas com base nos dados medidos. Desta forma, foi possível fazer uma extrapolação para obter valores de velocidade nas camadas não amostradas.

A figura 20 ilustra o perfil médio de velocidades na coluna d'água ao longo do transecto escolhido contendo os valores extrapolados para as camadas de fundo e superfície.

Figura 20 – Contornos de velocidade da calha do rio ao longo de um dos transectos na seção realizada a montante de Conceição do Araguaia - PA (CA-02). Valores expressos em m.



Fonte: IPT (2012).

A tabela 5 apresenta um resumo dos valores médios obtidos nas seções através das medições realizadas em cada uma das localidades onde foram feitas medidas de vazão.

Tabela 5 – Valores de vazão obtidos através do levantamento de campo. Data (dia/mês/ano) e vazão (m^3/s).

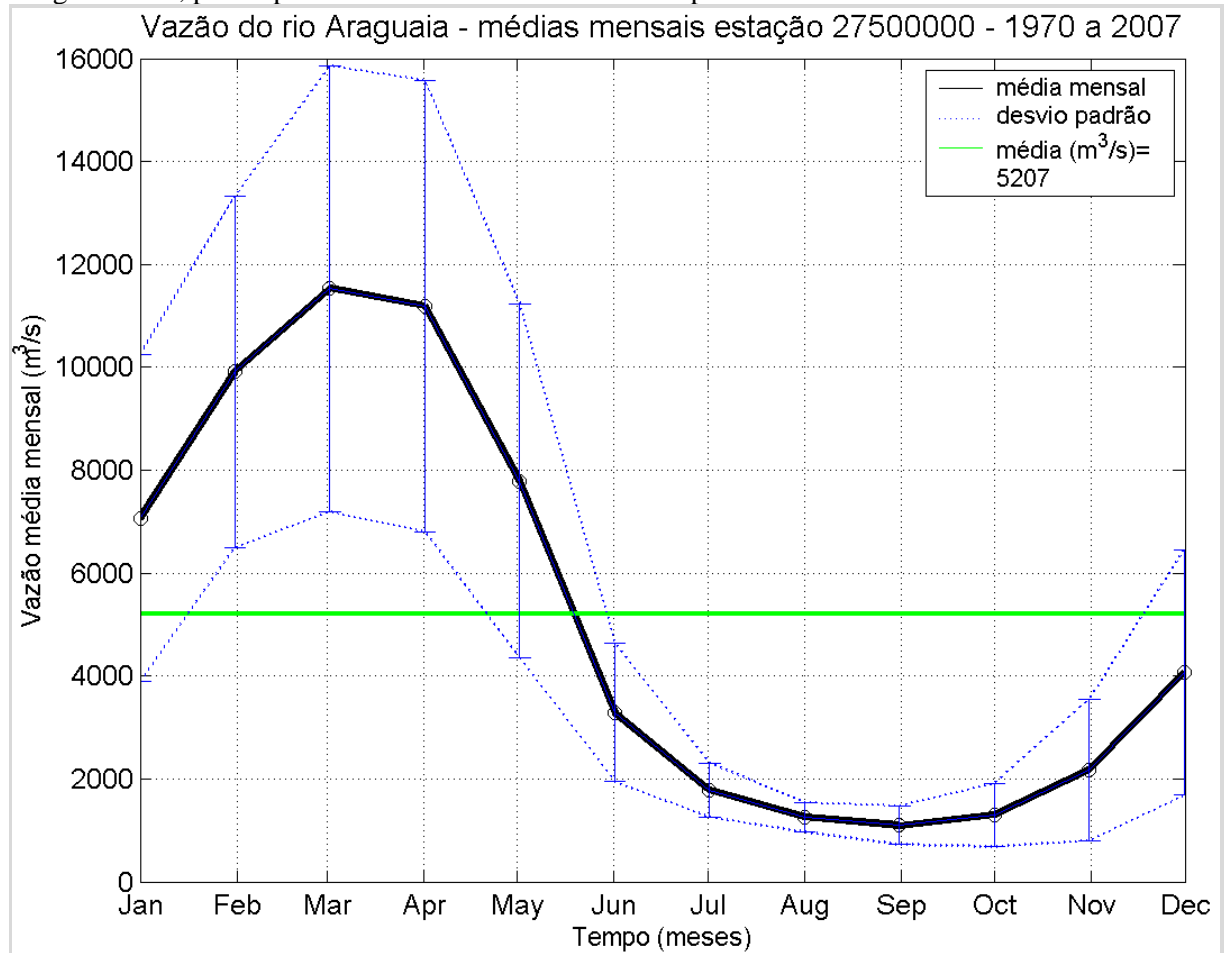
Seções	Data (dia/mês/ano)	Vazão (m^3/s)
CA-01	11/03/2009	8489,21
CA-02	12/03/2009	8475,69
CA-03	14/03/2009	8421,45

Fonte: IPT (2012).

Após o tratamento dos dados coletados em campo, foram analisados os dados da base pública SNIRH da ANA. Na figura 21 são apresentados os ciclos sazonais de

vazão climatológica para a estação de Conceição do Araguaia. As curvas climatológicas indicam que os valores obtidos no levantamento de campo (Tabela 5) estão dentro do intervalo esperado.

Figura 21 – Vazão climatológica (médias mensais) do Rio Araguaia, no Município de Conceição do Araguaia - PA, para o período de 1970 a 2007. Valores expressos em m^3/s .



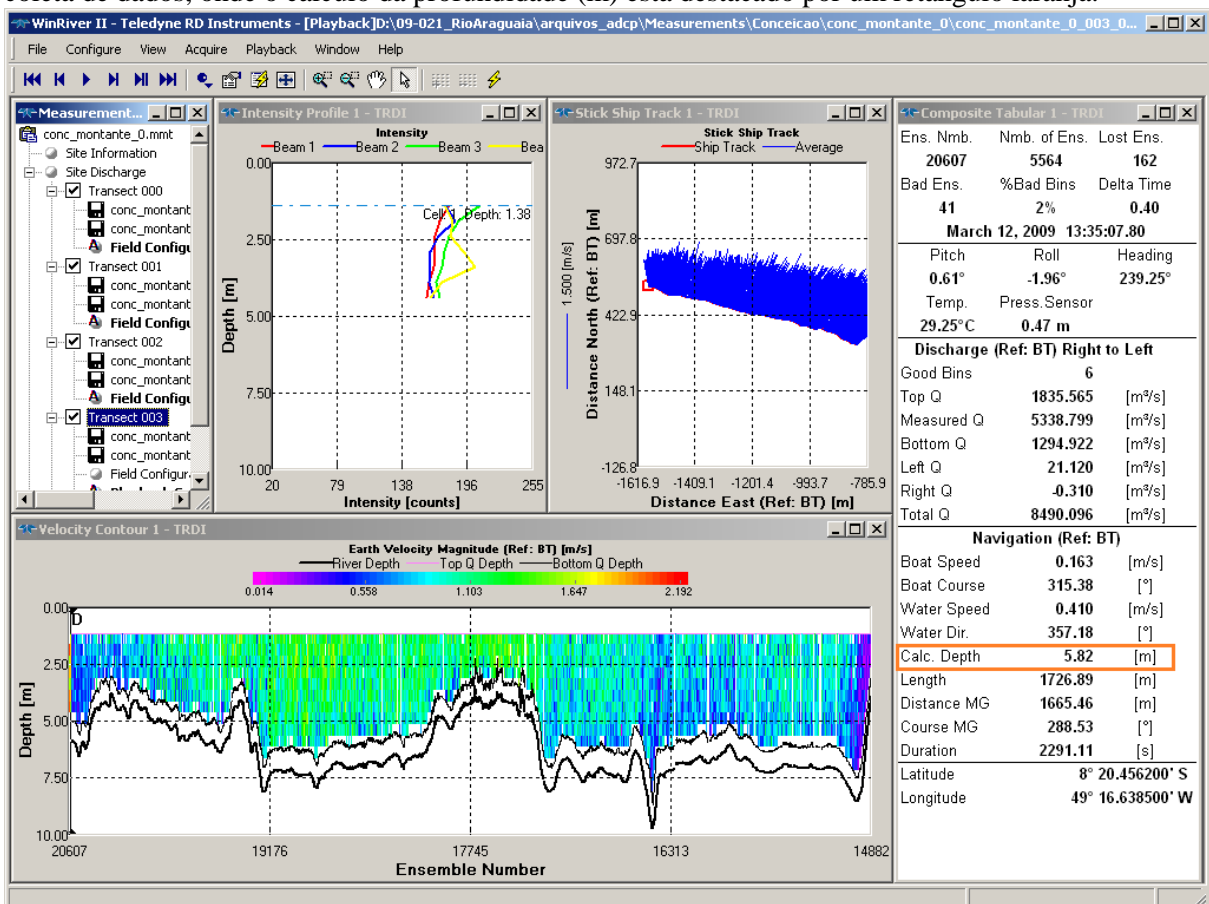
6.2 Batimetria

Aos dados batimétricos foram feitas interpolações no programa *Surfer 8* desenvolvido pela *Golden Software Inc.*, pelo método da Distância Inversa para uma Potência (*Inverse Distance to a Power*), chegando a uma resolução final de aproximadamente 30 m.

Como não havia interesse nos valores de vazão, as medidas de velocidade foram descartadas e considerou-se apenas a reflexão da superfície do fundo fluvial (*bottom tracker*), usando o cálculo da profundidade (m) obtido nas informações

fornecidas pelo programa *WinRiver II* utilizado na coleta dos dados. A figura 22 mostra a tela do programa em operação.

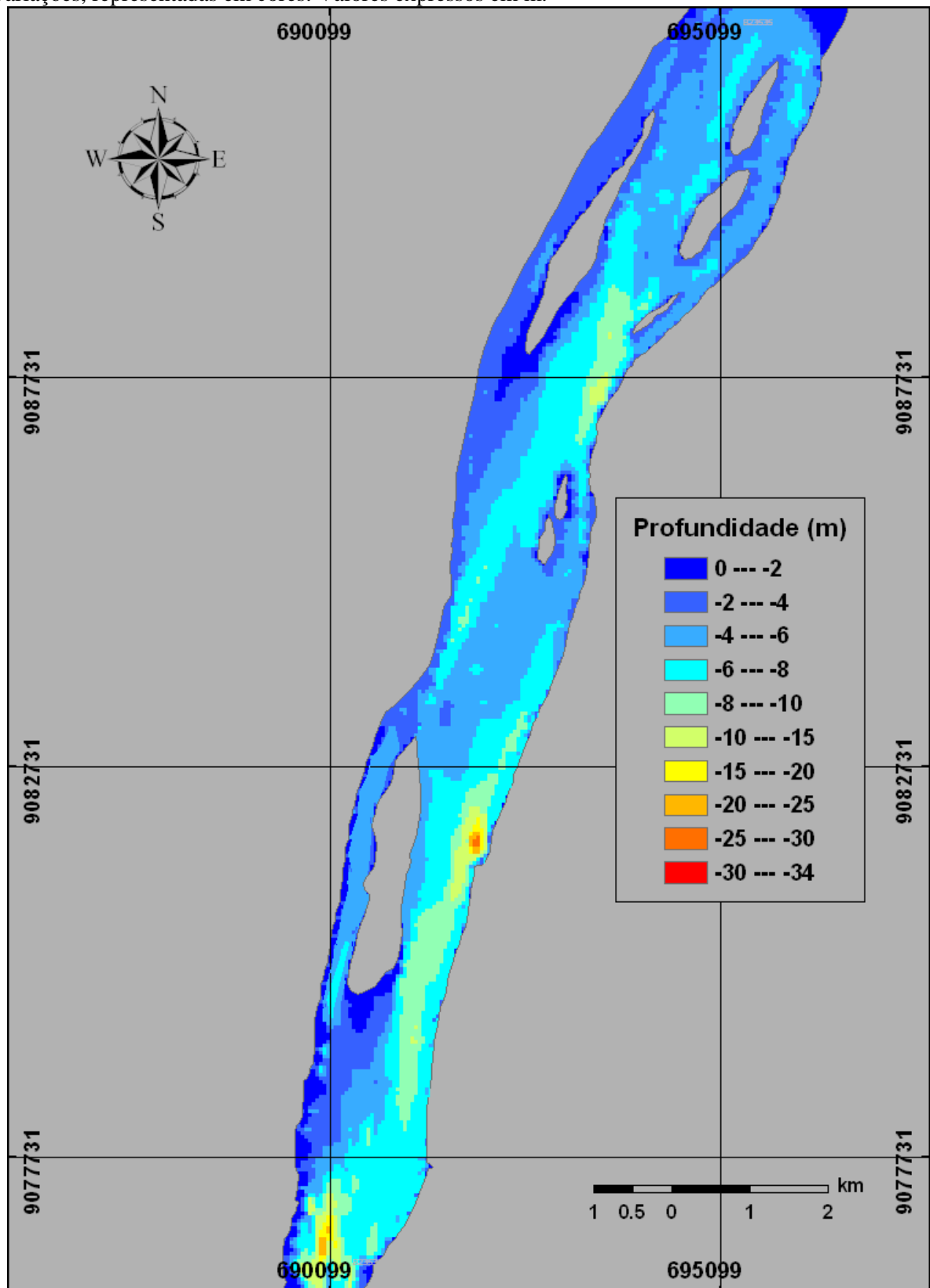
Figura 22 – Tela do programa *WinRiver II* utilizado na coleta dos dados, ela é subdividida em algumas janelas que mostram as informações sobre os dados em tempo real: a janela do canto superior esquerdo indica e gerencia os arquivos gerados durante a coleta; a seguinte mostra perfis de intensidade da corrente medida por cada um dos quatro transdutores, sendo que cada cor refere-se a um transdutor; na terceira janela, na parte superior da tela, é mostrado um diagrama *stick plot*, indicando a trajetória da embarcação e os vetores médios de velocidade em cada posição medida; na parte inferior da tela, são mostrados os contornos de velocidade ao longo do transecto da calha do rio e por fim, no lado direito, existe uma tabela com todas as informações instantâneas do processo de coleta de dados, onde o cálculo da profundidade (m) está destacado por um retângulo laranja.



Fonte: IPT (2012).

A correlação batimétrica com os dados sonográficos é importante para a validação da morfologia observada nas imagens da superfície do fundo fluvial. Para isso foi confeccionado o mapa de isóbatas, mapa batimétrico (Figura 23).

Figura 23 – Mapa batimétrico interpolado mostrando as isóbatas da superfície do fundo fluvial e suas variações, representadas em cores. Valores expressos em m.



Fonte: IPT (2012).

6.3 Sonar de varredura lateral

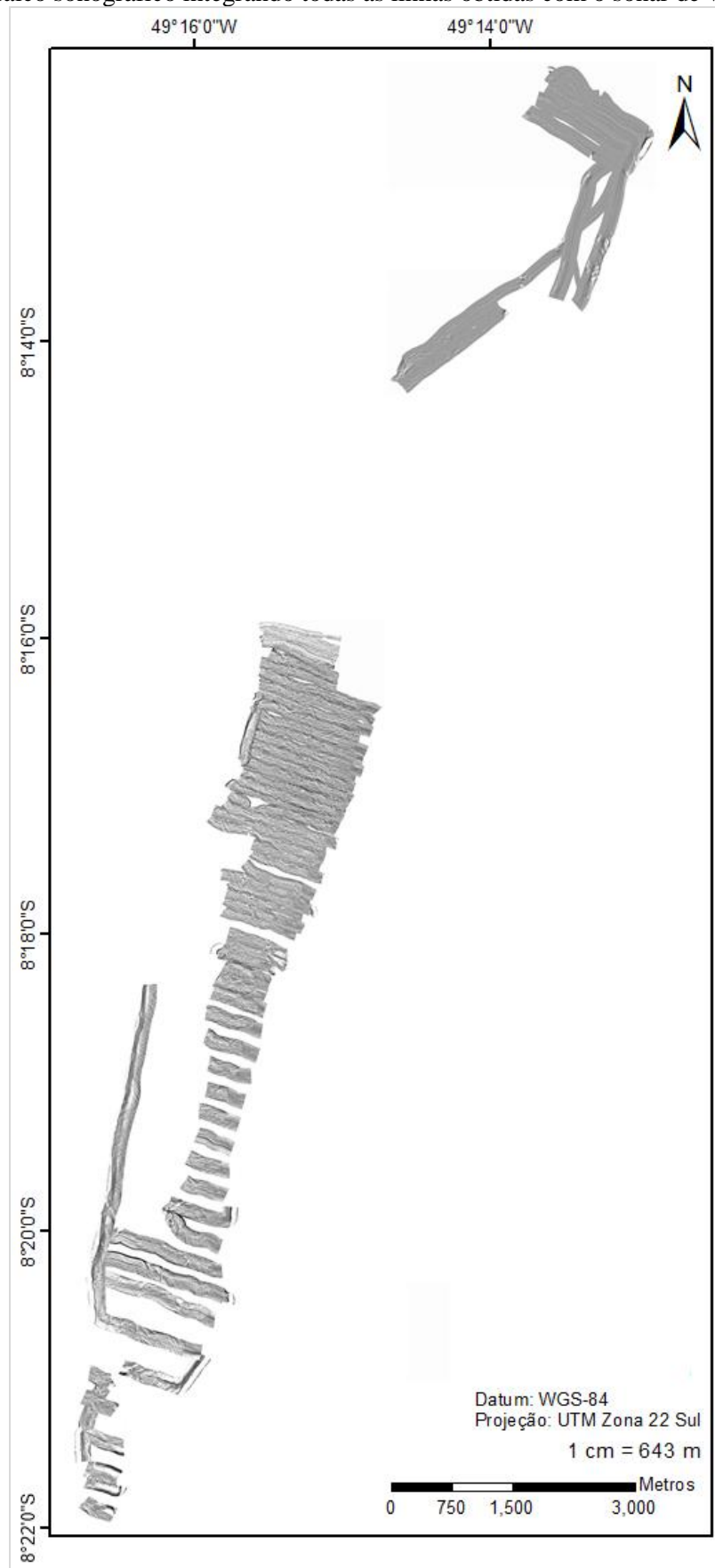
Aplicação de alterações de ganho com parâmetros como Controle Automático de Ganho (*Automatic Gain Control (AGC)*), Normalização de Ganho Empírico (*Empirical Gain Normalization (EGN)*) e Tempo Variado de Ganho (*Time Varied Gain (TVG)*), a fim de equalizar os contrastes causados pelas diferenças de impedância acústica.

Após as correções de ganho (radiométricas), foram realizadas as correções de posição e forma real de um determinado alvo na superfície do fundo fluvial (geométricas): correção de velocidade para o acoplamento dos canais de bombordo e estibordo (*across track*) e de tempo x velocidade (*slant range*), essa última com base na detecção da superfície do fundo fluvial (*bottom tracking*).

A Homogeneidade e a Entropia da imagem sonográfica são inalteradas com mudança de contraste ou parâmetros aplicados no processamento, só dependem das características específicas da superfície refletida. No entanto, o range dinâmico original da imagem sonográfica é modificado pela alteração ou aplicação de parâmetros no processamento.

Ao concluir essas etapas as imagens sonográficas foram exportadas em Formato de Arquivo de Imagem com *Tags (Tagged Image File Format (.TIFF))*. Essas imagens são coletadas de forma contínua de modo que podem ser agrupadas de forma análoga ao procedimento de montagem do mosaico sonográfico para pós-processamento.

Figura 24 – Mosaico sonográfico integrando todas as linhas obtidas com o sonar de varredura lateral.



Fonte: Produção da própria autora.

6.4 Dados geológicos

As amostras coletadas na superfície do fundo fluvial foram analisadas pelo laboratório do IPT. O método utilizado está descrito no Procedimento CETAE-LRAC-PE-002 - GRANULOMETRIA (análise granulométrica conjunta), baseado em métodos descritos em *Methods of Soil Analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods* (KLUTE, 1986), Manual de Edafologia (EMBRAPA, 1979), NBR 6457 (2016), NBR 6502 (1995) e NBR 7181 (1988).

Os resultados da análise granulométrica dos sedimentos coletados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da análise granulométrica do sedimento superficial do fundo fluvial e classificação textural.

Amostra	Prof. (m)	Argila (%)	Silte (%)	Frações de areia					Cascalho (%)	Classe textural
				Muito fina (%)	Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)	Muito grossa (%)		
CA-01	6,0	2,97	0,99	0,00	9,41	68,31	14,36	2,97	1,00	Arenosa
CA-02	6,3	0,00	1,32	0,33	12,87	44,88	5,28	1,32	34,00	Arenosa
CA-03	5,7	0,99	1,98	0,00	9,41	66,83	16,83	2,97	1,00	Arenosa

Fonte: IPT (2012).

Nota-se que a fração areia média predomina nas amostras analisadas e que na seção de amostragem correspondente ao ponto CA-02 ocorre áreas com cascalhos, devido à maior energia do rio nesse ponto.

As figuras 24 e 25 ilustram a amostra de fundo fluvial coletada na seção CA-02, numa região do canal ativo próximo ao Travessão de Santa Maria Velha. Ali se observaram sedimentos com maior frequência da fração cascalho numa proporção de 34% do total amostrado e 64,68% de areia. Na fração areia, cerca de 44,88% é composta pela fração areia média. Conforme observado em campo o restante dessa seção é constituída de afloramentos rochosos recobertos por sedimentos com fração areia média, semelhante às amostras coletadas nas seções CA-01 (Figura 26) e CA-03.

Figura 25 – Amostra coletada no ponto CA-02, onde observa-se duas frações granulométricas (cascalho e areia).



Fonte: IPT (2012).

Figura 26 – Detalhe da fração cascalho presente na amostra de fundo fluvial coletada no ponto CA-02.



Fonte: IPT (2012).

Figura 27 – Amostra coletada no ponto CA-01, onde predomina a fração areia.

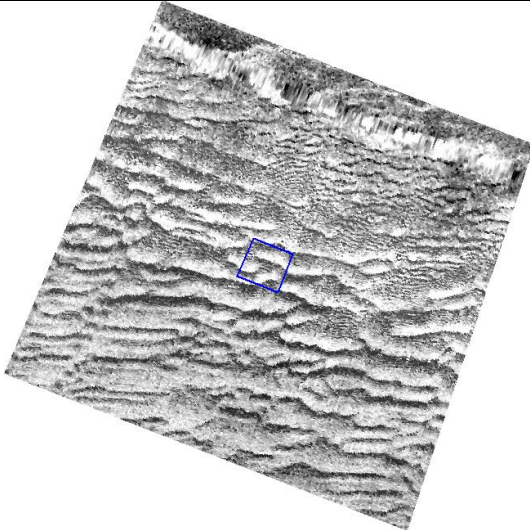
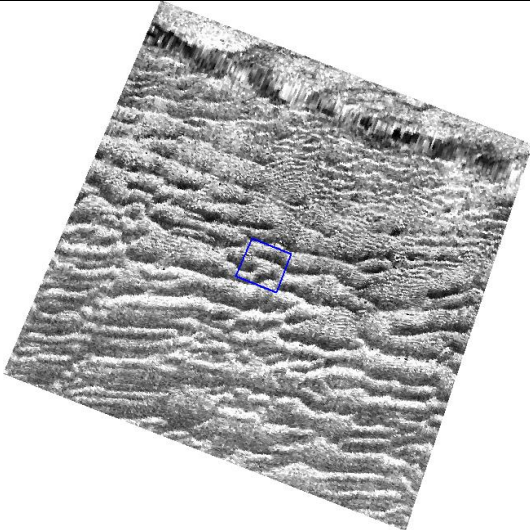
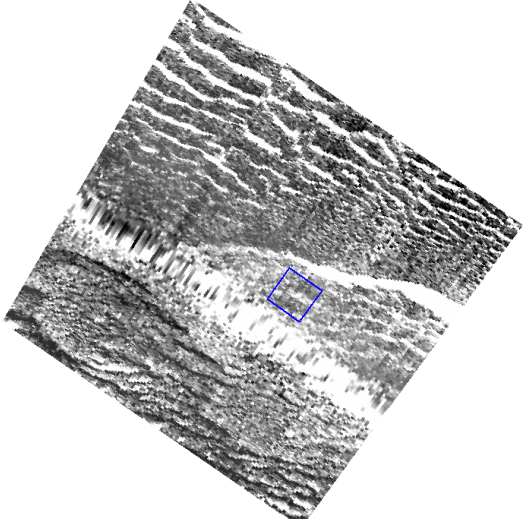
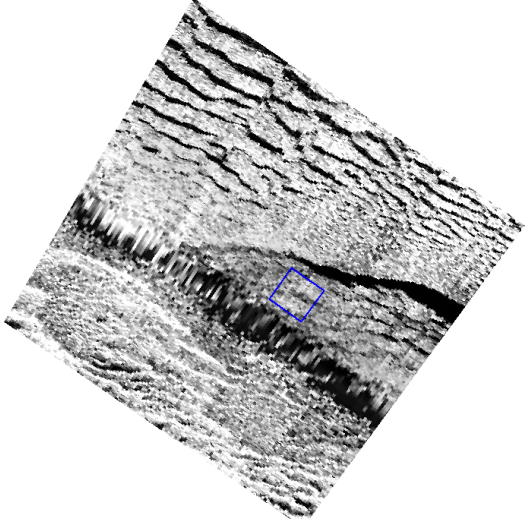


Fonte: IPT (2012).

6.5 Análises estatísticas das imagens sonográficas

Para a correlação dos padrões sonográficos com a classificação granulométrica dos sedimentos coletados foram selecionadas imagens sonográficas nos pontos correspondentes às coordenadas das amostras coletadas (Tabela 8).

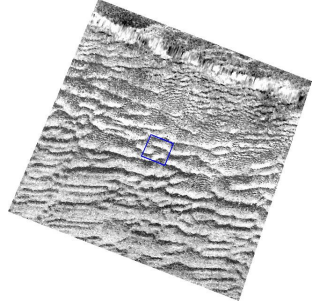
Tabela 7 – Imagens sonográficas extraídas no programa *SonarWiz 5* com uma área delimitada (em azul) de 5.5 m em torno da localização de amostragem para a análise estatística.

Amostra	Escala de cinza normal	Escala de cinza invertido
CA-01		
CA-02		

Fonte: Produção da própria autora.

A análise estatística das imagens sonográficas procurou avaliar os padrões sonográficos encontrados na região imageada e parametrizá-las com a amostragem geológica.

Figura 28 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza normal.



CA-01:

Escala de cinza normal.

Cascalho – 1%, fração areia – 95,05% (areia média – 68,31%) e finos – 3,96%.

Nível de cinza
mínimo = 40

Nível de cinza
máximo = 201

Range dinâmico =
161

Contraste = 0,668

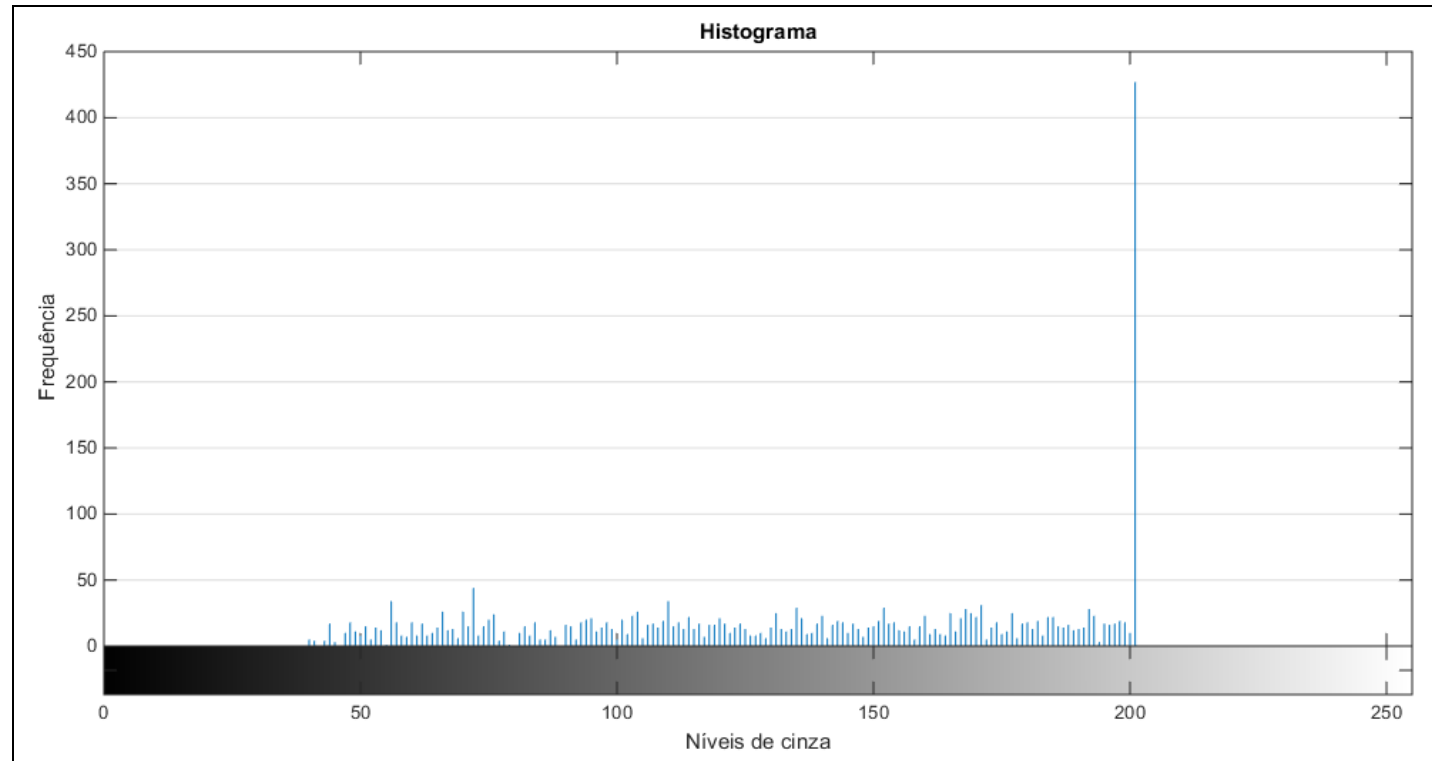
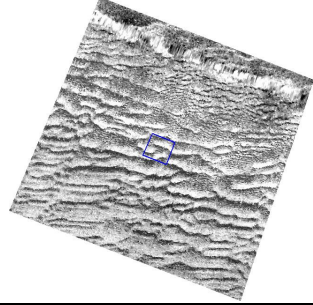


Figura 29 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza normal, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM).



CA-01:

Escala de cinza normal.

Cascalho – 1%, fração areia – 95,05% (areia média – 68,31%) e finos – 3,96%.

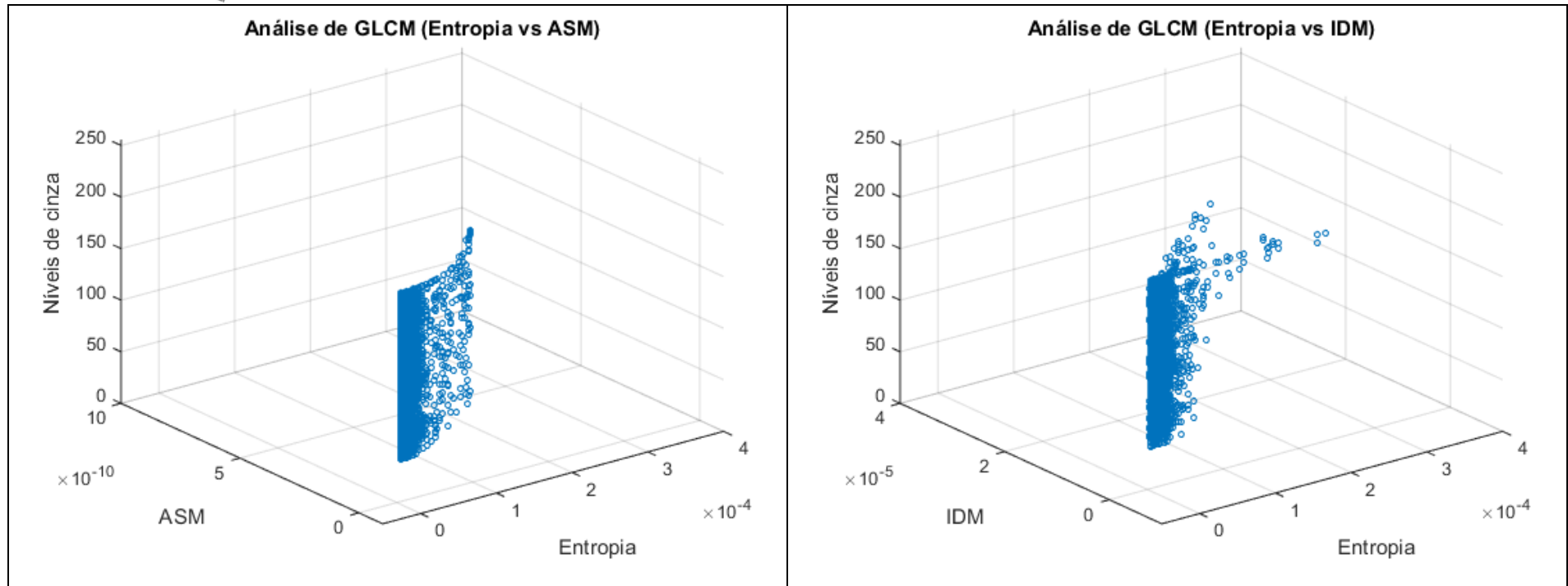
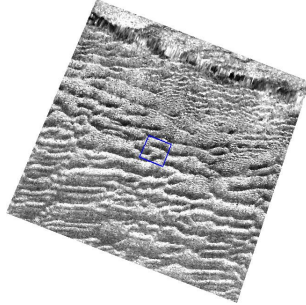


Figura 30 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza invertida.



CA-01:

Escala de cinza invertida.

Cascalho – 1%, fração areia – 95,05% (areia média – 68,31%) e finos – 3,96%.

Nível de cinza
mínimo = 15

Nível de cinza
máximo = 200

Range dinâmico =
185

Contraste = 0,860

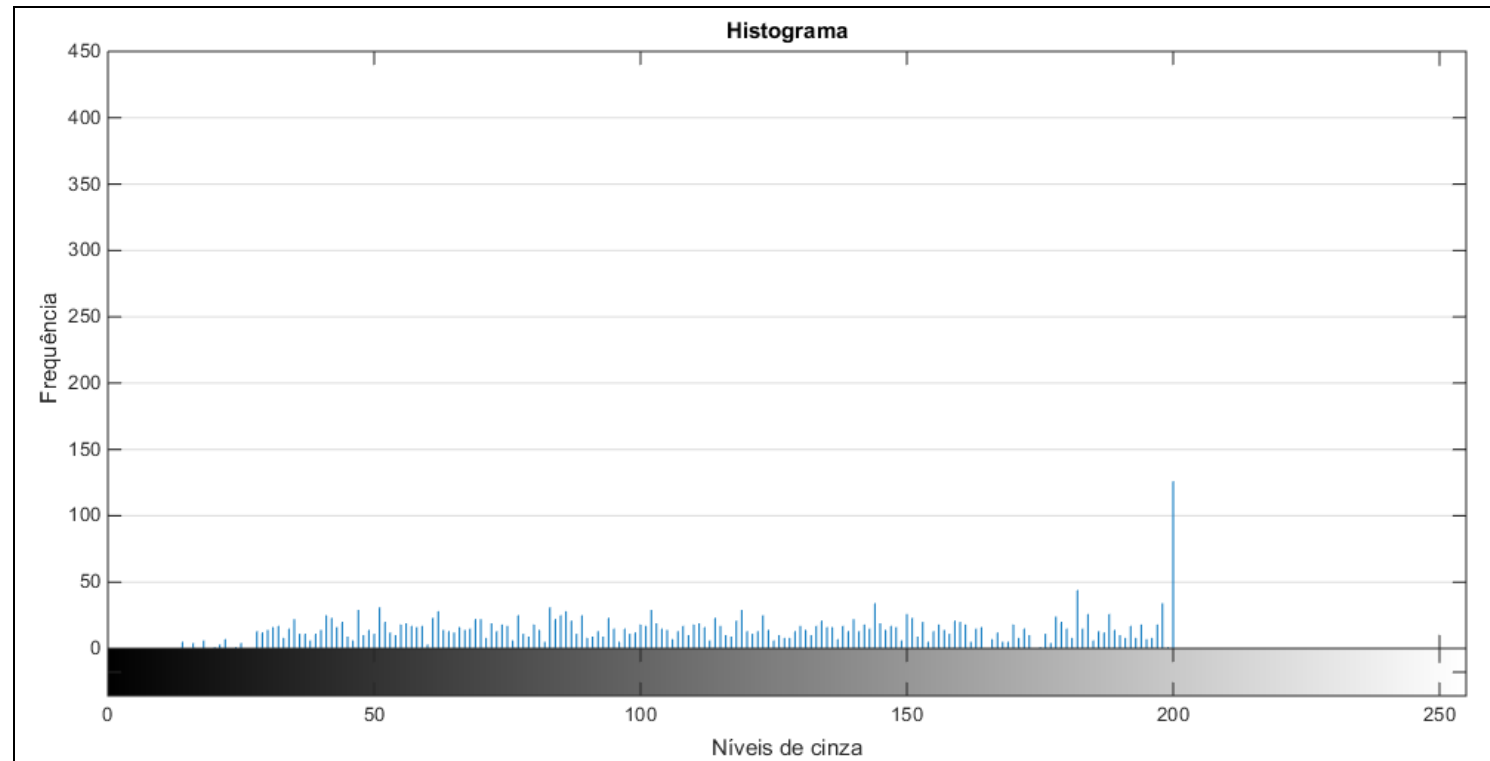
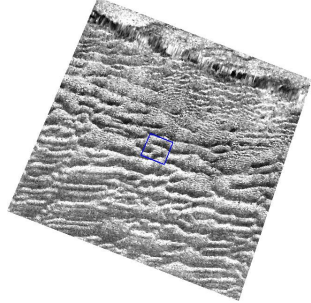


Figura 31 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-01 com escala de cinza invertida, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM).



CA-01:

Escala de cinza invertida.

Cascalho – 1%, fração areia – 95,05% (areia média – 68,31%) e finos – 3,96%.

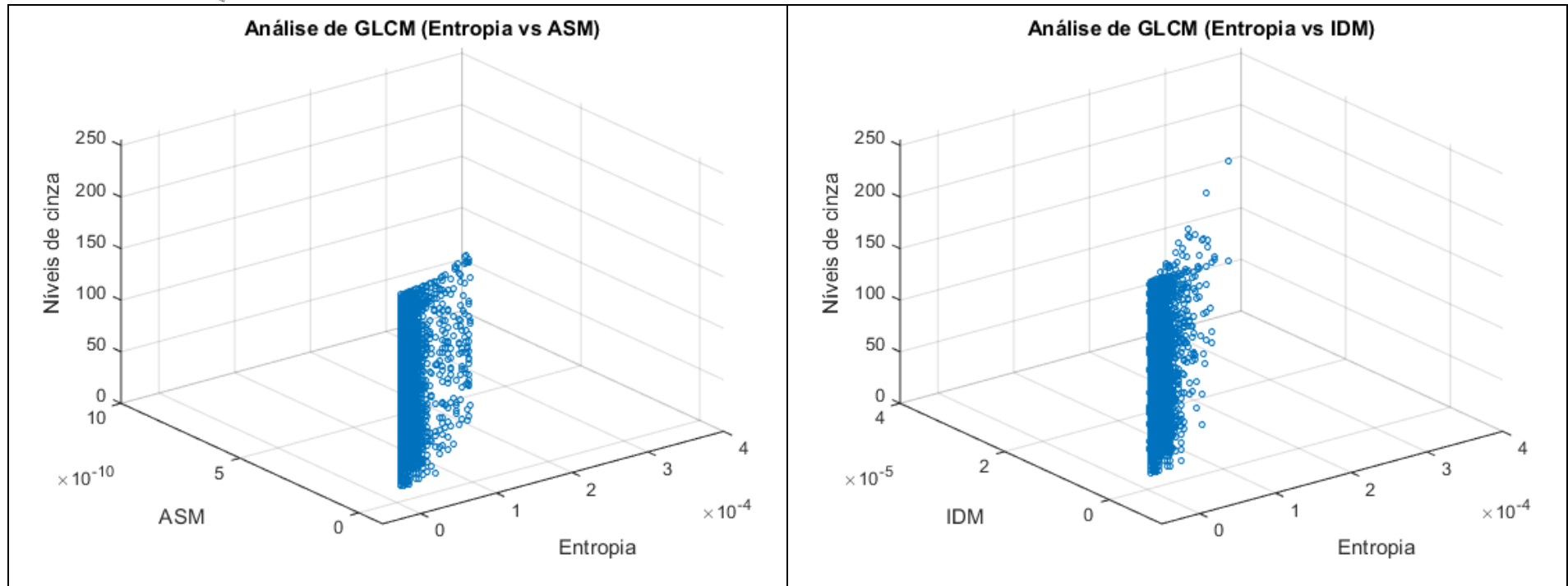
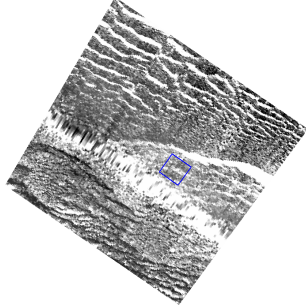


Figura 32 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza normal.



CA-02:

Escala de cinza normal.

Cascalho – 34%, fração areia – 64,68% (areia média – 44,88%) e finos – 1,32%.

Nível de cinza
mínimo = 52

Nível de cinza
máximo = 201

Range dinâmico =
149

Contraste = 0,589

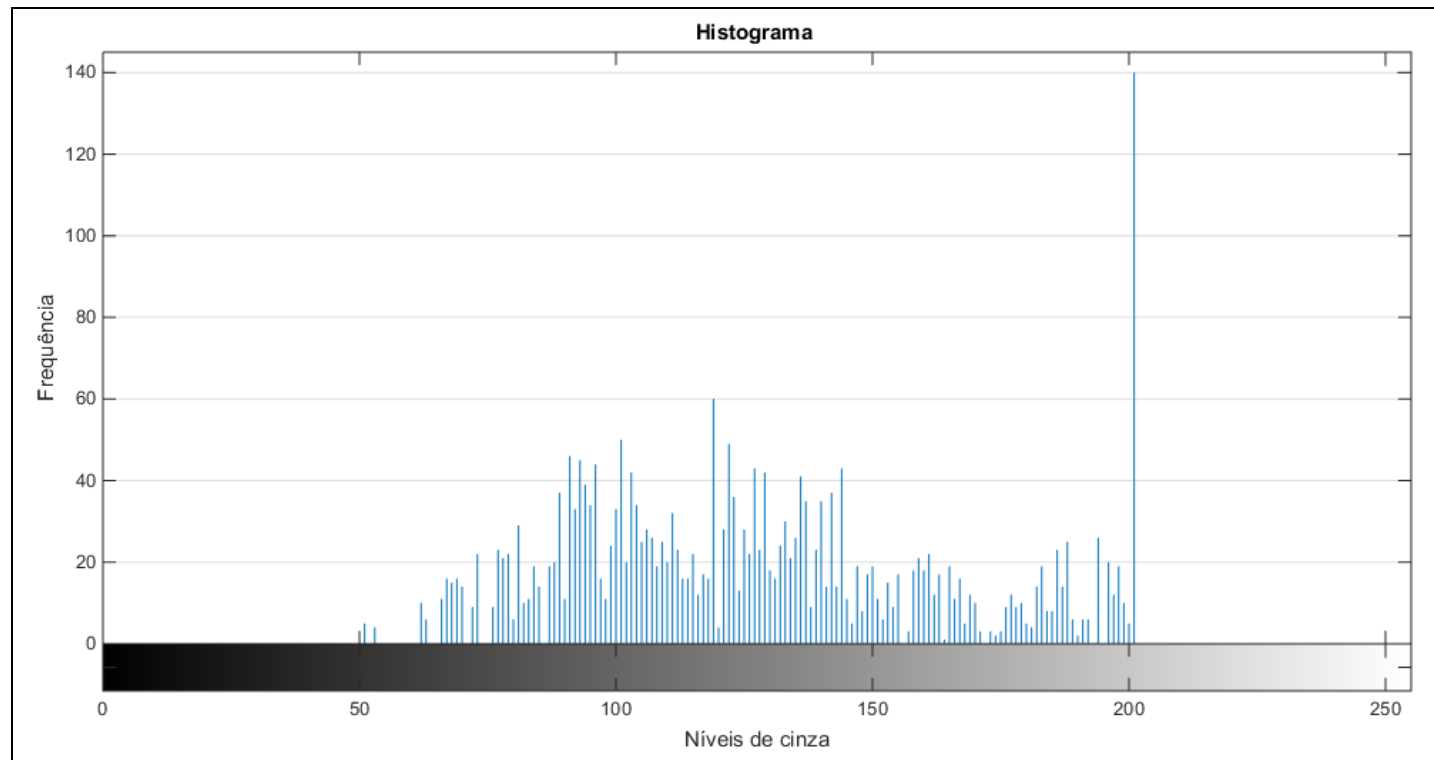
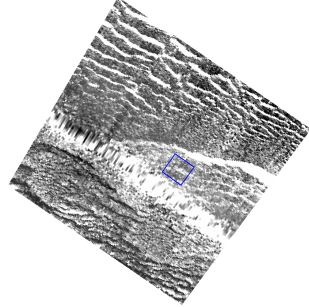


Figura 33 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza normal, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM).



CA-02:

Escala de cinza normal.

Cascalho – 34%, fração areia – 64,68% (areia média – 44,88%) e finos – 1,32%.

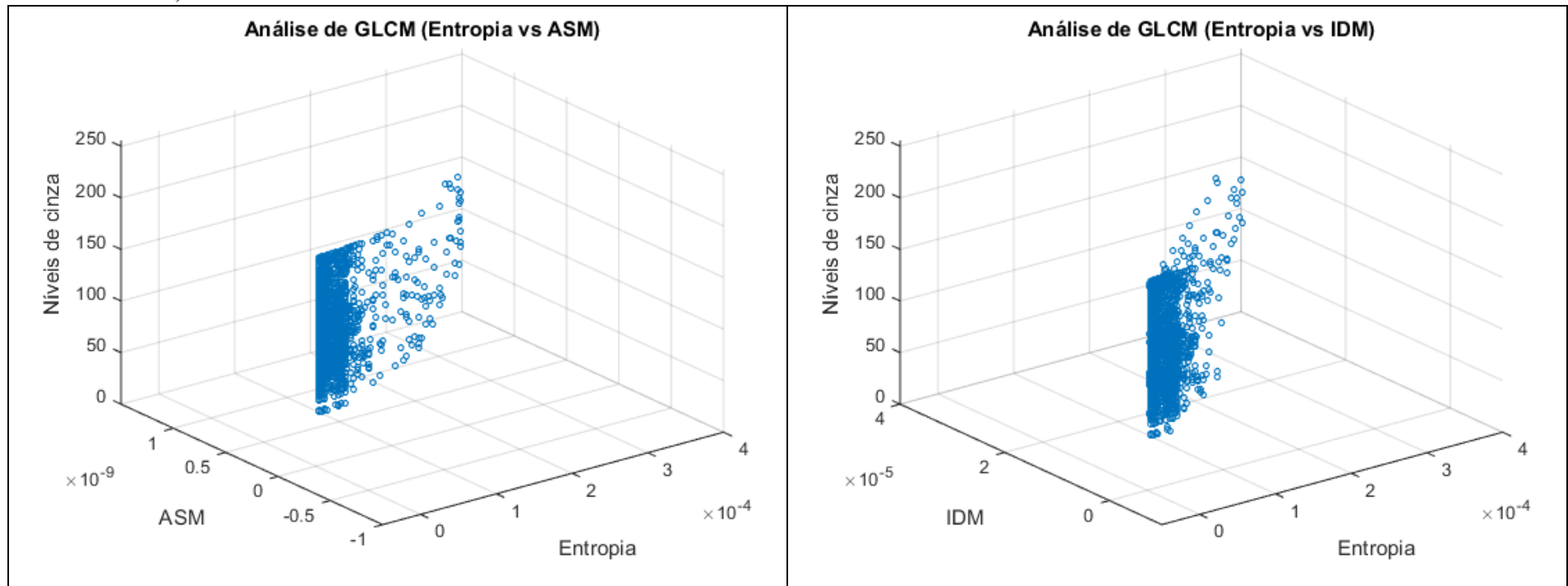
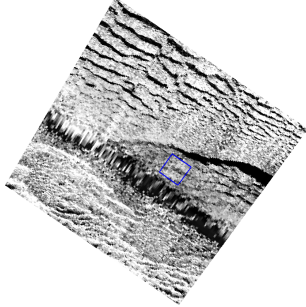


Figura 34 – Resultados obtidos através da análise estatística de primeira ordem e comparação do histograma com a área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza invertida.



CA-02:

Escala de cinza invertida.

Cascalho – 34%, fração areia – 64,68% (areia média – 44,88%) e finos – 1,32%.

Nível de cinza
mínimo: 1

Nível de cinza
máximo: 200

Range dinâmico =
199

Contraste = 0,990

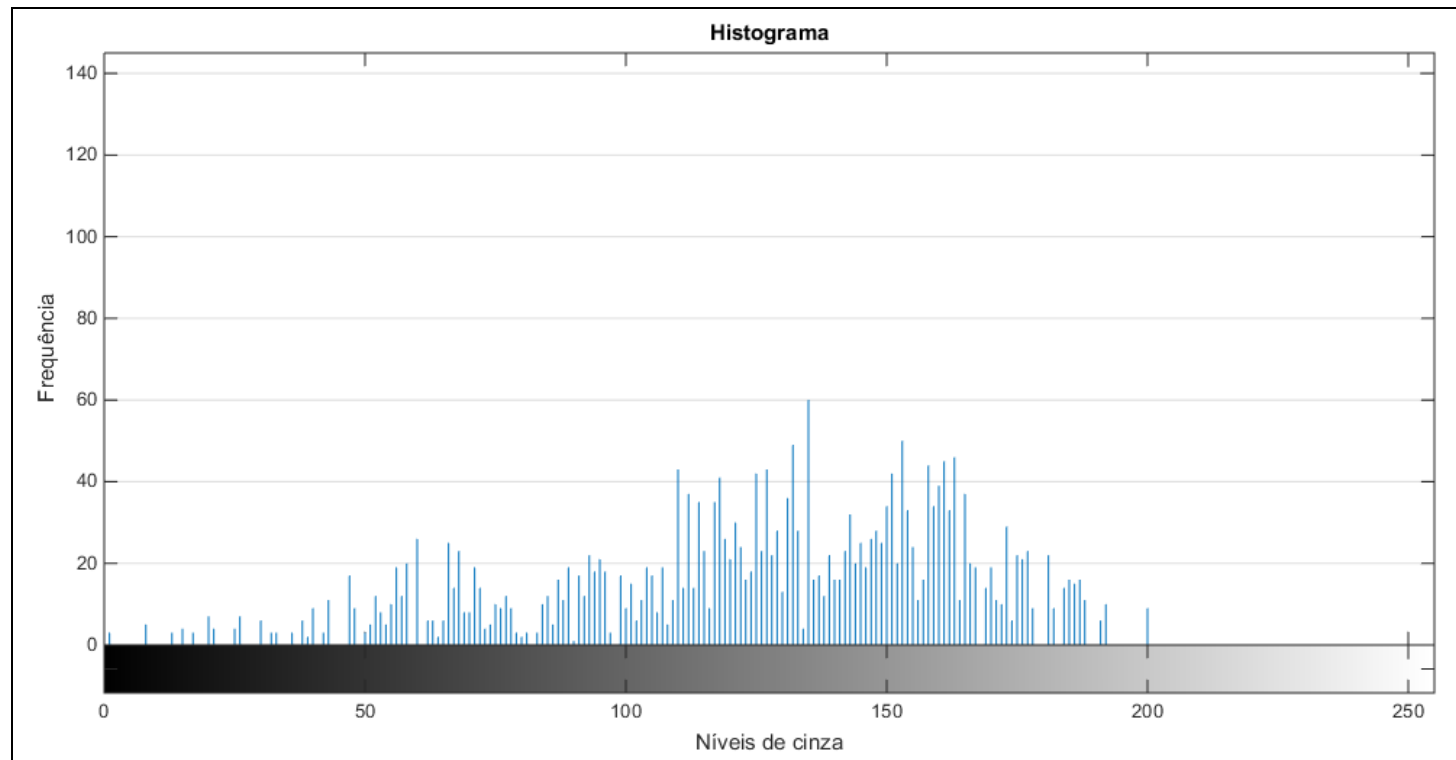
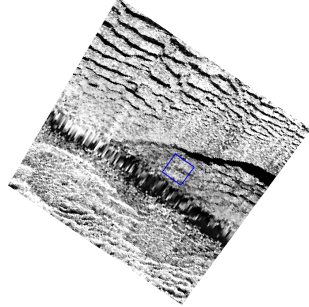


Figura 35 – Gráficos 3D com os resultados obtidos através da análise estatística de segunda ordem da área de amostragem na imagem CA-02 com escala de cinza invertida, GLCMs (Entropia vs ASM) e (Entropia vs IDM).



CA-02:

Escala de cinza invertida.

Cascalho – 34%, fração areia – 64,68% (areia média – 44,88%) e finos – 1,32%.

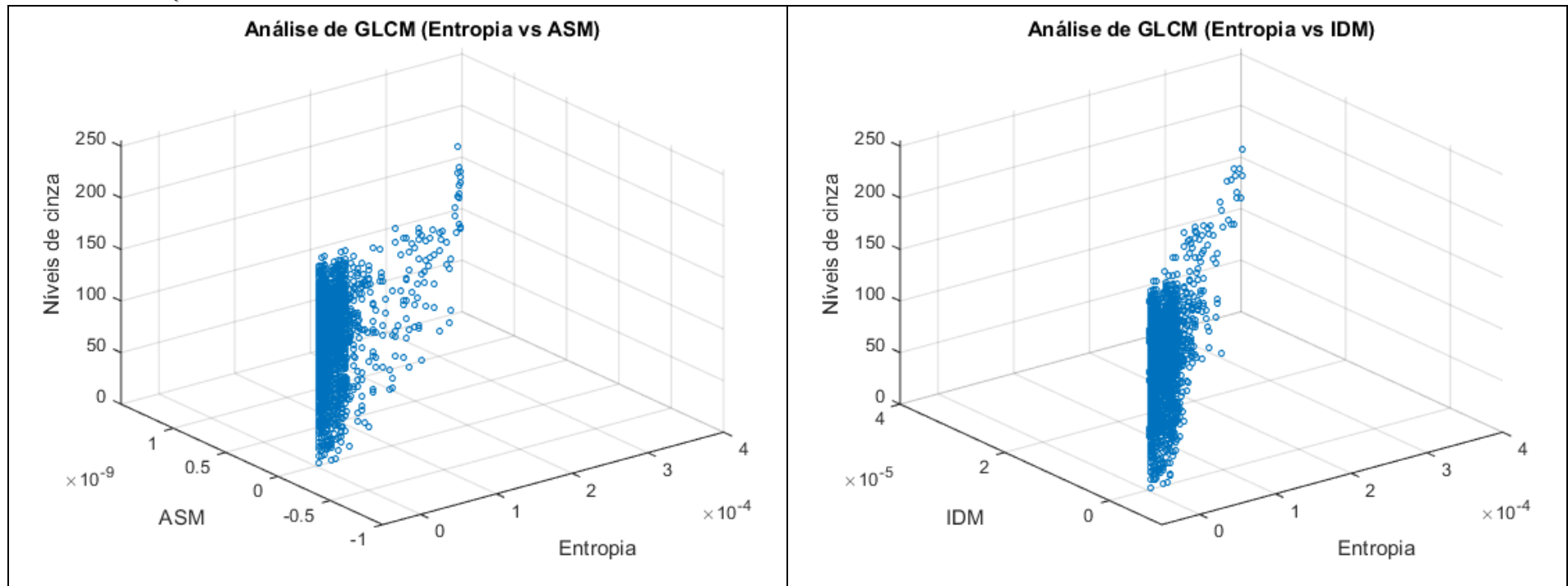


Tabela 8 – Resumo dos resultados obtidos a partir das análises de primeira e segunda ordem segundo as imagens.

Amostra	Escala de cinza	Nível de cinza mínimo	Nível de cinza máximo	Range dinâmico	Contraste	Entropia	ASM	IDM
CA-01	normal	40	201	161	0,668	$4,464 \cdot 10^{-6} - 3,208 \cdot 10^{-4}$	$8,821 \cdot 10^{-14} - 9,541 \cdot 10^{-10}$	$7,500 \cdot 10^{-12} - 3,089 \cdot 10^{-5}$
	invertida	15	200	185	0,860	$4,464 \cdot 10^{-6} - 3,208 \cdot 10^{-4}$	$8,821 \cdot 10^{-14} - 9,541 \cdot 10^{-10}$	$5,113 \cdot 10^{-12} - 3,089 \cdot 10^{-5}$
CA-02	normal	52	201	149	0,589	$3,965 \cdot 10^{-6} - 3,934 \cdot 10^{-4}$	$6,844 \cdot 10^{-14} - 1,499 \cdot 10^{-9}$	$8,947 \cdot 10^{-12} - 3,872 \cdot 10^{-5}$
	invertida	1	200	199	0,990	$3,965 \cdot 10^{-6} - 3,934 \cdot 10^{-4}$	$6,844 \cdot 10^{-14} - 1,499 \cdot 10^{-9}$	$4,055 \cdot 10^{-12} - 3,872 \cdot 10^{-5}$

7 Discussão

Segue uma relação entre a análise granulométrica, os dados de vazão e a batimetria:

- CA-01: região onde foi registrado a maior vazão, 8.489,21 m³/s, e a menor largura, 1.600 m. Caracterizada por uma maior frequência de areia média, cerca de 68% e de sedimentos finos, cerca de 4% e profundidade em torno de 6 m;
- CA-02: região do canal ativo próximo ao travessão de Santa Maria Velha. Foi possível observar sedimentos com maior frequência da fração cascalho numa proporção de 34% do total amostrado e 66% de areia, sendo essa última composta por cerca de 45%, maior frequência nessa fração. Com relação aos sedimentos finos foi a região que apresentou a menor frequência, 1,32%. Maior profundidade, 6,3 m, largura em torno de 1.660 m e vazão de 8.475,69 m³/s;
- CA-03: região onde foi registrado a menor vazão, 8.421,45 m³/s, maior largura, 1.700 m e menor profundidade, 5,7 m. Caracterizada por uma frequência de 67% de areia média.

Tabela 9 – Resumo dos dados de vazão, largura, profundidade e granulometria característica dos pontos de amostragem.

Seções	Vazão (m³/s)	Largura (m)	Profundidade (m)	Granulometria característica
CA-01	8489,21	1.600	6,0	areia média – 68% finos – 4%
CA-02	8475,69	1.660	6,3	cascalho – 34% areia média – 45%
CA-03	8421,45	1.700	5,7	areia média – 67%

Os pontos CA-01 e CA-03 possuem uma granulometria semelhante, não sendo influenciada pela pouca diferença da vazão. Já o ponto CA-02 é distinto aos outros dois, essa diferença é dada pela alta concentração de cascalho indicando uma área fonte, é possível citar o travessão de Santa Maria Velha pela proximidade com o ponto.

As amostras apresentaram, como um todo, porcentagens muito baixas de matéria orgânica.

Com a análise estatística foi estudado o comportamento do sinal ensonificado, assim, foi possível declarar que efetivamente o retroespalhamento do sinal caracteriza-se pelo tipo de sedimento e pela morfologia do fundo. A direção dos ângulos de incidência dos feixes também influencia nos padrões sonográficos.

Primeira ordem

Na imagem CA-01 com escala de cinza normal (Figura 28) o nível de cinza mais frequente foi o 201 (número de ocorrência – 427), mostrando uma predominância de sedimento menos refletivo. Possui um range dinâmico e contraste moderadamente altos, indicando um padrão heterogêneo.

A imagem CA-01 com escala de cinza invertida (Figura 30) também possui um nível de cinza mais frequente (200, número de ocorrência – 126), mas não foi tão discrepante com o todo como no caso anterior. Mas seu range dinâmico e contraste são mais altos, indicando um padrão mais heterogêneo.

Pode-se observar nesse padrão uma feição morfológica de fundo característica (*sand waves e/ou mega ripples*), indicando uma dinâmica sedimentar maior, por causa da vazão (seção onde foi registrado a maior vazão) e/ou granulometria indicando, com isso, uma correlação com a heterogeneidade desse padrão.

Com essas diferenças no histograma desses dois casos foi possível observar como a mudança na direção do ângulo de incidência dos feixes influenciaram no padrão sonográfico.

Na imagem CA-02 com escala de cinza normal (Figura 32) o nível de cinza mais frequente foi o 201 (número de ocorrência – 140), porém seu range dinâmico e contraste são relativamente baixos, diferente da amostra CA-01, mostrando que a imagem foi formada por poucos níveis de cinza e uma boa distribuição entre eles, indicando uma homogeneidade. Os menores valores calculados dessas duas características foram nesse caso.

Já a imagem CA-02 com escala de cinza invertida (Figura 34) mostra um comportamento diferente da imagem CA-02 com escala de cinza normal. Diferente dos três primeiros casos essa imagem possui um nível de cinza com maior frequência mais mediano e não discordante com relação ao todo (135, número de ocorrência – 60). Entretanto seu range dinâmico é alto, conseqüentemente resultou em um contraste alto também, maiores valores entre as quatro imagens. Ao analisar o histograma observa-se uma boa distribuição na frequência dos níveis de cinza, mas como a imagem foi formada por muitos níveis de cinza o contraste foi alto.

A seção CA-02 é recoberta por cascalho e afloramentos rochosos, sedimentos mais refletivos, possivelmente foram os que atribuíram para a considerável divergência do histograma nos dois casos da amostra CA-02.

Novamente foi possível observar como a mudança na direção do ângulo de incidência dos feixes influenciaram no padrão sonográfico.

Os resultados obtidos a partir da análise de primeira ordem não foram suficientes para padronizar as texturas. Os histogramas são afetados pelo ângulo de incidência dos feixes e este método não toma em conta a posição e/ou distribuição dos píxeis.

Segunda ordem

A imagem CA-01 apresentou valores semelhantes nos dois casos (Figuras 29 e 31), sendo a Entropia um pouco maior que o IDM e o ASM assumiu valores bem menores quando relacionado com as outras duas características texturais.

Relacionando a Entropia, ASM e IDM, pode-se considerar que a imagem CA-01 é heterogênea e a mudança do ângulo de incidência dos feixes não afetaram as GLCMs. Essa heterogeneidade foi correlacionada com a morfologia no fundo fluvial nessa área, como na análise de primeira ordem.

Na imagem CA-02 os valores também são semelhantes nos dois casos (Figuras 33 e 35). As características possuem um comportamento parecido com as da imagem CA-01. A Entropia é um pouco maior que o IDM, mas possuem um intervalo maior

entre seu mínimo e máximo. O ASM também apresentou valores menores que as outras duas características, mas maiores que os do ASM da imagem CA-01. O ASM e o IDM são maiores que as da imagem CA-01.

Com a relação das três características texturas também pode-se considerar a imagem CA-02 como heterogênea, mas menos que a imagem CA-01. A granulometria dessa área é mais refletiva, desse modo, com propensão a formação de imagem heterogênea, mas como na imagem anterior foi observado uma morfologia no fundo fluvial, pode-se atribuir isso como a razão de a imagem CA-01 ser mais heterogênea que a imagem CA-02.

Nessa imagem a mudança do ângulo de incidência dos feixes também não afetaram os cálculos da GLCMs.

Note-se que os valores da tabela 8 são semelhantes, o que pode ter sido devido a predominância de areia média nas amostras. Mas por outro lado, como pode ser visto nos gráficos gerados, as correlações variam com o tipo de amostra analisada.

Pode-se dizer que as variações destas correlações no presente trabalho foram mais suscetíveis a geomorfologia do fundo do que a granulometria.

Comparação entre sedimentos arenosos (rio Araguaia) e lamosos (Mar do Caribe – Venezuela)

Segue uma comparação com os resultados do trabalho de Corzo Moya (2014).

Na análise de primeira ordem os sedimentos lamosos do Mar do Caribe apresentaram os valores de range dinâmico e de contraste menores em relação aos do presente trabalho. Em média, o range dinâmico e contraste desse trabalho é 173,50 e 0,777, respectivamente, contra 50,219 e 0,114 dos sedimentos lamosos.

O range dinâmico menor mostrou que as imagens sonográficas dos sedimentos lamosos foram formadas por poucos níveis de cinza. Indicando, assim, que são mais homogêneas que as imagens dos sedimentos arenosos.

Já na análise de segunda ordem os sedimentos lamosos apresentaram os valores de Entropia, ASM e IDM maiores que os dos sedimentos arenosos. Em média, o

intervalo de Entropia, ASM e IDM desse trabalho é $4,214 \cdot 10^{-6} - 3,571 \cdot 10^{-4}$; $7,832 \cdot 10^{-14} - 1,226 \cdot 10^{-9}$ e $6,404 \cdot 10^{-12} - 3,458 \cdot 10^{-5}$, respectivamente, contra $1,603 \cdot 10^{-4} - 2,376$; $2,138 \cdot 10^{-10} - 2,823 \cdot 10^{-2}$ e $4,913 \cdot 10^{-9} - 0,126$. Pode-se considerar que quanto maior a granulometria menor os valores desses parâmetros.

Porém a diferença entre Entropia vs ASM e Entropia vs IDM é menor, indicando uma melhor homogeneidade em sedimentos de granulometria fina.

8 Conclusão

A comprovação da eficiência na utilização de técnicas de classificação automática de contrastes dos padrões sonográficos abre novas possibilidades e vantagens para o método qualitativo. Seu uso otimiza o levantamento geofísico de uma região por vários aspectos. Em casos de levantamentos de larga escala, quando grande quantidade de imagens é obtida, o árduo trabalho do intérprete, inevitavelmente com certa subjetividade, poderá ser substituído pela objetiva e consistente análise automática das imagens.

A análise quantitativa do registro sonográfico otimiza o mapeamento do fundo subaquática e a interpretação sonográfica pode ser realizada de forma mais precisa. Por ser um método indireto de coleta de dados, o imageamento com SVL não dispensa a parametrização com amostragem geológica. O mosaico permite a parametrização seja mais eficaz, já que os pontos de coleta podem ser selecionados em diferentes padrões sonográficos pelo aspecto qualitativo e quantitativo.

Através da análise estatística de primeira ordem os resultados obtidos foram poucos satisfatórios, como já observado em diferentes trabalhos de análise de imagens como este método. Pode ser visto também que os resultados obtidos foram influenciados pelo ângulo de incidência dos feixes.

Com a análise de segunda ordem as correlações foram muito boas, mesmo admitindo que teve alguns valores irregulares. E não foram influenciadas pelo ângulo de incidência dos feixes.

Com esse trabalho pode-se dizer que as variações destas correlações são suscetíveis a morfologia de fundo.

Referência bibliográfica

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, 2000, 116 p.

ALBREGTSEN, F. **Statistical texture measures computed from gray level cooccurrence matrices**. Image processing laboratory, Department of informatics, University of Oslo, 2008, 14 p.

APPLIED SCIENCE ASSOCIATES SOUTH AMERICA - ASA. Coleta de dados hidrográficos e modelagem numérica no rio Araguaia - **Relatório de coleta de dados**. Rev. 00, São Paulo, maio de 2009, 35 p.

AQUINO, S. S.; LATRUBESSE, E. M. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 1, p. 43-54, 2009.

AQUINO, S. S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA FILHO, E. E.; Relações entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 361-369, 2008.

AQUINO, S. S.; STEVAX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfo-hidráulico do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 6, n. 2, p. 29-41, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016, 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995, 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988, 13 p.

AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 241-256. 2000.

BLONDEL, P. **The handbook of sidescan sonar**. Berlim: Springer Link, 2009, 316 p. (Springer Praxis Books)

BLONDEL, P.; MURTON, B. J. **Handbook of seafloor sonar imagery**. Nova Jersey: Wiley, 1997, 314 p., 1997. (Wiley-Praxis Series in Remote Sensing).

BLONDEL, P.; PARSON, L. M.; ROBIGO, V. TexAn: Textural Analysis of SideScan Sonar Imagery and generic seafloor Characterisation. In: OCEANS'98 CONFERENCE PROCEEDINGS, 1998, Nice. **Anais...** Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eleticistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 1998, v. 1, p. 419-423.

CHANDRARATNE, M. R. Comparison of three statistical texture measures for lamb Grading. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL AND INFORMATION SYSTEMS, 2006, Peradeniya. **Anais...** Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eleticistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 2006, p. 513-518.

CHANG, P.; KRUMM, J. Object recognition with color cooccurrence histograms. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 1999, Fort Collins. **Anais...** Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eleticistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 1999, v. 2, p. 498-504.

COLLIER, J. S.; BROWN, C. J. Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. **Marine Geology**, v. 214, n. 4, p. 431-449, 2005.

CORZO MOYA, E. A. **Caracterização de atributos de imagens de sonar de varredura lateral para fins de mapeamento do fundo marinho**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

DAMUTH, J. E. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. **Marine Geology**, v. 18, n. 2, p. 17-45, 1975.

EMBRAPA. Manual de edafologia: relações solo-planta. **Bases de dados da pesquisa agropecuária**. São Paulo, 1979, 262 p.

FAZANO, C. A. T. V. A aplicação da análise de imagem na quantificação das características microestruturais de materiais. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 19, ano 4, p. 46-60, 2005.

GADHKARI, D. **Image quality analysis using GLCM**. 2004, 120 f. Thesis (Master of Science in Modeling and Simulation) - College of Arts and Sciences, University of Central Florida, Orlando, 2004.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. Addison-Wesley, 1992.

GEOLEVEL. Descrição da área de atuação. Disponível em:
<http://www.geolevel.com.br/?page_id=529>. Acesso em: 26 de jun. de 2014.

GOLF, J. A.; OLSON, H. C.; DUNCAN, C. S. Correlation of side-scan backscatter intensity with grain-size distribution on shelf sediments, New Jersey margin. **Geo-Marine Letters**, Springer Berlin Heidelberg, v. 20, n. 1, p. 43-49, 2000.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM K.; DINSTEN I. Textural features for image classification. In: IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 1973. **Anais...** Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eletricistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 1973, v. 3, n. 6, p. 610-621.

HASUI, Y.; HENNIES, W. T.; IWANUCH, W. Idades potássio-argônio do Pré-Cambriano da Região Centro-Norte do Brasil. **Geologia USP**, São Paulo, v. 6, p. 77-83, 1975.

HEAD, M. **Use of high-resolution sidescan sonar data to quantitatively map and monitor a mid-continental shelf harbottom: 23-mile site, Onslow Bay, NC.** 2004. 99 f. Thesis of Master Degree - Department of Earth Sciences, University of North Carolina, Wilmington, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Hidrovia do Araguaia: investigação de problemas ambientais locais advindos de obras de pequeno porte e do tráfego de comboios de carga.** Relatório técnico, 2012.

JOHNSON, H. P.; HELFERTY, M. The geological interpretation of side-scan sonar. **Reviews of Geophysics**, v. 28, n. 4, p. 357-380, 1990.

KEBAPCI H.; YANIKOGLU B.; UNAL G. Plant image retrieval using color, shape and texture features. **The Computer Journal**, Oxford University Press, v. 54, n. 9, p. 1475-1490, 2010.

KONG F. H.; Image retrieval using both color and texture features. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS, 2009, Dalian. **Anais...** Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eletricistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 2009, v. 4, p. 2228-2232.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory Methods. In: _____. **Methods of soil analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods**, SSSA Book Series 5, n. 1. Fitchburg: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA, 1986. p. 635-662.

KUNTTU, I.; LEPISTO, L.; RAUHAMAA, J.; VISA A. Binary histogram in image classification for retrieval purposes. In: 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE IN CENTRAL EUROPE ON COMPUTER GRAPHICS, VISUALIZATION AND COMPUTER VISION, 2003, Plzen. **Anais...** Journal of WSCG, 2003, p. 269-273.

L-3 KLEIN ASSOCIATES. Descrição da área de atuação, galeria de imagens / dados amostras. Disponível em: <<http://www.l-3mps.com/klein/portl/gallery.aspx>>. Acesso em: 10 de ago. de 2015.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Supplementband Issues, Berlin, v. 129, p. 109-127, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do rio Araguaia, Brasil central. **Revista Geociências - UNG**, Guarulhos, v. 5, n. 1, p. 67-75, 2006.

LEAL, A. C. P. **Segmentación de Imágenes por Textura**. 2006. 98 f. Informe de Memoria de Título Ingeniero Civil Electrónico - Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Concepción, 2006.

MUSTAFA M.; TAIB M. N.; MURAT Z. H.; LIAS S. GLCM texture feature reduction for EEG spectrogram image using PCA. In: IEEE STUDENT CONFERENCE ON RESEARCH AND DEVELOPMENT, 2010, Kuala Lumpur. Resumo... Estados Unidos da América: Instituto de Engenheiros e Eleticistas e Eletrônicos - IEEE conference publications, 2010, p. 426-429.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. Nova Jersey: Wiley, 1997, 796 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Programa levantamento geológicos básicos do Brasil**, carta metalogenética, folha Conceição do Araguaia - SC.22-X-B. Goiânia, 1994, anexo I. Escala 1:250.000.

SHARMA N.; RAY A. K.; SHARMA S.; SHUKLA K. K.; PRADHAN S.; AGGARWAL L. M. Segmentation and classification of medical images using texture-primitive features: application of BAM-type artificial neural network, **Journal of Medical Physics**, Medknow Publications, Índia, v. 33, n. 3, p. 119-126, 2008.

SILVA, R.W. S.; SÁ, J. H. da S. Feições geológicas e magnetométricas da região do baixo Araguaia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982, p.259-269.

SUPERINTENDÊNCIA DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS - SGM-GO. 2006. Caracterização climática do estado de Goiás. 2006, n. 3, 133 p. (Série geologia e mineração).

SINGH V., MOHAN RAO, S. Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification. **Minerals Engineering**, Elsevier, v. 18, n. 15, p. 1412-1420, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH. Agência Nacional de Águas - ANA. Divisão Hidrográfica Nacional - Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental. Disponível em: <www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaD.asp>. Acesso em: 11 de ago. de 2008.

SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. **Image processing, analysis and machine vision**. Albany: Brooks/cole, second edition, 1999.

SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. 2006. 311 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TAO, G.; KING, S.; NABI-BIDHEDI, M. Ultrasonic wave propagation in dry and brine-saturated sandstones as function of effective stress: laboratory measurements and modeling. **Geophysical Prospecting**, Nova Jersey: Wiley, v. 43, n. 3, p: 299-327, 1995.

TELEDYNE RD INSTRUMENTS. Ficha de dados. Disponível em: <http://www.rdinstruments.com/datasheets/wh_sentinel.pdf>. Acesso em: 02 de set. de 2015.

TELFORD, W.; GELDART, L.; SHERIFF, R.; AND KEYS, D. **Applied geophysics**. Cambridge University Press, 1976.

TIRUMAZHISAI, K. M. **Development of Gray Level Co-occurrence Matrix based Support Vector Machines for Particulate Matter Characterization**. 2012. 100 f. Master of Science Degree in Engineering - University of Toledo, Toledo, 2012.

TUCERYAN M.; JAIN A.K. Texture analysis. In: _____. **The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision**. Singapura: World Scientific, 1998. cap. 2.1 , p. 235-276.

UNESCO. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. **UNESCO Technical Papers in Marine Science**. Paris, 1983, n. 44, 53 p.

USGS, U.S. Geological Survey. Descrição da área de atuação, sonar de varredura lateral. Disponível em:

<<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/sonar.htm>>. Acesso em: 05 de ago. de 2014.

VALENTE, C. R. **Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

WEVER, T. F.; FIEDLER, H. M.; FECHNER, G.; ABEGG, F.; STENDER, I. H. Side-scan and acoustic subbottom characterization of the sea floor near the Dry Tortugas, Florida. **Geo-Marine Letters**, Springer Berlin Heidelberg, v. 17, n. 4, p. 246-252, 1997.

ZHANG D.; LU G. A comparative study of curvature scale space and Fourier descriptors for shaped-based image retrieval. **Journal of Visual Communication and Image Representation**, Elsevier, v. 14, n. 1, p. 39-57, 2003.