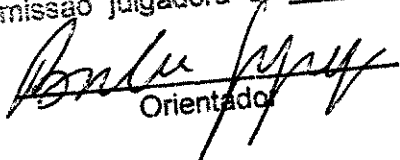


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE VERTICAL DE SUCESSÕES DE  
DEPÓSITOS GRAVITACIONAIS MARINHOS  
PROFUNDOS, DO CAMBRIANO INFERIOR, NA  
UNIDADE APIÚNA, GRUPO ITAJAÍ, ESTADO  
DE SANTA CATARINA.**

Este exemplar corresponde a redação final  
da tese defendida por PAULO HENRIQUE  
TAVARES CESAR e aprovada  
pela comissão julgadora em 04/05/2007

  
Orientador

Autor: **Paulo Henrique Tavares Cesar**  
Orientador: **Giorgio Basilici**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO**

**ANÁLISE VERTICAL DE SUCESSÕES DE  
DEPÓSITOS GRAVITACIONAIS MARINHOS  
PROFUNDOS, DO CAMBRIANO INFERIOR, NA  
UNIDADE APIÚNA, GRUPO ITAJAÍ, ESTADO  
DE SANTA CATARINA.**

**Autor: Paulo Henrique Tavares Cesar**

**Orientador: Giorgio Basilici**

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia do Petróleo.

Campinas, 2001  
S.P. - Brasil

**UNICAMP**  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

|            |           |
|------------|-----------|
| UNIDADE    | B l       |
| Nº CHAMADA | UNICAMP   |
|            | C337a     |
| V          |           |
| TELEFONE   | 48929     |
| FAX        | 16-837102 |
| PREÇO      | R\$ 11,00 |
| DATA       | 10/05/02  |
| Nº CPD     |           |

CM00167258-2

BIB ID 239969

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C337a Cesar, Paulo Henrique Tavares.  
Análise vertical de sucessões de depósitos gravitacionais marinhos profundos, do cambriano inferior, na unidade Apiúna, grupo Itajaí, estado de Santa Catarina / Paulo Henrique Tavares Cesar. --Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Giorgio Basilici.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Fourier, Análise de. 2. Markov, Processos de. 3. Fácies (Geologia). 4. Reservatório – Sedimentação. I. Basilici, Giorgio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

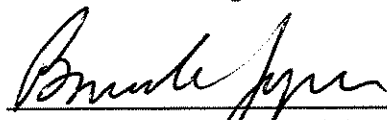
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
SUB-COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR EM ENGENHARIA MECÂNICA E  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE PETRÓLEO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

**Análise Vertical de Sucessões de Depósitos  
Gravitacionais, Marinhos Profundos do  
Cambriano Inferior, na Unidade Apiúna,  
Santa Catarina.**

**Autor: Paulo Henrique Távares Cesar**

**Orientador: Giorgio Basilici**



**Prof. Dr. Giorgio Basilici – Presidente  
Instituto de Geociências**



**Prof. Dr. Benjamin Bordin  
Instituto de Matemática, Estatística e Ciências da Computação**



**Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes  
Universidade Federal do Paraná – UFPR**

Campinas, 04 de maio de 2001

h000000

## Resumo

CESAR, Paulo Henrique Tavares. *Análise Vertical de Sucessões de Depósitos Gravitacionais Marinhos Profundos, do Cambriano Inferior, na Unidade Apiúna, Grupo Itajaí, Estado de Santa Catarina*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 115 p. Tese (Mestrado).

O presente trabalho é uma análise vertical de depósitos marinhos profundos, cujos processos deposicionais se dá por fluxos gravitacionais, na Unidade Apiúna, na Bacia do Itajaí, Estado de Santa Catarina.

Os dados estão dispostos em 5 seções, das quais as 4 primeiras são correlacionáveis, com aproximadamente 200 metros de espessura total, 524 camadas e 102 transições de fácies. Em que a média das camadas é de 25 cm

Através da transformada de Fourier, no domínio da frequência obteve-se os seguintes dados: nenhum ciclo na seção 1; 2 ciclos na seção 2; 11 ciclos na seção 3; 6 ciclos na seção 4; 4 ciclos na seção 5 e 16 ciclos nas seções 1-4, que puderam ser correlacionáveis. As frequências (ciclos), foram definidas com o auxílio da análise visual da seções.

Com relação aos ciclos de afinamento ou engrossamento ascendente (megassequências), os resultados foram: engrossamento ascendente: 2 na seção 2, 6 na seção 3, 2 na seção 4 e 18 na seções 1-4, enquanto que o afinamento ascendente: 3 na seção 3, 3 na seção 4, 3 na seção 5 e 10 nas seções 1-4. Existe diferença entre a análise visual e a função da frequência, porém as megassequências, foram definidas segundo a análise visual

A análise de Markov corrobora que as principais transições estão inseridas num contexto de lençóis de areia, proximais e distais, em que ocorre a intercalação de arenitos

fino a médio, intercalados com finas camadas de arenito com siltito, respectivamente fácies D e E.

Diante de tais observações foi possível refutar a inclusão da Unidade Apiúna, num clássico depósito de leques profundos supridos por canyon, pois como largamente disposto na literatura, estes depósitos apresentam seqüências de engrossamento ou afinamento ascendente (*thinning e thickening upward*), o que se expressa nas 5 seções de maneira bastante tímida. Quanto aos trends de granulometria, que pode refletir que o mecanismo de deposição, o fluxo de detritos (*debris flow*) é dominante, em detrimento de correntes de turbidez (*turbidite currents*), isto porque não é comum a gradação ascendente nas camadas de arenito, sendo somente no topo de algumas camadas que ocorrem este último fenômeno.

Foi possível diferenciar quatro associações de fácies, numeradas de 1 a 4 a seguir: depósitos de *slope*, depósitos de lençóis de areia proximais, depósitos de lençóis de areia distais e finalmente depósitos de canal-dique marginal.

#### *Palavras Chave*

- Transformada de Fourier, Cadeia de Markov, ciclos de afinamento e engrossamento ascendente, fácies.

## Abstract

CESAR, Paulo Henrique Tavares. *Análise Vertical de Sucessões de Depósitos Gravitacionais Marinhos Profundos, do Cambriano Inferior, na Unidade Apiúna, Grupo Itajaí, Estado de Santa Catarina*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 115 p. Tese (Mestrado).

This work is a vertical analysis of deepwater deposits outcrops, whose depositional processes occurs by gravity flows in the Apiúna Unit, Itajaí Basin, Santa Catarina State.

The data are organized in 5 sections where each section is one outcrop. The sections from 1 to 4 have mutual correlation, with almost 200 m of total thickness, 534 beds and 102 facies transitions.

Through Fourier transform, in the frequency domain, 16 sequences was obtained, defined by visual analysis of thickness beds.

The results for the sequences of thinning and thickening upward were: 10 of thickening upward and 6 of thinning upward. The vertical trends of fining upward are often randomic.

The use of Markov Chain's tool confirmed the main facies transitions which are located in a context of sheet sands, proximal and distal, in which occurs the superposition of fine to medium (D facies) sandstones with the thin beds of sandstone and siltstone (E facies).

According to the data above, it was possible to refuse the Apiuna Unit as a classical canyon-fed deposits of deep water fan, because of absence of better defined and low abundant sequences of thinning and thickening upward. The debris flow is the main

depositional processes, while turbidity currents occur in the upper part of flow in some sandstone beds. This configuration is showed in the beds with the trend of fining upward.

It was possible to identify four facies associations, namely: slope deposits; proximal sheet sands; distal sheet sands and channel-levee.

*Keywords*

- Fourier Transform, Markov Chains, fining and thickening upward cycles, facies.



## Índice

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Resumo.....                       | iv   |
| Abstract.....                     | vi   |
| Índice.....                       | viii |
| Lista de Figuras.....             | xi   |
| Lista de Tabelas.....             | xiv  |
| Capítulo 1.....                   | 1    |
| Introdução.....                   | 1    |
| Capítulo 2.....                   | 5    |
| Contexto Geológico.....           | 5    |
| Ambientes Marinhos Profundos..... | 11   |
| Capítulo 3.....                   | 17   |
| Metodologia.....                  | 17   |

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 3.1.Obtenção dos Dados.....             | 19 |
| 3.2.Construção da função espessura..... | 23 |
| 3.3.Transformada de Fourier.....        | 25 |
| 3.4.Representação da Granulometria..... | 28 |
| 3.5.Análise estatística dos dados.....  | 30 |
| 3.6.Cadeia de Markov.....               | 31 |
| 3.6.1. Matriz Intrínseca.....           | 33 |
| 3.6.2. Matriz não intrínseca.....       | 34 |
| 3.6.3. Teste chi-quadrado.....          | 37 |
| Capítulo 4.....                         | 38 |
| Apresentação dos Resultados.....        | 38 |
| 4.1.Análise de Fourier.....             | 40 |
| 4.2.Análise da Cadeia de Markov.....    | 69 |
| 4.2.1. Matriz Intrínseca.....           | 69 |
| 4.2.2. Matriz não-Intrínseca.....       | 73 |
| Capítulo 5.....                         | 79 |
| Interpretação dos Resultados.....       | 79 |
| 5.1.Análise Estatística dos Dados.....  | 79 |
| 5.2.Análise de Fourier.....             | 80 |
| 5.3 Cadeia de Markov .....              | 86 |
| Capítulo 6.....                         | 93 |
| Conclusões e discussões.....            | 93 |
| Referências Bibliográficas.....         | 97 |

|                |  |
|----------------|--|
| 6. Anexos..... |  |
|----------------|--|

|     |
|-----|
| 102 |
|-----|

## Lista de Figuras

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1: A localização da Bacia do Itajaí, num contexto regional.....                             | 05 |
| Figura 2.2: Mapa Geológico da Bacia do Itajaí e formações adjacentes.....                            | 06 |
| Figura 2.3: A Bacia do Itajaí inserida no contexto geológico regional.....                           | 07 |
| Figura 2.4: As várias interpretações estratigráficas do Grupo Itajaí.....                            | 10 |
| Figura 2.5A: Exemplo esquemático, simplificado, da formação de um leque<br>Profundo.....             | 14 |
| Figura 2.5B: Exemplo completo de sistema deposicional profundo.....                                  | 14 |
| Figura 2.6: Modelo idealizado de um leque marinho profundo.....                                      | 14 |
| Figura 2.7: Comparação dos dois modelos deposicionais descritos.....                                 | 15 |
| Figura 2.8: Modelo paleogeográfico de uma rampa submarina .....                                      | 16 |
| Figura 3.1: Exemplo de um afloramento em que se pode perceber a<br>individualização das camadas..... | 20 |
| Figura 3.2: Exemplo da conversão das informações do afloramento em informações<br>geológicas.....    | 22 |
| Figura 3.3: Descrição da Seção 1.....                                                                | 23 |
| Figura 3.4: Exemplo de uma função.....                                                               | 24 |

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.5: Função interpolada.....                                                                              | 25 |
| Figura 3.6: A Transformada de <i>Fourier</i> aplicada numa função sem interpolação<br>cúbica <i>spline</i> ..... | 27 |
| Figura 3.7: A Transformada de Fourier aplicada numa função com interpolação cúbica<br><i>spline</i> .....        | 28 |
| Figura 3.8: Representação da Granulometria das Camadas.....                                                      | 30 |
| Figura 3.9: Exemplo de uma sequência de eventos, a partir de espessuras fixas.....                               | 35 |
| Figura 4.1: Desenho esquemático da seção 1 acompanhado da representação das<br>granulometria.....                | 40 |
| Figura 4.2: Gráfico das espessuras das camadas da Seção 1.....                                                   | 41 |
| Figura 4.3: Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 1.....                               | 41 |
| Figura 4.4: Domínio das Frequências da seção 1.....                                                              | 42 |
| Figura 4.5: Desenho Esquemático da Seção 2.....                                                                  | 44 |
| Figura 4.6: Representação das granulometria da seção 2.....                                                      | 45 |
| Figura 4.7: Gráfico das espessuras das camadas da seção 2 .....                                                  | 46 |
| Figura 4.8: Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 2.....                               | 46 |
| Figura 4.9: Domínio das Frequências da seção 2.....                                                              | 47 |
| Figura 4.10: Desenho esquemático da seção 3a.....                                                                | 49 |
| Figura 4.11: Desenho esquemático da seção 3b.....                                                                | 50 |
| Figura 4.12: Representação das granulometria das seções 3a e 3b.....                                             | 51 |
| Figura 4.13: Gráfico das espessuras das camadas das seções 3a e 3b.....                                          | 52 |
| Figura 4.14: Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 3.....                              | 53 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.15: Domínio das Freqüências da seção 3.....                                | 53 |
| Figura 4.16: Desenho esquemático da seção 4.....                                    | 57 |
| Figura 4.17: Representação das granulometria da seção 4.....                        | 58 |
| Figura 4.18: Gráfico das espessuras das camadas da seção 4.....                     | 58 |
| Figura 4.19: Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 4..... | 59 |
| Figura 4.20: Domínio das Freqüências da seção 4.....                                | 59 |
| Figura 4.21: Desenho esquemático da seção 5.....                                    | 61 |
| Figura 4.22: Representação da granulometria da seção 5.....                         | 62 |
| Figura 4.23: Gráfico das espessuras das camadas da seção 5.....                     | 63 |
| Figura 4.24: Representação das espessuras das camadas por intervalo.....            | 63 |
| Figura 4.25: Domínio das Freqüências da seção 5.....                                | 64 |
| Figura 4.26: Representação das granulometria das seções 1-4.....                    | 66 |
| Figura 4.27: Gráfico das espessuras das camadas das seções 1-4.....                 | 67 |
| Figura 4.28: Representação das espessuras das camadas por intervalo.....            | 68 |
| Figura 4.29: Domínio das Freqüências.....                                           | 68 |
| Figura 5.1: Exemplo de um ciclo de engrossamento ascendente na seção 2.....         | 83 |
| Figura 5.2: Freqüência definitiva da seção 2.....                                   | 83 |

## Lista de Tabelas

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1: Características de depósitos de canais e lobos.....    | 13 |
| Tabela 3.1: Classificação granulométrica de Udden e Wentworth..... | 29 |
| Tabela 4.1: Resumo Estatístico das 5 seções -medidas em cm-.....   | 39 |
| Tabela 5.1: Resumo da análise de Fourier.....                      | 81 |
| Tabela 5.2: Valores de chi-quadrado.....                           | 92 |

## Capítulo 1

### Introdução

Nos sistemas deposicionais marinhos profundos, diferente do que vemos em superfície, o principal processo de transporte é o gravitacional.

O estudo dos depósitos subaquáticos profundos se dá, por serem importantes reservatórios de hidrocarbonetos em todo o mundo; o Brasil não foge à regra, basta ver que hoje, aproximadamente 90% das reservas da Petrobrás, encontram-se em depósitos turbidíticos profundos (Stow, 1978), (Bruhn, 1998).

Conseqüentemente, é de suma importância uma compreensão aprofundada de depósitos marinhos profundos, no que tange à geometria, associação de fácies e como próximo passo, a qualidade do reservatório. Pois se por um lado, os depósitos profundos são potencialmente bons reservatórios de hidrocarbonetos, por outro, a recuperação é uma das mais difíceis, se usado os métodos tradicionais (Tyler & Finley, 1991).

Os sistemas marinhos clásticos profundos, cuja deposição é controlada majoritariamente por fluxos gravitacionais. Uma ferramenta poderosa, expressa-se na análise estratigráfica, através da apreciação da variabilidade de diversas características como: espessura, estruturas sedimentares, presença de fósseis, granulometria, continuidade lateral, etc.



Baseado nas observações estratigráficas e suas variações, é possível a reconstrução tridimensional dos ambientes deposicionais, e um destes procedimentos, é a caracterização em fácies, que nada mais é do que um conjunto de características sedimentares, que representa um ambiente deposicional.

Os dois principais processos de transporte que geram os depósitos gravitativos expressam-se através das correntes de turbidez e fluxo de detritos (*debris flow*). E os depósitos formados por estes processos, geralmente apresentam características muito particulares.

Uma destas características se expressa no arranjo vertical tanto da granulometria quanto da espessura. Isto porque os mecanismos físicos durante a deposição, faz com que haja prioridades de sedimentação, devido principalmente à turbulência.

Outra característica muito comum, é o arranjo das espessuras, que também pode ser indicador de um ambiente deposicional específico, devido a principalmente à progradação dos ambientes profundos.

O uso de duas ferramentas matemáticas, correntemente usadas em estratigrafia, que são: a transformada de Fourier<sup>1</sup> e a cadeia de Markov<sup>2</sup>, na qual a primeira é usada para checar a quantidade de ciclos, em linguagem mais simples, verificar a frequência das seqüências de afinamento e engrossamento das espessuras ascendentemente (*thinning and thickening upward*). Este fenômeno também está presente na granulometria, podendo ser de aumento ou diminuição da granulometria (*finning and coarsening upward*).

---

<sup>1</sup> Transformação que permite passar uma função do domínio do tempo para a frequência ou vice-versa. O nome é em homenagem ao matemático francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) (Duarte, 1997).

<sup>2</sup> É uma análise que descreve a relação probabilística entre os eventos adjacentes. O nome é uma homenagem póstuma ao matemático russo A.A. Markov, cuja inspiração foi a alternância das vogais e consoantes do poema *Onegin* de Pushkin.

Enquanto a cadeia de Markov, que se constitui uma ferramenta estatística no sentido de se avaliar qual a probabilidade de, em se estando num determinado ponto, prever qual será a próxima camada. Isto pode ser obtido quando as seqüências verticais não apresentam aleatoriedade.

Não foi deixado de abordar uma análise estatística básica, construindo-se histogramas, avaliando as medidas de dispersão e posição.

Um dos maiores desafios em análise de depósitos profundos é o método que deve ser aplicado; a começar pela proposta de seqüência de Bouma, que data da década de 60 que apesar de largamente usado em todo o mundo por mais de 10 anos, caiu em desuso quando da proposta de Mutti e Ricci-Lucci (1972) popularizaram o uso de diagramas de fácies, o que na prática, inicia-se a controvérsia, que é extremamente sadia, pois é partir destas divergências, é que se consegue evoluir do ponto de vista científico.

O objetivo básico deste trabalho é identificar a quantidade de seqüências existentes das espessuras, ou seja, dado um perfil de um afloramento, mede-se a quantidade de camadas e a espessura de cada uma destas camadas.

Estes dados foram obtidos exclusivamente de afloramentos do Grupo Itajaí, Bacia do Itajaí, contextualizada em uma bacia flexural de antepaís, Estado de Santa Catarina (SC), durante o Cambriano inferior, aproximadamente 600 milhões de anos (Rostirolla e Figueira, 1995).

As variáveis que serão usadas neste trabalho serão: descrição das fácies, granulometria e espessura da camada de 5 seções obtidas às margens da BR-470, das quais foram obtidos 529 camadas em aproximadamente 200 metros verticais e puderam ser divididas em 9 fácies, totalizando 102 divisões de fácies, nas seções 1 a 4 e mais fácies, que não ocorrem nas 4 seções anteriores, na seção 5..

O que deve ser enfatizado é que as cinco seções não são necessariamente contínuas, mas levando em considerações as informações geológicas, as seções 1 a 4 foram consideradas contínuas e foi nesta seqüência que foi aplicada a cadeia de Markov.

Os exemplos estudados e modelados de depósitos marinhos profundos são exclusivamente do Hemisfério Norte (Bouma, 1962; Mutti e Ricci-Lucci 1972; Walker 1978). Um dos desafios é a análise dos afloramentos da Bacia do Itajaí, afetado por dois sistemas de dobramentos (Basei *et al.* 1987), além de um intenso intemperismo característico de climas tropicais.

## Capítulo 2

### Contexto Geológico

#### 2.1. BACIA DO ITAJAÍ

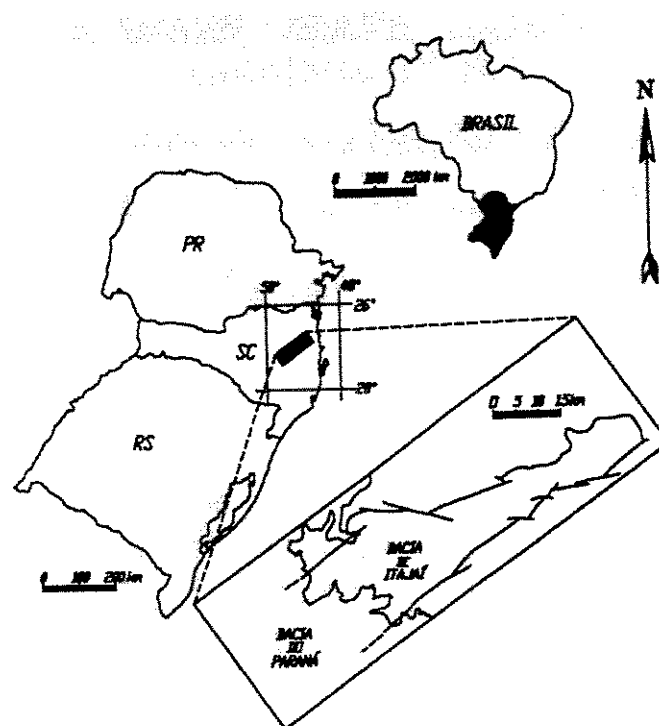


Figura 2.1 – A localização da Bacia do Itajaí, num contexto regional.  
*Fonte: Rostirolla et al, 1992*

A Bacia Sedimentar do Itajaí, localiza-se a leste do estado de Santa Catarina (SC), região sul do Brasil. A bacia tem uma forma alongada de direção aproximada ENE-WSW, ocupando uma área de aproximadamente 130 Km<sup>2</sup> no total, cujas dimensões são: aproximadamente 85 km na direção longitudinal e aproximadamente 25 Km da direção perpendicular à longitudinal, uma espécie de um triângulo, cujo aumento do alargamento, se dá para direção sudoeste (SW).

Dois importantes pontos de referência nesta bacia, é o rio Itajaí-Açú, que também está inserido na bacia, apesar de também cortar as formações adjacentes e a BR-470, que liga o litoral ao interior, e é as suas margens, que obteve todos os dados, além do mais, estas duas referências seguem paralelas por um bom trecho, principalmente na Bacia do Itajaí.

A principal cidade da região é Blumenau, porém os limites da bacia estão entre as cidades de Ascurra e Ilhota, ambas as margens do Rio Itajaí-Açu, cuja distância entre estas duas cidades é de aproximadamente 70 Km; os dados obtidos neste trabalho foram obtidos entre as cidades de Indaial e Apiúna. (fig.2.1 e 2.2).

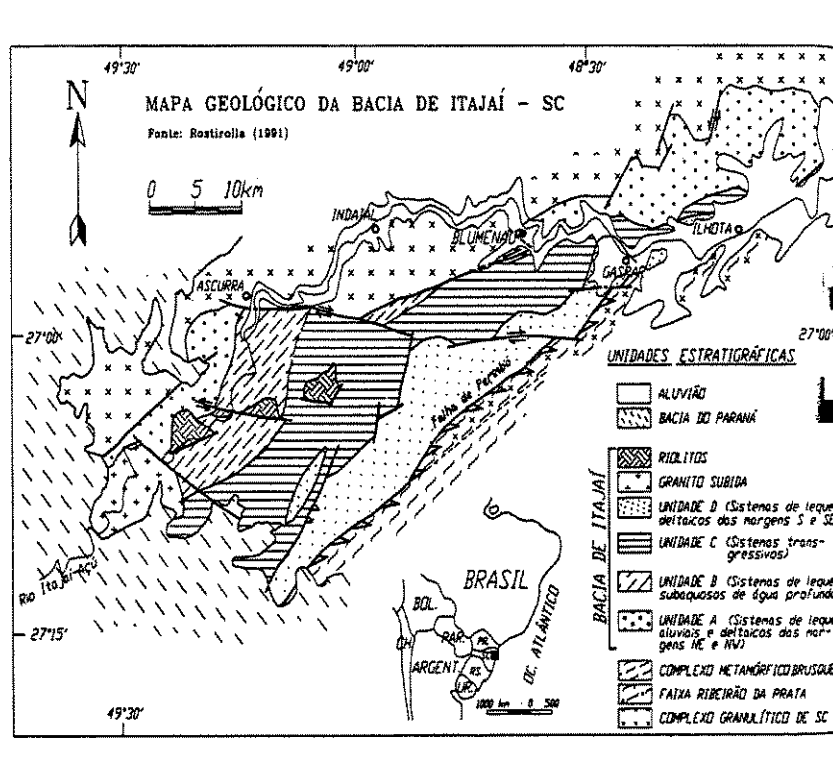


Figura 2.2 - Mapa Geológico da Bacia do Itajaí e formações adjacentes.  
Fonte: Rostirolla *et al*, 1992

### 2.1.1 Grupo Itajaí

A Bacia do Itajaí constitui uma excelente área para o estudo de sistemas deposicionais profundos. Apesar da evolução tectônica distinta das bacias de margem passiva, a bacia possui exposições que possibilitam análises comparativas com depósitos turbidíticos de subsuperfície conhecidos nas bacias de margem leste brasileira, especialmente quanto à descrição de fácies gravitacionais de água profunda (Rostirolla e Figueira, 1995).

O Grupo Itajaí (figura 2.3) corresponde a uma bacia sedimentar do Proterozóico Superior, situada no limite norte do cinturão Orogênico Dom Feliciano (Almeida, 1967; Basei, 1985; Soares, 1988), representando uma bacia *foreland* formada durante o fechamento do cinturão colisional (Rostirolla, 1991).

Quanto à deformação (Basei *et al.* 1987), identificaram dois sistemas de dobramentos afetando o Grupo Itajaí; o primeiro mostra dobras assimétricas, com vergência para NW e orientação dos eixos segundo NE-SW, enquanto o segundo exibe superfície axial N-S e caimento do eixo para sul, configurando dobras descontínuas de grande comprimento de onda.

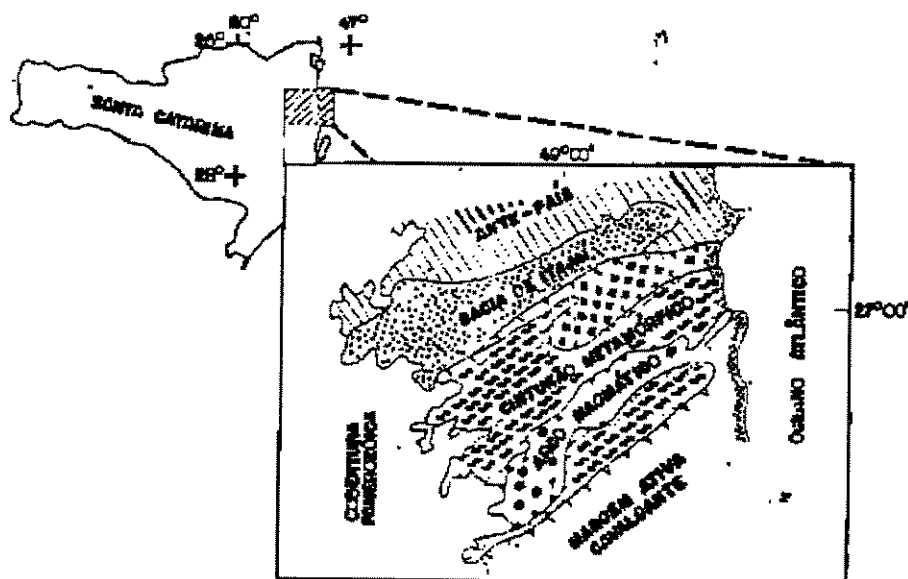


Figura 2.3 – A Bacia do Itajaí inserida no contexto geológico regional  
 Fonte: Rostirolla *et al.*, 1995

## 2.2. Estratigrafia do Grupo Itajaí

Appi (1991) utilizou pela primeira vez no Grupo Itajaí os conceitos da estratigrafia de seqüências propostos por Posamentier & Vail (1988). Embora essa metodologia tenha sido desenvolvida em bacias de margens passivas, os mesmo procedimentos podem também ser adotados para outras bacias onde a atividade tectônica é um fator predominante na construção das seqüências.

Em função da definição de seqüência deposicional, que trata das unidades delimitadas por discordâncias, Appi (1991) dividiu o Grupo Itajaí em duas seqüências uma inferior, denominada Gaspar, e outra superior denominada Garcia, mantendo os nomes já

consagrados (figura 4). É importante notar que tais denominações não tiveram o mesmo significado das propostas litoestratigráficas anteriores, como a de Salamuni et al. (1969) e Silva & Dias (1981). Entretanto, a designação de Gaspar para a Sequência inferior deveu-se à ampla utilização por outros autores, embora tenha significado distinto, com forte conotação cronoestratigráfica. A sequência Garcia, cuja seção-tipo ocorre no bairro homônimo em Blumenau, passou a caracterizar a seção estratigráfica superior, ao contrário dos posicionamentos anteriores.

Os limites entre as unidades, observados em afloramentos, representam quebras importantes na sedimentação e possuem distribuição regional. O limite inferior do Grupo Itajaí, entre a sequência Gaspar e o Complexo Granulítico de Santa Catarina, fez-se de modo discordante erosivo e representa a implantação da sedimentação da bacia. O limite entre as duas unidades sedimentares foi considerado por Appi (1991) análogo ao tipo 1 de Van Wagoner *et al* (1988), por conter sedimentos turbidíticos imediatamente acima, originados da erosão e ressedimentação dos intervalos subjacentes, além de estar distribuído regionalmente na porção bacial.

Na Sequência Gaspar é possível apenas separar dois tratos de sistemas deposicionais, um inferior que aflora nas cidades de Blumenau e Ibirama, denominado de Sistemas de Leques Aluviais e Deltaicos de Blumenau (Appi, 1991) e outro superior que aflora na região de Ibirama, denominado de Sistema Transgressivo de Ibirama.

A Sequência Gaspar formava uma cunha sedimentar retrogradante, a partir do caráter de afinamento do tamanho do grão, diminuição da espessura das camadas e ocorrência de fácies mais distais em direção ao topo dos perfis analisados. Entre os sedimentos grosseiros da base e os sedimentos finos do topo da unidade ocorrem depósitos de plataforma pouco expressivos, fato este que levou Appi (1991) a interpretar esta unidade como uma cunha sedimentar análoga ao tipo rampa.

A Sequência Garcia de Appi (1991) pode ser dividida em três subunidades definidas pelas características de ambientes e associação de fácies sedimentares:



- a) O Complexo turbidítico, que se desenvolveu imediatamente acima da discordância e aflora ao longo da BR 470 nas proximidades de Apiúna com pelo menos 500 metros de espessura, denominado por Appi (1991) de Sistema Turbidítico de Apiúna.
- b) Sistema transgressivo, que contém a superfície máxima transgressão, foi denominado pelo mesmo autor de Sistema de Plataforma de Neisse, estando exposto na porção central e a sudeste.
- c) O sistema progradante com proveniência da borda sudeste da bacia, reconhecido por Rostirolla & Figueira (1995) e denominado por Appi (1991) de Sistema de Leques Deltaicos de Faxinal.

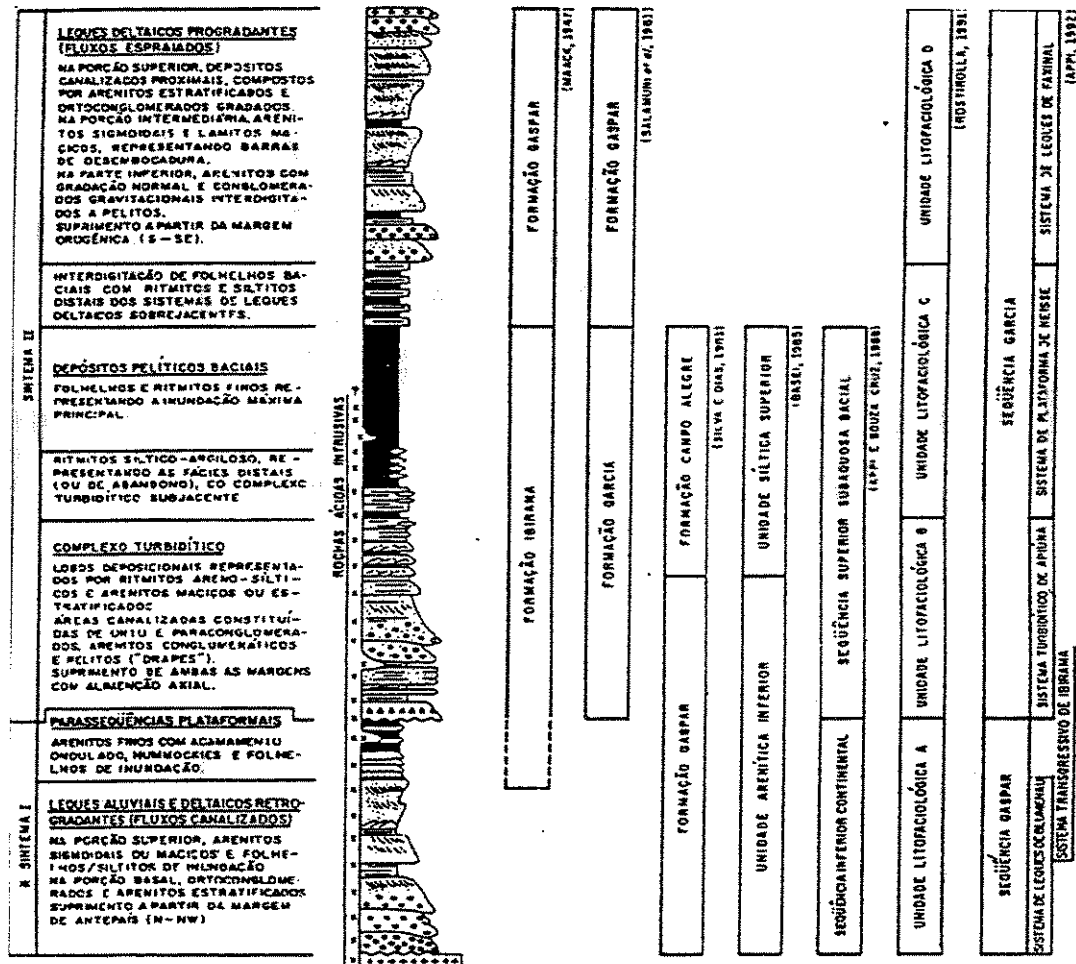


Figura 2.4 – As várias interpretações estratigráficas do Grupo Itajaí  
 Fonte: Rostirolla *et al.*, 1995

### 2.3. - Ambientes Marinhos Profundos

É necessário enfatizar que o contexto da bacia do Itajaí, em especial o sistema turbidítico de Apiúna, que é uma das 3 subunidades da seqüência Garcia, está inserido num contexto de sedimentação, transporte e deposição de ambientes marinhos profundos.

Apesar dos oceanos representarem mais de 70% da superfície terrestre (em área), é inversamente proporcional o seu conhecimento, mas como já foi mencionado na introdução, nos depósitos formados nas águas profundas, é onde se encontram mais de 80% das reservas de hidrocarbonetos. Pois estes ambientes apresentam algumas especificidades como: deposição de matéria orgânica, condições físico-químicas para a conversão em hidrocarbonetos e posteriormente seu aprisionamento em rochas reservatórios, capeadas por rochas selantes.

As rochas reservatórios apresentam todo espectro granulométrico, sendo que o arranjo irá definir as características como permeabilidade (capacidade de um fluido percolar através da rocha) e porosidade (espaços vazios de uma rocha), enquanto que as rochas selantes são aquelas que geralmente apresentam as menores permeabilidades, pois são estas rochas que irão impedir que haja comunicação do fluido com outras camadas.

Nos depósitos de leques profundos, os *canyons* servem como conduintes entre a plataforma continental, cuja profundidade é de até 200 metros, até o leque profundo, que pode atingir até 4.000 metros, estes conduintes transportam sedimentos de diversos tamanhos e pouco selecionados e estão localizados no talude continental, que é a quebra entre a plataforma e a bacia profunda, estes taludes têm inclinações entre 2° e 10°, porém apesar da baixa inclinação, pelos fato de estar sob pressão constante da água (submerso), é muito instável (Pickering *et al*, 1989). Diferente deste modelo, as rampas submarinas não apresentam um único conduinte, pelo contrário, uma rede de canais.

profundo, estes depósitos são os lobos, que são corpos cujo espectro granulométrico, varia de argila a areia grossa, mas principalmente no espectro granulométrico das areias.

Os leques atuais são subdivididos em: proximal, médio e distal, este critério de classificação é em função da distância do talude, e os principais corpos que contém hidrocarbonetos se concentram principalmente nos trechos proximais e médios.

É no lobo médio onde ocorre toda a ramificação de canais, que transportam os constantes volumes de sedimentos vindos do *canyon*.

Para melhor ilustrar a figura 2.6, em planta, um exemplo de um sistema deposicional de leque profundo.

#### 2.3.1. Leques Marinhos Profundos

É definido como um complexo constituído por canais e lobos (ou lençóis de areia) formado de fluxos de sedimentos gravitativos em ambiente marinho profundo, geralmente após a plataforma (*shelf*). (Shanmugam *et al* 1988), (figura 2.5 A e B).

Teoricamente sua configuração deveria ser cônica, porém tantos os leques modernos quanto os antigos, apresentam diversas formas, porém alguns dos atuais leques submarinos, mantiveram a forma cônica como o leques do Mississipi, Nilo e Amazônico. Estas variações da forma (em planta), são resultados de fatores como tectônica, variações do nível do mar, quantidade de sedimento, entre outros. Com relação às dimensões, estes podem ser desde 15 Km (Navy) até 3.000 Km de comprimento (Bengali).

Com relação aos processos gravitativos deposicionais, os dois tipos dominantes em ambientes profundos, são as correntes de turbidez e os fluxos de detritos (*Debris Flow*), geralmente estes dois processos ocorrem associados.

Apesar das controvérsias (Shanmugam, 1997), a maior parte das seqüências de leques submarinos, são compostos por turbiditos, que são rochas resultado de correntes de turbidez, que ocorrem no preenchimento dos canais, lobos e lençóis de areia.

Os componentes dos leques profundos é fruto de diversas controvérsias, pois se baseia numa divisão artificial, principalmente quando se compara um leque de uma determinada região com outro. Para resumir, o critério para reconhecer os componentes dos leques são:

Leque Superior (*Upper fan*) : É onde está presente a maioria dos canais de suprimento, denominado *canyon*.

Leque Médio (*Middle fan*) : É onde se encontra uma rede de canais distributários e depósitos sobrepostos.

Leque Inferior (*Lower fan*) : É onde se encontram os lobos e os lençóis de areia.

A maneira de se identificar os componentes do leque submarino nos registros de rocha, baseia-se num esquema de associação de fácies turbidíticas de Mutti e Ricci-Lucci (1972). A identificação das sete fácies, baseia-se em características sedimentares do estratos, nomeados de A a G.

De qualquer maneira, as duas principais fácies presentes nos depósitos de leques marinhos profundos são os canais e lobos, a tabela abaixo apresenta um breve resumo:

| Características                       | Canais                                    | Lobos                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Espessura                             | 1-50 m                                    | 1-50 m                                  |
| Processo de transporte de Massa       | Fluxo de detritos e correntes de turbidez | Correntes de Turbidez                   |
| Granulometria                         | Conglomerado, arenito e pelito            | Arenito e pelito                        |
| Fácies turbidíticas                   | A e B                                     | C e D                                   |
| Tendências das espessuras das camadas | <i>Fining e thinning upward</i>           | <i>Coarsening and thickening upward</i> |

Tabela 2.1 – Características de depósitos de canais e lobo (Shanmugam e Moiola1988)

É necessário frisar que existem fácies intermediárias entre canais e lobos, denominados transições.

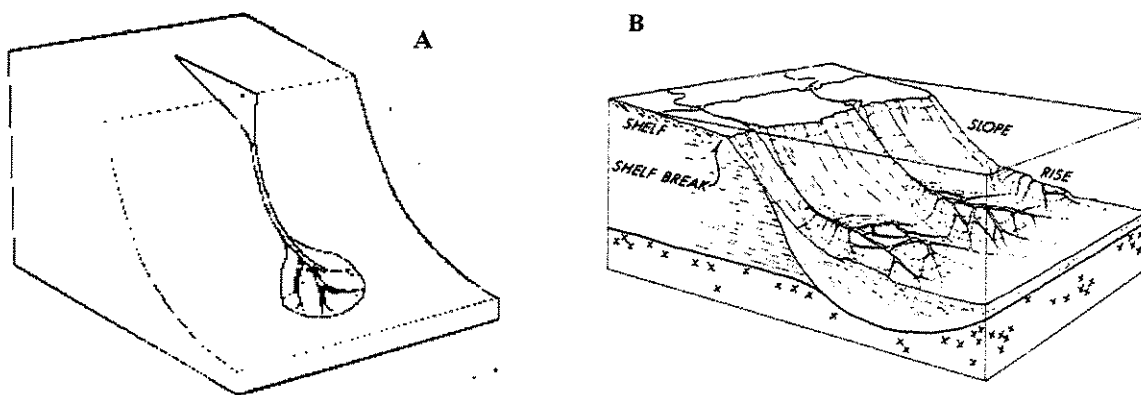


Figura 2.5A. Exemplo esquemático, simplificado, da formação de um leque profundo

Figura 2.5B. Exemplo completo de sistema deposicional profundo.

Fonte: Hyne, N., 1984

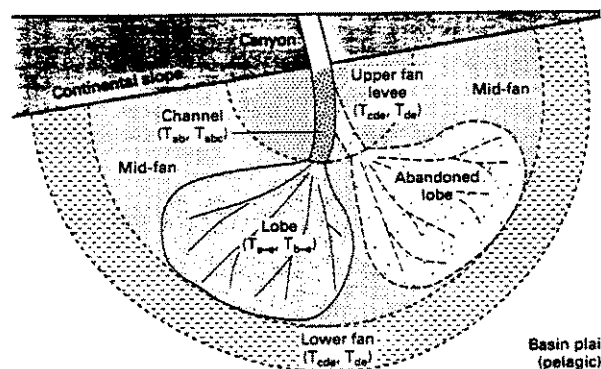


Figura 2.6 Modelo idealizado de um leque marinho profundo

Fonte: Normak, 1978

### 2.3.2. Modelo de Rampa Submarina

Poderia ser considerado como um dos modelos alternativos para depósitos turbidíticos arenosos, neste sistema deposicional, diferente dos leques submarinos, o suprimento de sedimento se dá não por um simples conduto, mas por uma rede de canais (Chan e Dott, 1983), conseqüentemente, a associação de fácies depositados por sistemas de rampa submarina são diferentes daquelas observadas por sistemas de leques profundos suprido por *canyon*.

Existem outras particularidades com relação ao modelo deposicional de rampa submarina, como as dimensões do local que recebe os sedimentos (bacia), neste caso, em geral, a área é muito mais restrita. Outro detalhe é a questão das dimensões do talude, que também é relativamente menos pronunciado e finalmente este tipo de depósitos ocorrem na plataforma continental, ou seja, profundidades relativamente menores.

As principais associações de fácies do sistema de rampa submarina são: rampa distal, rampa proximal, talude e delta (Basilici e Martins, 2001).

Abaixo são apresentadas duas figuras que refletem em planta (figura 2.7) e tridimensional (figura 2.8) de um sistema deposicional esquemático de rampa submarina.

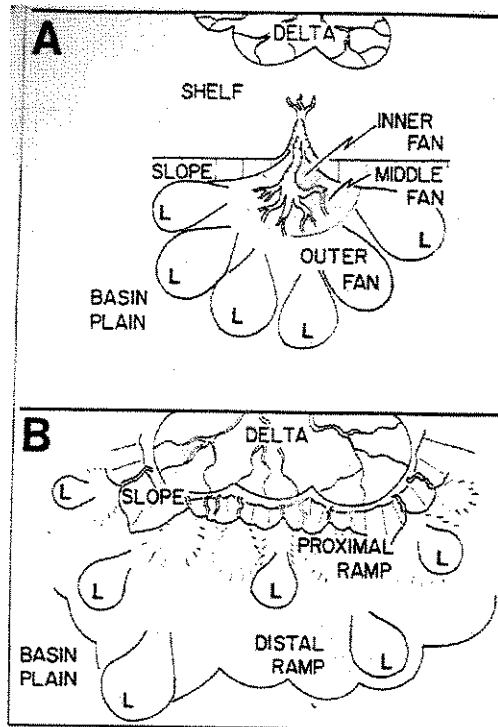


Figura 2.7 Comparação dos dois modelos deposicionais descritos acima. Modelo clássico de Delta submarino(2.7A) e modelo deposicional de rampa submarina suprida por delta (2.7B).

Fonte: modificado de Mutti e Ricci-Lucci, 1972

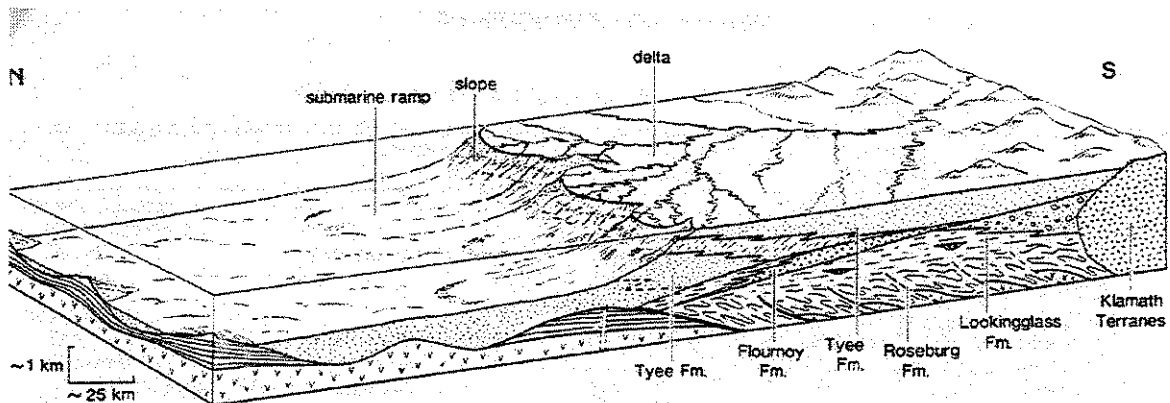


Figura 2.8 Modelo paleogeográfico de uma rampa submarina (Heller e Dickinson, 1985)

## Capítulo 3

### Metodologia

Todos os dados foram obtidos unicamente de afloramentos da Bacia do Itajaí, estado de Santa Catarina, entre as cidades de Indaial e Apiúna, majoritariamente em afloramentos as margens da BR 470, que liga o litoral ao interior, cortando o Estado de Leste a Oeste.

Logo as descrições verticais foram extremamente detalhadas, pois levam em conta em cada afloramento características como: espessura das camadas, continuidade lateral, presença de estruturas sedimentares, granulometria e descrição de fácies.

Como o principal objetivo deste trabalho é análise vertical, foram feitos para cada afloramento, num total de cinco, uma leitura minuciosa, principalmente das variáveis espessura, granulometria e identificação das fácies.

Em escritório, procurou-se dividir as informações em dois blocos. A primeira, no sentido de se checar as seqüências *fining e thickening upward* e eventualmente a quantidade destas. A segunda, identificar as fácies e trabalhar o contexto de aleatoriedade.

No primeiro bloco, é usada a transformada de Fourier, ou seja, dando ênfase ao domínio da frequência, e tentando se descobrir o número da frequência.



No segundo bloco, através da cadeia de Markov, trabalhar em nível de probabilidade, a organização das camadas, e tentar uma correlação seqüencial, ou seja, testar se nas seqüências existe ou não aleatoriedade no arranjo vertical das camadas.

Um dos desafios quanto ao uso de cadeia de Markov, é a espessura que deve ser aplicada, pois as transições de fácies, apresentam variadas espessuras e esta transição deve ser respeitada, porém pode ser feita paralelamente uma análise, baseado em espessuras fixas, independente das transições, esta espessura será a cada 20 cm.

Inicialmente, os 5 (cinco) afloramentos foram denominados de seções, sendo numerados de 1 a 5; cada seção é tratada de maneira independente, obtendo-se as medidas estatísticas de posição e dispersão, série de Fourier no domínio da frequência, interpretação faciológica e finalmente matriz de Markov.

Como as seqüências de 1 a 4 podem ser correlacionáveis, dada a continuidade geológica coerente, foi possível, posteriormente, fazer todo um tratamento único da seqüência 1 a 4.

Quanto às ferramentas usadas, pode-se dizer que foi majoritariamente o programa computacional Matlab 5.3 e programação quando necessário.

Com relação à cadeia de Markov, foi também usado o programa, obtido na internet, SAVFS (Hanqiu Xu & Maccarthy, 1998), que é muito mais elaborado, pois dá a opção de pelo menos três métodos e/ou combinações deles; foi programado em Fortran, versão 77 (Hanqiu Xu, 1998). Porém eu mesmo desenvolvi um pequeno algoritmo que retrata somente parte do método Gingerich-Harper, porém com o objetivo de comparar com o SAVFS.

Não será possível, aplicar a cadeia de Markov em todas as seqüências, dada a restrição de dados, ficando esta análise somente para a totalidade das seções 1 a 4.

Quanto à aplicação da cadeia de Markov, esta se deu de duas maneiras: a primeira como já foi descrita acima, onde a cada transição de fácies, independente da espessura é analisada; e a segunda, é especificar uma espessura fixa, neste caso 20 centímetros e analisar a transição, é facilmente possível antecipar que teremos a diagonal da matriz diferente de zero, já que uma mesma fácies será sobreposta por ela mesma.

Com relação à granulometria, fica impossibilitado o uso de qualquer análise, dado, visualmente, a aleatoriedade das mesmas.

### 3.1 – Obtenção dos Dados

O processo de obtenção dos dados neste trabalho, limita-se aos afloramentos expostos às margens da BR 470, estado de Santa Catarina. Quero enfatizar que a partir da obtenção das informações, vou descrevê-las como variáveis, e estas são: espessura das camadas, granulometria (tamanho dominantes dos grãos), continuidade lateral, cor, estruturas sedimentares (quando presentes).

Em escritório, procura-se integrar os dados, adicionando-se algumas informações, como: divisão em fácies, espessuras totais, espessura por camadas e passar todas estas informações para folhas milimetradas.

A partir destas informações, em papel milimetrado, é que se começa a análise estatística, espessura das camadas e finalmente análise das fácies.

Para cada uma destas análises, usam-se diversos algoritmos matemáticos que serão descritos posteriormente, e para facilitar a compreensão, a figura 3.1, que é uma foto de um dos afloramentos, apresenta como é aproximadamente, o procedimento de obtenção dos dados.



Figura 3.1 –Exemplo de um afloramento em que se pode perceber a individualização das camadas (Foto do local)

A necessidade de se individualizar as respectivas camadas, se dá pelo fato de termos que trabalhar cada uma das variáveis de maneira independente, no caso específico da análise da espessura da camada, dado um empilhamento vertical e conseqüentemente, se existe alguma relação na disposição das espessuras das camadas, pois como já foi colocado, a disposição das espessuras das camadas pode sinalizar um ambiente deposicional específico nos leques profundos, em especial nos canais e nos lobos.

Para exemplificar, as duas figuras a seguir, figuras 3.2 e 3.3, ilustram a conversão dos dados do afloramento para uma interpretação geológica com escala, em que a primeira figura, é somente um simples exemplo para visualização, enquanto que a figura 3.3, é literalmente as informações obtidas na denominada seção 1.

A construção da coluna estratigráfica leva em consideração a granulometria, que será representada na abscissa; a descrição das fácies, percebam que esta definição transgride a definição da espessura da camada, ou seja, as fácies podem ter mais de uma camada;

identificação das espessuras e finalmente descreve o possível ambiente deposicional, baseado nos modelos de depósitos marinhos profundos.

Com relação à obtenção dos dados, este trabalho está dividido em 5 seções verticais, e a figura 3.3 é exatamente a seção 1, que é relativamente a menor seção e que não foi possível nenhuma correlação, do ponto de vista das seqüências *fining e thickening upward*, exatamente pela pouca quantidade de informações.

Os critérios de classificação das fácies, é relativamente livre, podendo-se usar simplesmente as letras do alfabeto no caso da figura 3.2 (Hanqiu Xu & Maccarthy 1998), o autor usa as iniciais de areia, pelito, etc, enquanto que neste trabalho usamos o critério do modelo proposto por Mutti & Ricci Lucci, 1972)

Este modelo usa as 12 primeiras letras do alfabeto e cada uma destas letras se propõe a representar um mecanismo deposicional, nesta primeira seção está representada somente as 4 primeiras letras e a escala, do lado esquerdo, é dada em metros, antecipando que todas as análises matemáticas, são feitas em centímetros.

| Vertical Facies Sequences                                                           | Brief Descriptions                                                                                                                   | Environments                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>Deepening and fining-upward sequence</b>                                                                                          |                                                                          |
|                                                                                     | Mm<br>Greyish black, medium to thickly bedded laminated and massive mudstones with scattered pyrite and phosphatic nodules           | Distal, deeper muddy offshore; low energy                                |
|                                                                                     | Mi                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Mm<br>Dark grey, thickly bedded silt-laminated and massive mudstones                                                                 | Slightly agitated muddy offshore; fluctuation of water energy            |
|    | Mm<br>Dark grey, thickly to very thickly bedded calcareous and non-calcareous massive mudstones                                      | Post-storm deposition; calm calcareous muddy offshore                    |
|                                                                                     | MSL                                                                                                                                  |                                                                          |
|                                                                                     | Mm<br>Dark grey, thickly to very thickly bedded mudstones with thin silty/sandy bands                                                | Muddy offshore; decrease in storm influenced sand transport              |
|                                                                                     | MSL                                                                                                                                  |                                                                          |
|   | <b>Sandier and coarsening-upward sequence</b>                                                                                        |                                                                          |
|                                                                                     | Si                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Sr<br>Grey, medium to thickly bedded quartz arenites with horizontal lamination, cross-lamination and hummocky cross-lamination      | Storm- and wave-dominated lower to middle shoreface                      |
|                                                                                     | Si                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Sr                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Sm<br>Thin sandstones interbedded with bioturbated mudrocks. Heterolithic units with wave-generated structures. Cruziana ichnofacies | Storm- and wave-influenced transitional/lower shoreface zone             |
|                                                                                     | SSL                                                                                                                                  |                                                                          |
|                                                                                     | Sh                                                                                                                                   |                                                                          |
|  | Mm<br>Dark grey, very thickly bedded calcareous and non-calcareous massive mudstones, with crinoidal debris                          | Calcareous muddy offshore; quiet water                                   |
|                                                                                     | Mb                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Mm                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | Mb<br>Dark grey, thickly bedded mudstones, slightly burrowed                                                                         |                                                                          |
|                                                                                     | Mm                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | LST<br>Dark grey, thick calcareous and non-calcareous mudstones interbedded with thin bioclastic limestones                          | Storm-influenced calcareous muddy offshore; low input of carbonate sands |
|                                                                                     | Mm                                                                                                                                   |                                                                          |
|                                                                                     | LST                                                                                                                                  |                                                                          |

Figura 3.2 Exemplo da conversão das informações do afloramento em informações geológicas.

Fonte: Hanqiu Xu., Maccarthy, I.A.J., 1998

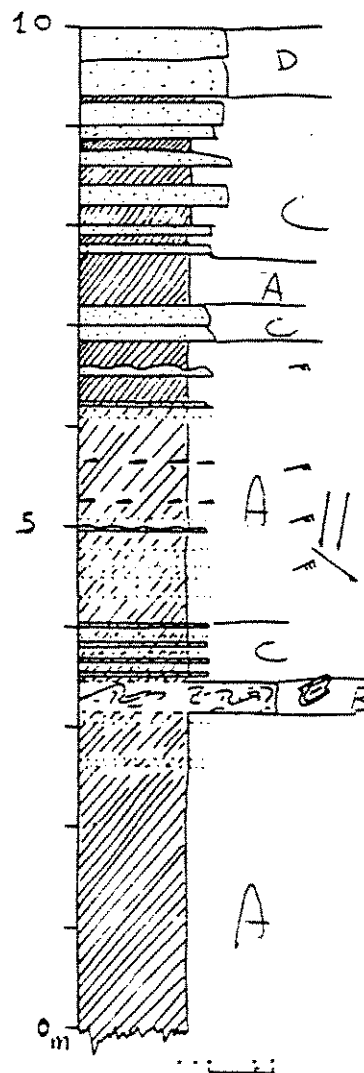


Figura 3.3. Descrição da Seção 1

### 3.2 Construção da Função Espessura

A construção da função espessura, que não necessariamente será aproximada para uma função contínua, até porque todos os algoritmos desenvolvidos e usados, são informações discretizadas, funções que dependem de um par  $(x,y)$ , em que o “ $x$ ” é a espessura da camada e o “ $y$ ” o número da camada, que são representadas por pontos no

gráfico e posteriormente interpolados. Como o gráfico apresentado apresenta-se pouco suavizado, é importante usar um método de interpolação que cumpra esta função.

O método usado para suavizar a função é a interpolação cúbica *spline*, que nada mais é do que um método cúbico de interpolação (Hanselman *et al*, 1999), que aumenta a quantidade de pontos, simplesmente aumentando o número de pares, isto faz com que o gráfico torne-se mais suave.

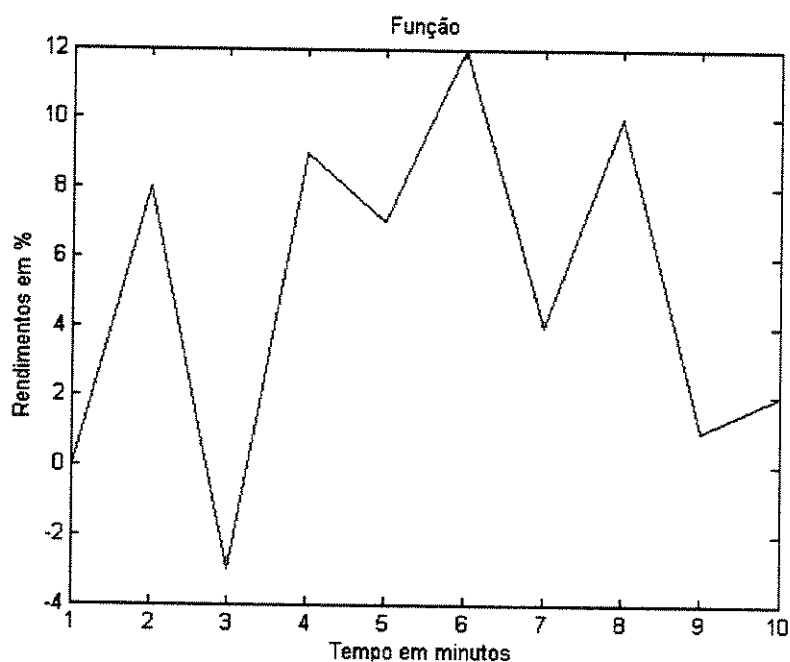


Figura 3.4 – Exemplo de uma função

A justificativa para que a função se torne suavizada, é que facilita quando no uso da transformada de Fourier, que será exemplificada nos próximos itens, pois fica nítido que a representação da frequência fica melhor destacada, porém sem alterar o resultados finais.

Faz-se necessário apresentar o algoritmo de construção da função no Matlab:

```
x=1:10;  
y=[0 8 -3 9 7 12 4 10 1 2];  
xx=1:.1:10;
```

```
yy=spline(x,y,xx);
```

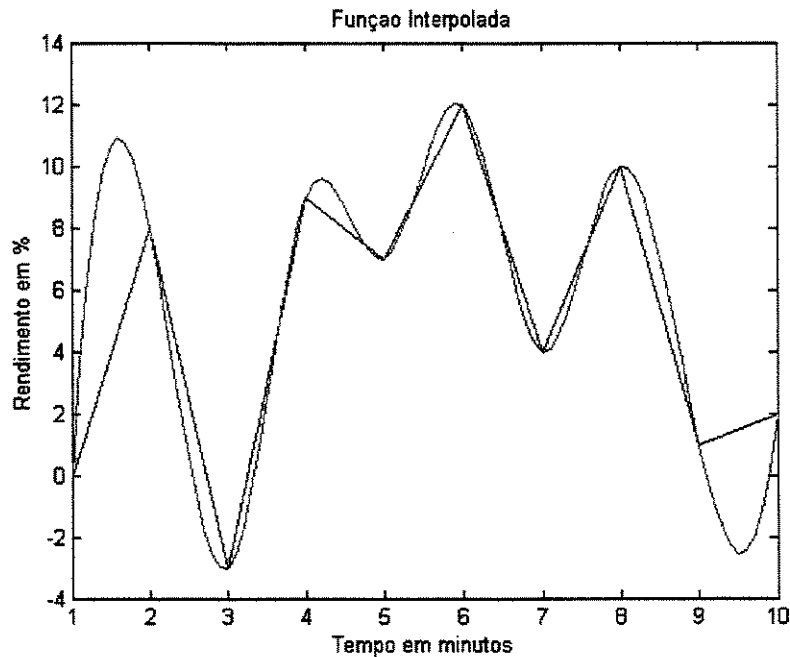


Figura 3.5 – Função interpolada

### 3.3 Transformada de Fourier

No sentido de se identificar a quantidade de seqüências, faz-se necessário o uso da transformada de Fourier, através do algoritmo do *Matlab*, FFT (*Fast Fourier Transform*), cujo objetivo é checar a quantidade de megasseqüências (Brigham, 1988), baseado, na análise visual e comparação entre os métodos. O critério na transformada para a identificação da quantidade de megasseqüências *fining e thickening upward*, são os picos de maior intensidade, ou seja, maiores amplitudes (Lowey, 1992).

É necessário esclarecer o nome Fourier, pois existem pelo menos dois usos de Fourier, porém com objetivos e métodos bastante diferentes. Uma é a série de Fourier, que pode ser resumido como mais um método de interpolação, geralmente aplicada para funções que tenham alguma ciclicidade. Este método se baseia em aproximar uma função por uma



por uma soma infinita:  $\sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi t}{l} + b_n \sin \frac{n\pi t}{l}$ , onde  $l$  é o período (ciclo) da função (Guidorizzi, 1988).

Enquanto que a transformada de Fourier pode ser também resumida, como uma transformada de domínio, por exemplo, do tempo para a frequência e vice-versa.

Neste trabalho a ênfase será dada para a transformada de Fourier, até porque o objetivo é mudança de variável, e levando-se em consideração de que a deposição de cada camada, significa necessariamente uma mudança na escala do tempo, mesmo que os intervalos de tempo não sejam constantes (Ferguson, 1988).

Abaixo está representado, de maneira destacada, o processo de obtenção da transformada de Fourier, lembrando que o processo é reversível, chamada transformada inversa e que a primeira equação é a transformação do domínio do tempo para a frequência, enquanto que a equação imediatamente abaixo, é a transformada da frequência para o tempo (transformada inversa).

É importante enfatizar que o objetivo deste trabalho, só leva em consideração a informação do domínio dos números reais, conseqüentemente, ignorando o valor imaginário.

$$G(f)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e(-itx)dx$$



$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f)(t)e(ixt)dt$$

Os algoritmos do Matlab para a obtenção da transformada estão descritos abaixo:

```
x=1:10;
y=[0 8 -3 9 7 12 4 10 1 2];
f=fft(x);
g=fftshift(abs(f));
ff=fft(y);
gg=fftshift(abs(ff));
subplot(2,1,1),plot(x,y),title('FUNÇÃO');xlabel('Tempo em minutos'); ylabel('Rendimento em %');
subplot(2,1,2),plot(-5:4,g),title('TRANSFORMADA SEM SPLINE');
xlabel('Frequencia');ylabel('Amplitude');axis([-1 10 0 500]);
figure(2);subplot(2,1,2),plot(-45:45,gg),title('TRANSFORMADA DA FUNÇÃO SUAVIZADA');
xlabel('Frequência');ylabel('Amplitude');axis([-10 10 0 600]);
```

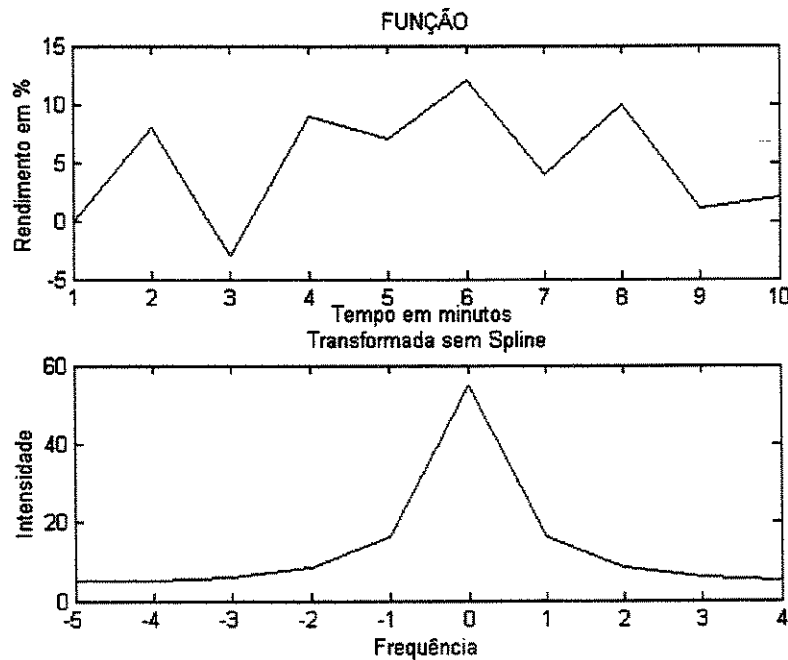


Figura 3.6 – A Transformada de Fourier aplicada numa função sem interpolação cúbica *spline*

O que fica nítido na figura 3.6, é que com exceção da frequência 0 (zero), que neste caso não nos interessa, é possível perceber que existe uma pequena ciclicidade no gráfico da função, expressas na frequência 1, 2 e 3.

A partir daí, fica fácil perceber, que as frequências acima citadas, podem estar dando alguma indicação de frequência dominantes, o que vai ficar claro na figura 3.7, onde a frequência 0 (zero) é a mais destacada, pelas próprias características do algoritmo da transformada rápida de Fourier, porém as frequências 1, 3 e 4, já se destacam, o que pode ser facilmente checado na função suavizada, que existe pelo menos duas frequências, o que se confirma na transformada da função suavizada.

Logo, esta é a justificativa para se usar o algoritmo da interpolação cúbica *spline* para que fique mais nítida a interpretação das frequências dominantes.

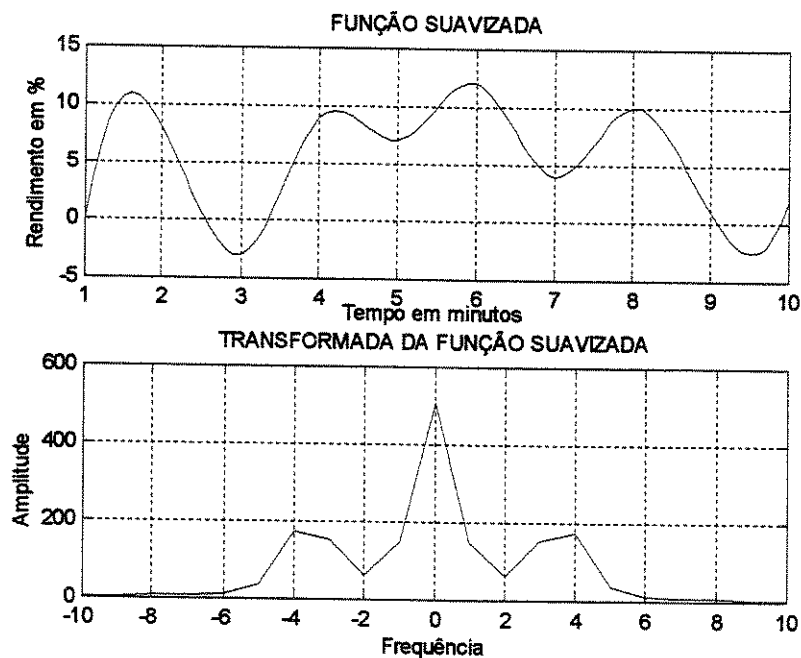


Figura 3.7 – A Transformada de Fourier aplicada numa função com interpolação cúbica *spline*

### 3.4. Representação da Granulometria

Uma das variáveis que me propus a analisar é a granulometria, esta não difere muito do modo de representação da espessura, porém podemos também representá-la de duas maneiras: a primeira, seguindo a orientação da própria camada, ou seja obter a

Uma das variáveis que me propus a analisar é a granulometria, esta não difere muito do modo de representação da espessura, porém podemos também representá-la de duas maneiras: a primeira, seguindo a orientação da própria camada, ou seja obter a granulometria para cada camada; enquanto que a segunda forma de representar, seria fixar uma espessura, por exemplo, 20 cm, e identificar a espessura (figura 3.8).

No caso desta análise, vamos subdividir o espectro granulométrico num espectro convertido em milímetros (mm) e este será a abscissa, enquanto que o número da camada será a ordenada.

A classificação da granulometria, baseia-se na escala Udden e Wentworth (Duarte, 1997), cujo extremos são argila a matacão, está baseada numa escala logarítmica de base 2, segundo a tabela abaixo:

| Diâmetro em mm                    | Classificação      |
|-----------------------------------|--------------------|
| > 256                             | Matacão            |
| 64 – 256                          | Calhau             |
| 4-64                              | Seixo              |
| 2-4                               | Grânulo            |
| 1-2                               | Areia Muito Grossa |
| $\frac{1}{2}$ - 1                 | Areia Grossa       |
| $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$     | Areia Média        |
| $\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{4}$     | Areia Fina         |
| $\frac{1}{16}$ - $\frac{1}{8}$    | Areia Muito Fina   |
| $\frac{1}{32}$ - $\frac{1}{16}$   | Silte Grosso       |
| $\frac{1}{64}$ - $\frac{1}{42}$   | Silte médio        |
| $\frac{1}{128}$ - $\frac{1}{64}$  | Silte fino         |
| $\frac{1}{256}$ - $\frac{1}{128}$ | Silte muito fino   |
| <1/256                            | Argila             |

Tabela 3.1 – Classificação granulométrica de Udden e Wentworth – em que os destaques, são as granulometrias representadas nas seções 1 a 5

Para ilustrar este objetivo, a figura 3.8 expressa esta informação através do comando *barh*, usando o mesmo exemplo da função analítica.

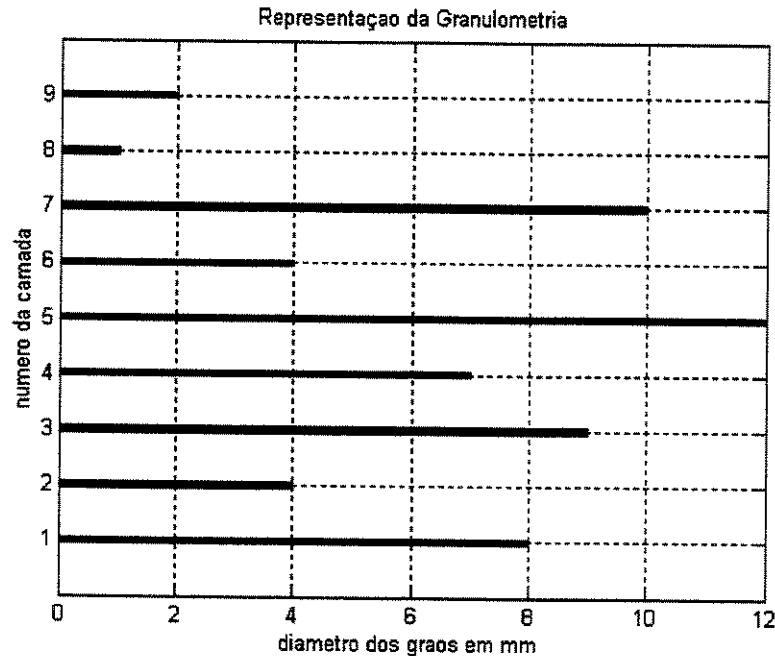


Figura 3.8 – Representação da Granulometria das Camadas

### 3.5. Análise Estatística dos Dados

A análise estatística dos dados não foge muito do tradicional, em que leva-se em consideração a quantidade de informações, neste caso, a análise estatística, deita-se exclusivamente na variável espessura das camada.

Novamente a ferramenta usada, é o programa do Matlab e as ferramentas usadas são as medidas de posição e dispersão (Bussab e Morettin, 1987), em que a primeira é representada pelos comandos: média (diversos tipo de média), mediana, moda, etc; enquanto que a segunda diz respeito aos comandos: variância e desvio padrão, assimetria, kurtosis, etc.

Os histogramas são apresentados com exatamente quinze intervalos, até para padronizar as informações no sentido de comparação entre as seções. É importante enfatizar também aqui que a análise estatística também é centimétrica.

### 3.6 Cadeia de Markov

É um método analítico, inicialmente desenvolvido pelo matemático russo A. A. Markov, posteriormente aperfeiçoado e anexado a outros parâmetros.

Dada uma seqüência estratigráfica de “n” camadas, o método analisa se existe alguma dependência quanto ao critério de superposição, através de uma matriz de transição, que nada mais é do que, em se estando em um determinado ponto da seqüência, qual é a probabilidade de um outro tipo de camada sobrepô-la, dado o histórico do arranjo estratigráfico.

A matriz transição pode ser de dois tipos: intrínseca e não-intrínseca. A mais comum em sedimentologia é a intrínseca, pois trabalha no princípio da mudança da fácies, independente da espessura da fácies, neste caso, seria fácil concluir que a diagonal da matriz será necessariamente nula, pois uma dada fácies não será sobreposta por ela mesma.

Por outro lado, dependendo do contexto, pode-se criar uma seqüência estratigráfica cujo critério não seria somente a transição das fácies, mas sim através de uma espessura pré-fixada, conseqüentemente haverá sobreposição da mesma fácies, logo a diagonal da matriz seria não nula, conhecida como matriz não-intrínseca.

O princípio básico da Cadeia de Markov é: dada uma matriz quadrada de dimensão ‘n’, em que cada elemento  $a_{ij}$  representa uma transição, que parte da linha para a coluna. Digamos por exemplo, uma matriz 4x4, cujas transições vai de A até D, se quisermos saber quantas vezes C sobrepõe D, devemos procurar o elemento  $A_{43}$ .

Para a construção da matriz probabilidade de freqüências, basta dividir cada elemento  $a_{ij}$ , pelo total de linha ou coluna.

Paralelo a isto, foi criado um índice, “chi-quadrado”, no sentido de se checar as diferenças entre a matriz observada e esperada, compara-se este valor com uma tabela dada e checa se a organização vertical das camadas apresenta ou não alguma dependência.

Como último passo, testa-se quais são as correlações mais frequentes, facilmente visualizável a partir da matriz probabilidade de frequências.

No presente trabalho, devido ao pequeno número de informações, se considerado individualmente, as seções, será analisado somente a seção 1 a 4, pois estas quatro seções apresentam correlações geológicas bastante nítidas, a começar pela descrição das fácies.

Com relação à análise das espessuras fixas, esta será de 20 cm, baseado no trabalho de Doveton (1985).

Para facilitar o entendimento do procedimento da cadeia de Markov, é necessário a apresentação de um exemplo, mesmo que simples, para melhor visualização ao leitor, por isso foi obtida uma sequência aleatória, que aqui não está especificado se é uma matriz intrínseca ou não intrínseca, mas é fácil adiantar que é uma matriz intrínseca, pois não existe nenhuma repetição de fácies imediata, ou seja, uma mesma fácies não sobrepõe ela mesma.

A sequência é apresentada como um vetor de 20 informações, cada informação é uma transição, tente imaginar uma sequência vertical, em que cada letra representa, por exemplo, um pelito, um arenito, um arenito com óleo, etc.

Observando a sequência abaixo é fácil prever que será uma matriz de dimensão 5, ou seja, uma matriz quadrada com 5 linhas e cinco colunas

### 3.6.1 Matriz Intrínseca

Na Seqüência abaixo, é apresentado um simples exemplo da construção de uma matriz de transição intrínseca.

Seqüência da base para o topo:[G C G F G D G E G E G E G E G D G C];

Constrói-se a matriz observada das freqüências:

|    |   | Para |   |   |   |   |
|----|---|------|---|---|---|---|
|    |   | G    | C | F | D | E |
| de | G | 0    | 2 | 1 | 2 | 5 |
|    | C | 1    | 0 | 0 | 0 | 2 |
|    | F | 1    | 0 | 0 | 0 | 5 |
|    | D | 2    | 0 | 0 | 0 | 1 |
|    | E | 5    | 0 | 0 | 0 | 0 |

Conseqüentemente a matriz esperada de freqüências:

|    |   | Para |     |      |     |     |
|----|---|------|-----|------|-----|-----|
|    |   | G    | C   | F    | D   | E   |
| de | G | .05  | .11 | .28  | .05 | .5  |
|    | C | .11  | .22 | .55  | .11 | 1   |
|    | F | .28  | .55 | 1.39 | .28 | 1.5 |
|    | D | .05  | .11 | .28  | .05 | .5  |
|    | E | .5   | 1   | 2.5  | .5  | 4.5 |

A correlação entre estas duas matrizes retrata um indicador, conhecido como Chi-quadrado, indicando que existe uma correlação entre as camadas, ou seja, que não existe aleatoriedade, isto é simples observar, pois existe a intercalação de silte com areia, em toda a seqüência.



Fica fácil observar através da intensidade de cada elemento da matriz, ou seja, quanto maior for o número, e isto é uma intensidade relativa com os outros elementos da matriz, maior será a correlação (Harper, 1984).

### 3.6.2. – Matriz Não-Intrínseca

Neste exemplo abaixo, (figura 3.9), vamos apresentar como se constrói um exemplo de uma matriz não intrínseca, e a figura não deixa dúvidas quanto esta construção.

A matriz de transição de frequências, nada mais é do que o mesmo processo do exemplo acima, porém será observado que a diagonal da triz é diferente de zero.

|                        |   | Camada de destino |   |   |   |
|------------------------|---|-------------------|---|---|---|
|                        |   | A                 | B | C | D |
| Camada<br>de<br>Origem | A | 8                 | 4 | 3 | 1 |
|                        | B | 4                 | 5 | 2 | 1 |
|                        | C | 1                 | 2 | 4 | 5 |
|                        | D | 3                 | 1 | 3 | 3 |

Matriz 1 - Matriz de Transição, referente à figura 3.9

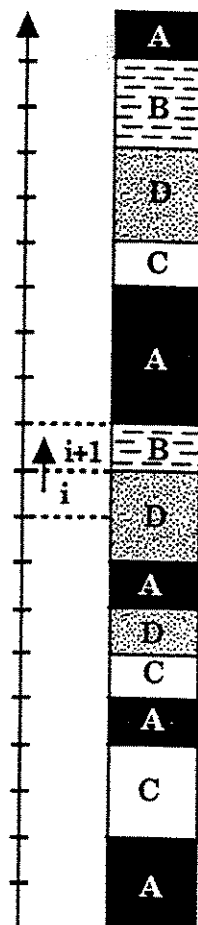


Figura 3.9 – Exemplo de uma sequência de eventos, a partir de espessuras fixas.

*Fonte:* Hanqiu Xu., Maccarthy, I.A.J., 1998

Para a construção da matriz probabilidade de transição, basta dividir cada elemento da matriz acima (frequência) pelo total de frequências da linha ou coluna, fica fácil prever que a soma da primeira coluna é 16, conseqüentemente é fácil prever que o elemento  $A_{11}$  da matriz probabilidade será .5, pois será 8 dividido por 16 (Matriz 2) (Davis,1973).

Como próximo passo na análise de Markov, pega-se o total de cada linha e divide-se pelo total das transições, neste caso obtém-se o vetor probabilidade fixado (matriz 3).

Para se construir a matriz probabilidade de freqüências esperadas, basta repetir o vetor quatro vezes (dimensões da matriz), (matriz 4)

Para finalizar, para se checar se existe ou não aleatoriedade, basta subtrair cada elemento da matriz de freqüências (matriz 1) pela matriz de freqüências esperadas (matriz 4), a diferença entre esta duas matrizes é o indicador, denominado “chi-quadrado”, quanto menor este valor, menor a probabilidade da aleatoriedade.

Em geral, este indicador, leva em consideração somente os valores positivos, e para avaliar quais são as freqüências dominantes, basta obter os valores relativamente, de maior intensidade.

|                  |   | Camada de destino |     |     |     |
|------------------|---|-------------------|-----|-----|-----|
|                  |   | A                 | B   | C   | D   |
| Camada de Origem | A | .5                | .25 | .19 | .06 |
|                  | B | .33               | .42 | .17 | .08 |
|                  | C | .08               | .17 | .33 | .42 |
|                  | D | .3                | .1  | .3  | .3  |

Matriz 2 - Matriz Probabilidade das transições

|     |     |      |     |
|-----|-----|------|-----|
| .32 | .24 | .024 | .02 |
|-----|-----|------|-----|

Matriz 3 – Vetor Probabilidade fixado

|                  |   | Camada de destino |     |      |     |
|------------------|---|-------------------|-----|------|-----|
|                  |   | A                 | B   | C    | D   |
| Camada de Origem | A | .32               | .24 | .024 | .02 |
|                  | B | .32               | .24 | .24  | .02 |
|                  | C | .32               | .24 | .024 | .02 |
|                  | D | .32               | .24 | .024 | .02 |

Matriz 4 - Matriz probabilidade de freqüências esperadas

### 3.7. – Teste chi-quadrado

Na prática, é a diferença entre a matriz de frequências observadas e a matriz de frequências esperadas dos eventos.

Quanto maior for esta diferença, maior é a dúvida quanto a teoria, ou seja, maior é a aleatoriedade da sequência. Esta relação é facilmente obtida através da equação:

$$\sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

onde:  $O_i$  – Valores observados

$E_i$  – Valores esperados

O fato de se elevar ao quadrado, é para se obter sempre valores positivos.

## Capítulo 4

### **Apresentação dos Resultados**

| Medidas de dispersão e posição                    | Seção 1 | Seção 2  | Seção 3       | Seção 4   | Seção 5   | Seção 1-4     |
|---------------------------------------------------|---------|----------|---------------|-----------|-----------|---------------|
| Número de Camadas                                 | 34      | 75       | 345           | 72        | 82        | 526           |
| Número de Camadas maiores que 3 cm                | 34      | 57       | 320           | 69        | 49        | 480           |
| Espessura mínima (cm)                             | 5.00    | 3        | 3             | 5         | 3         | 3             |
| Espessura máxima (cm)                             | 260.00  | 100      | 195           | 360       | 240       | 360           |
| Diferença entre espessura máxima e mínima (cm)    | 255.00  | 97       | 193           | 355       | 237       | 358           |
| Mediana                                           | 10      | 15       | 5             | 40        | 10        | 10            |
| media geometrica                                  | 16.07   | 11.5117  | 10.0204       | 34.5753   | 16.1860   | 12.58         |
| Média Harmônica                                   | 10.94   | 7.8302   | 6.5658        | 19.9270   | 9.1746    | 7.67          |
| Kurtosis                                          | 17.2176 | 11.1875  | 15.1494       | 9.7458    | 6.1341    | 22.09         |
| Assimetria                                        | 3.6587  | 2.4984   | 3.2271        | 2.1623    | 1.9459    | 3.64          |
| Média                                             | 29.70   | 17.3158  | 18.6031       | 58.8406   | 39.6531   | 25.02         |
| Desvio padrão                                     | 47.94   | 17.4439  | 27.1104       | 62.0314   | 58.1509   | 37.82         |
| Variação                                          | 2298    | 304.2914 | 734.9737      | 3.8479e+3 | 3.3815e+3 | 1430          |
| Frequências Dominantes da transformada de Fourier | 2 e 5   | 2 e 11   | 3 ; 4; 7 e 11 | 6 e 22    | 3; 4 e 11 | 3; 8; 16 e 11 |
| Frequência definitiva                             | -       | 2        | 11            | 6         | 4         | 16            |
| Camadas por ciclo                                 | -       | 28       | 29            | 11        | 12        | 30            |

Tabela 4.1 Resumo estatístico das 5 seções -medidas em cm-.

#### 4.1. – Análise de Fourier

Os dados serão dispostos por seqüências, da seguinte maneira:

- 1) Número da Seqüência
- 2) Figura da seção, construída em laboratório, indicando basicamente a espessura da camada, granulometria e identificação das fácies
- 3) Gráficos:
  - a) Espessura das camadas suavizadas.
  - b) Histograma horizontal da granulometria.
  - c) Histograma com 15 intervalos.
  - d) Gráfico deslocado no domínio da frequência.
  - e) Descrição da Seção.

##### Seção 1

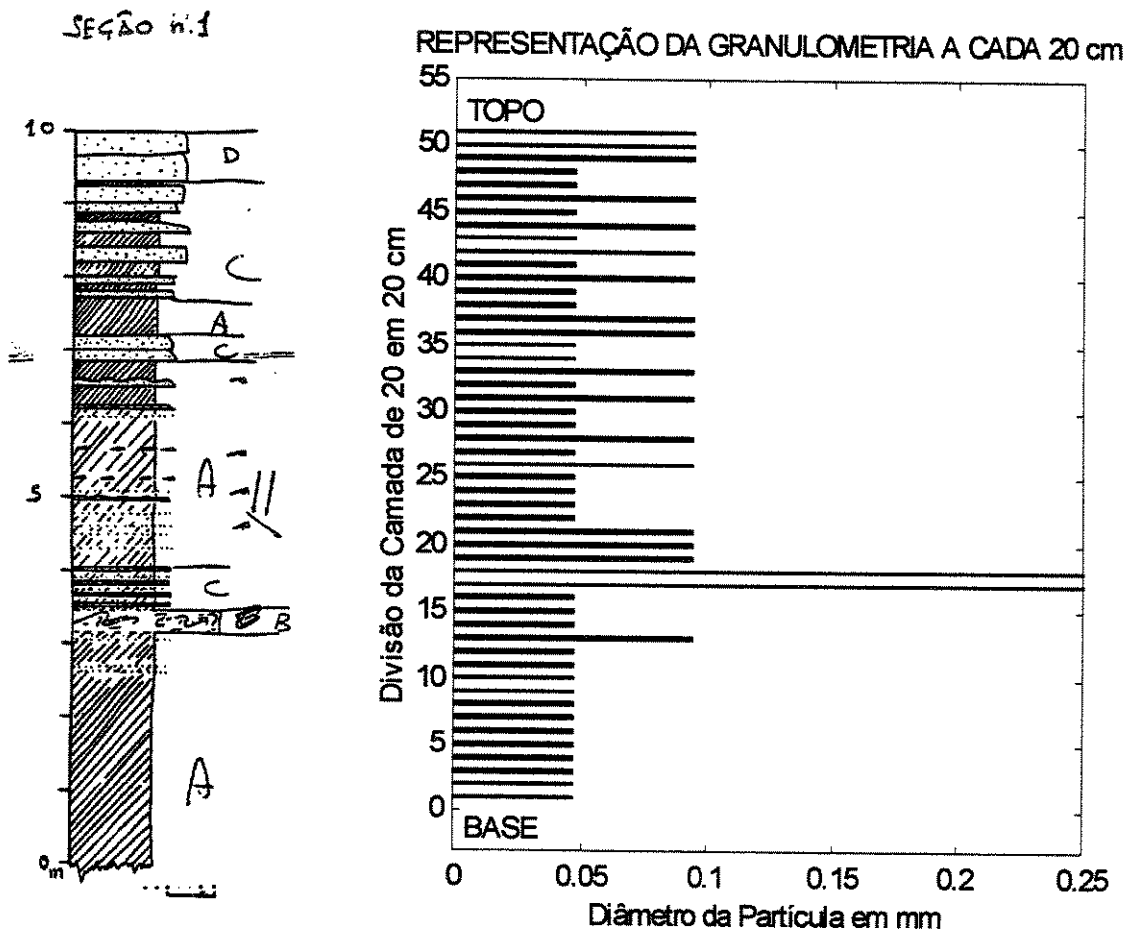


Figura 4.1 – Desenho esquemático da seção 1 acompanhado da representação da granulometria

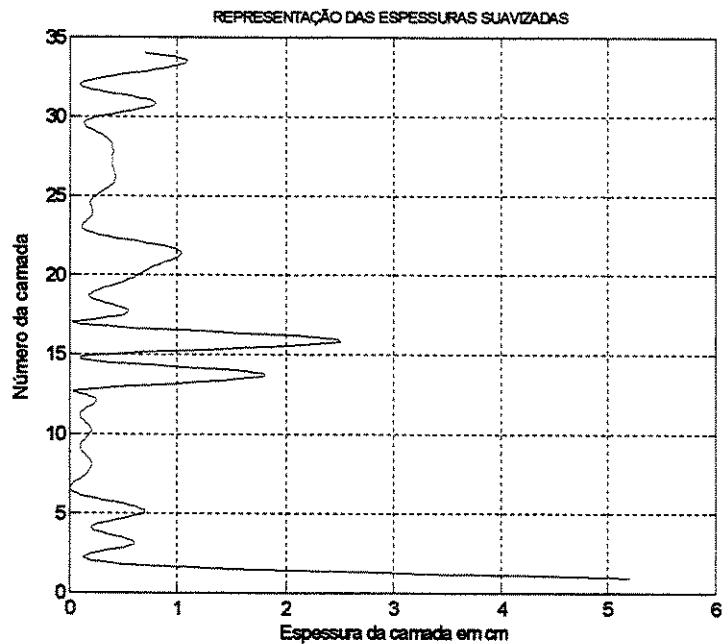


Figura 4.2 – Gráfico das espessuras das camadas

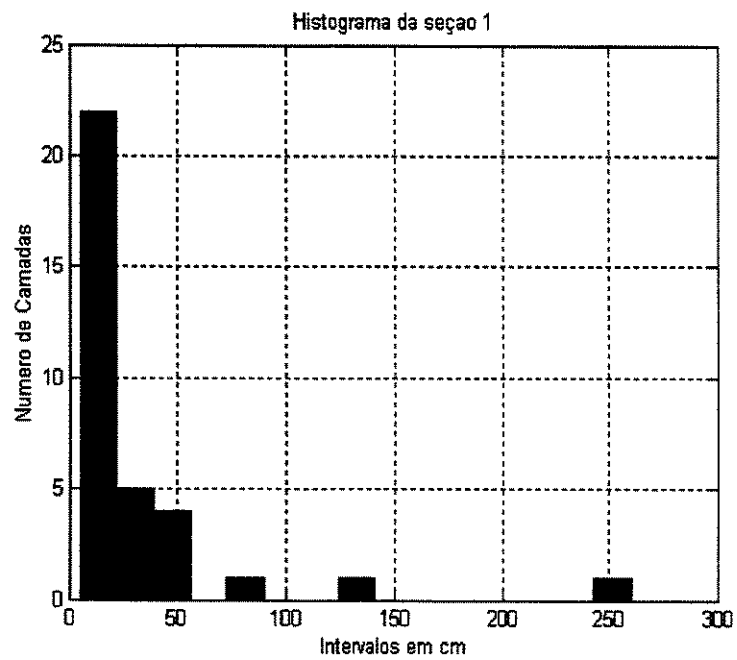


Figura 4.3 – Representação das espessuras das camadas por intervalo



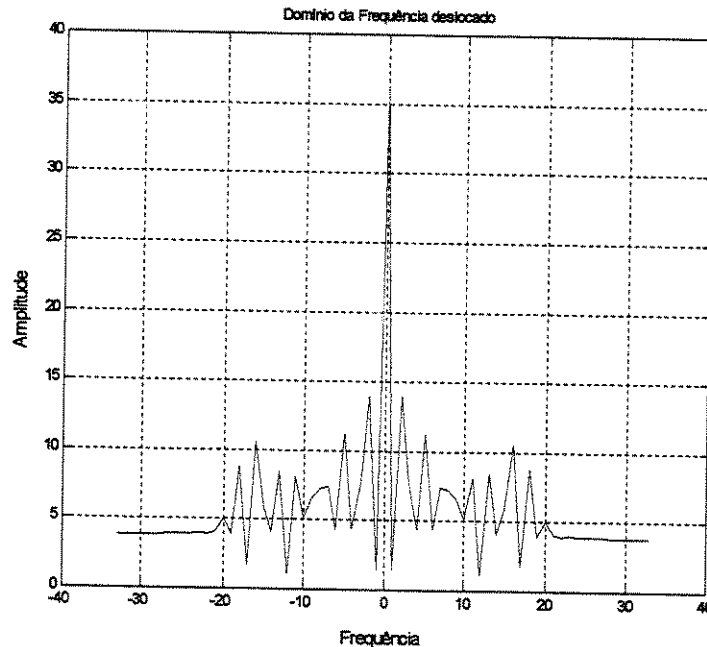


Figura 4.4 – Domínio das Frequências

Das cinco seções descritas, é relativamente a de menor espessura, 10 m. Apresenta 34 camadas, em que a menor espessura é de 5 cm e a maior de 260 cm. A média é por volta de 30 cm, o que mostra uma grande assimetria na distribuição, pois apresenta alto desvio padrão, 47,94. Quanto à transformada de Fourier (figura 4.4), apresenta inicialmente 2 ciclos destacáveis, porém na análise visual (figura 4.2), não foi possível destacar nenhuma sequência *thinning* nem *thickening upward*.

Com relação à sequência *fining* ou *coarsening upward* (granulometria), também não é possível fazer nenhuma correlação, dada a distribuição totalmente randômica da granulometria. O histograma (figura 4.3), mostra a concentração das espessuras, mais de 88%, no intervalo de até 50 cm.

A figura 4.1, mostra que apesar do arranjo randômico, pode-se dizer que a granulometria varia de argila a areia grossa, mas que o domínio, principalmente na parte basal, é de sedimentação fina de pelitos e que a quantidade de areia, vai aumentando ascendentemente.

A base não aflora, as camadas de pelitos homogêneos, são intercalados por finas camadas de arenito, apresentam geometria retangular.

Por volta da cota estratigráfica (c.e.) 300, existe uma camada de aproximadamente 20 cm, resultado de uma deformação gravitacional das camadas (*slumping*)

Acima da c.e., as camadas passam a ser mais grossas e espessas, formadas por camadas de arenito, com intercalações de pelitos.

As descrições das fácies, limitam-se a 4 tipos, denominados de A a D, dos quais a fácies A corresponde às camadas de pelito, a fácies B ao *slumping*, a fácies C à intercalação de areia com pelito e finalmente a fácies D, corresponde a depósitos maciços de areia.

## ***Seção 2***

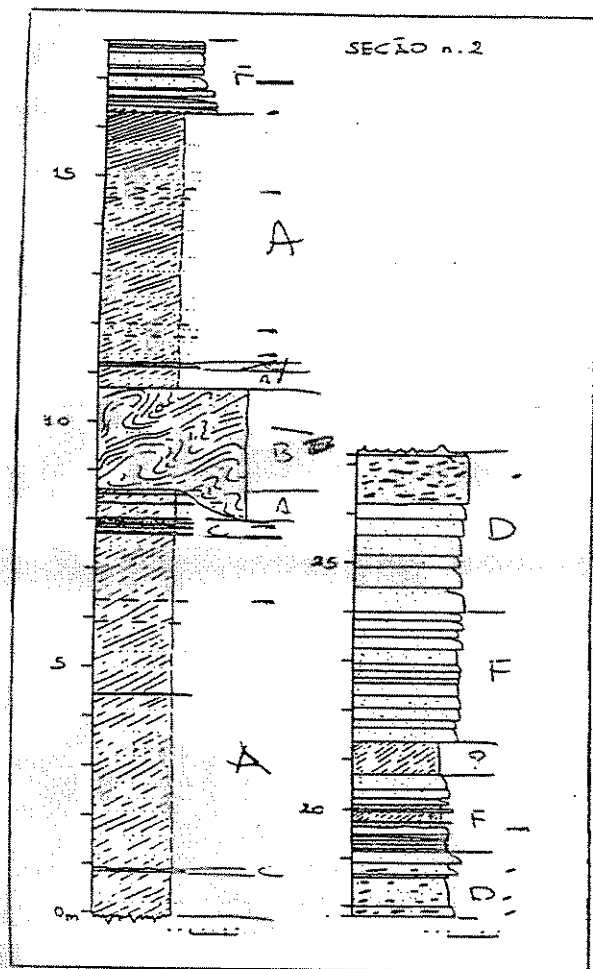


Figura 4.5- Desenho esquemático da seção 2

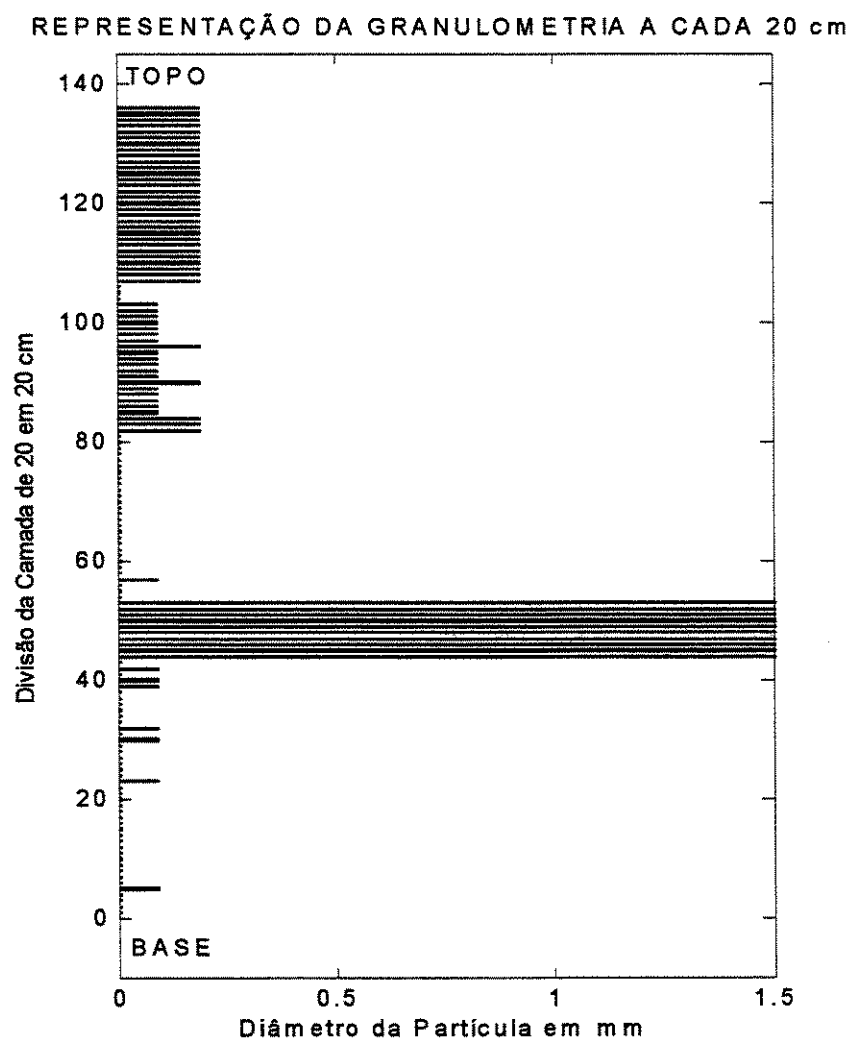


Figura 4.6 –Representação das granulometria da seção 2

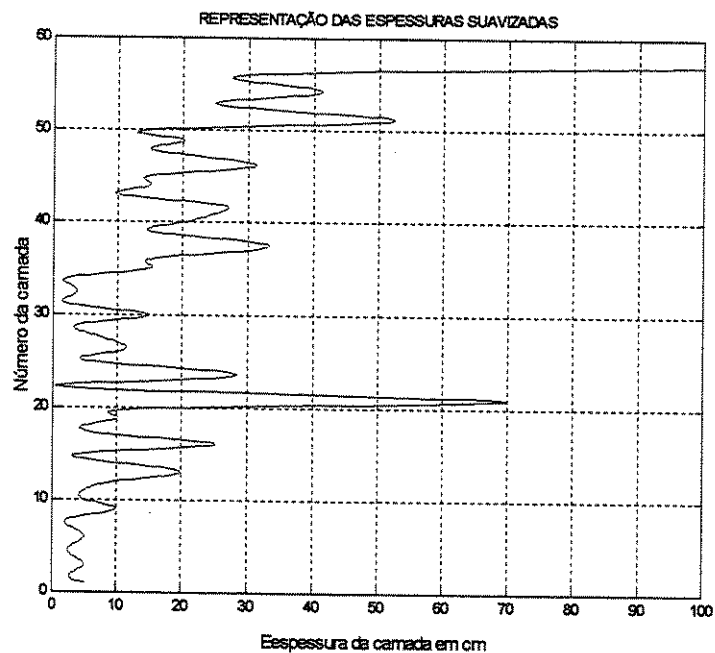


Figura 4.7 – Gráfico das espessuras das camadas

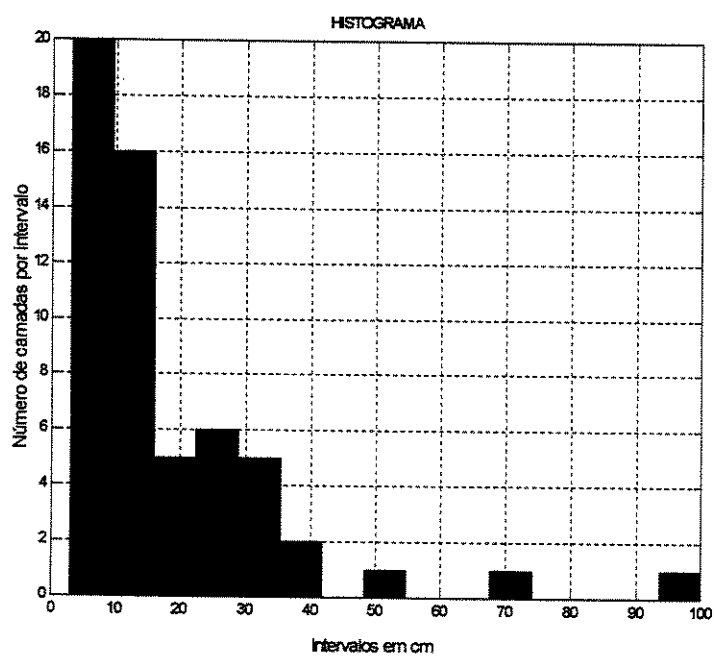


Figura 4.8 – Representação das espessuras das camadas por intervalo

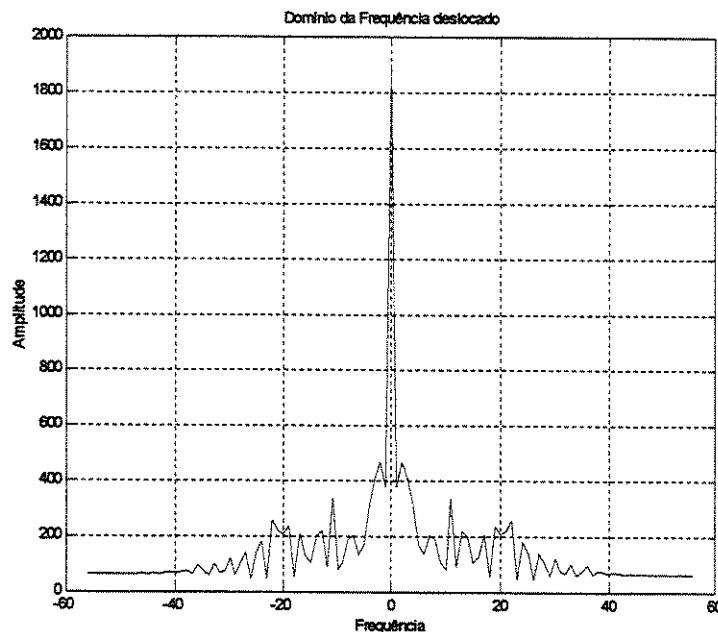


Figura 4.9 – Domínio das Frequências

Dista aproximadamente 50 m a sul da seção 1, tem uma espessura total de 27,4 m. Apresenta 75 camadas, das quais 57 são acima de 3 cm, do ponto de vista da distribuição das espessuras, é a mais bem distribuída, isto é corroborado pelos dados de assimetria e desvio padrão, 2.5 e 17.44 respectivamente. (tabela 4.1). Esta evidência também é observada na análise do histograma. De todas as seções, é a que apresenta os menores valores tanto de assimetria quanto de desvio padrão.

Com relação ao número de seqüências *thining* e *thickening upward*, inicialmente apresenta duas frequências destacáveis (figura 4.9), porém se observado a figura 4.7, fica inviável um número de seqüências acima de 2, chegando-se ao número de 2 seqüências. Isto significa 28 camadas por ciclo, porém estes ciclos passam a ser evidentes somente a partir da c.e. de 16,3 m, logo, é artificial esta relação de camadas por ciclos.

A granulometria apresenta-se totalmente aleatória, não sendo possível nesta seção uma correlação de seqüências *fining* e *coarsening upward*. (figura 4.6).

Se comparado os mergulhos da seção 1 (125/20) com os mergulhos da seção 2 (165/12, 105/13 e 125/10), parece que existe uma separação por falhas, apesar de não ser visível, a única correlação disponível, é a sedimentológica, pois se observado com atenção, mais da metade desta seção, é muito similar à seção anterior, inclusive na descrição das fácies.

Esta seção poder ser subdividida em duas, a primeira, até a c.e. 16,3, que tem muita similaridade com a anterior e acima disto até o topo, que apresenta características mais arenítica e mais maciças.

No primeiro trecho, apresenta majoritariamente depósitos pelíticos com intercalações de pequenas camadas de areia. Próximo a c.e. 8,6, apresenta depósitos de deslizamento (*slumping*), que é a desestabilização dos pelitos e novamente depósitos pelíticos intercalados com finas camadas de arenito que apresentam ondulações, que correspondem a *ripples*.

Acima da c.e. 16,3 m, existe um brusco contato entre as camadas de pelitos e depósitos areníticos. As espessuras destes arenitos variam de 5 a 60 cm, as vezes com pequenas intercalações siltíticas.

No topo da camada, encontra-se uma camada de arenito fino a médio, que contém clastos de pelitos de alta difusão.

Com relação às descrições das fácies, o que temos nesta seção é praticamente o mesmo da seção anterior, nas quais eram de A a D com o incremento da fácies F, que corresponde às camadas mais acima desta seção, correspondente aos arenitos maciços com pequenas intercalações de pelitos.

Existe um trecho, por volta da c.e. 20,7 m a 20,3 m, que inicialmente havia dúvidas quanto a classificação, pode ser classificado como uma camada de pelito, equivalente as fácies A.





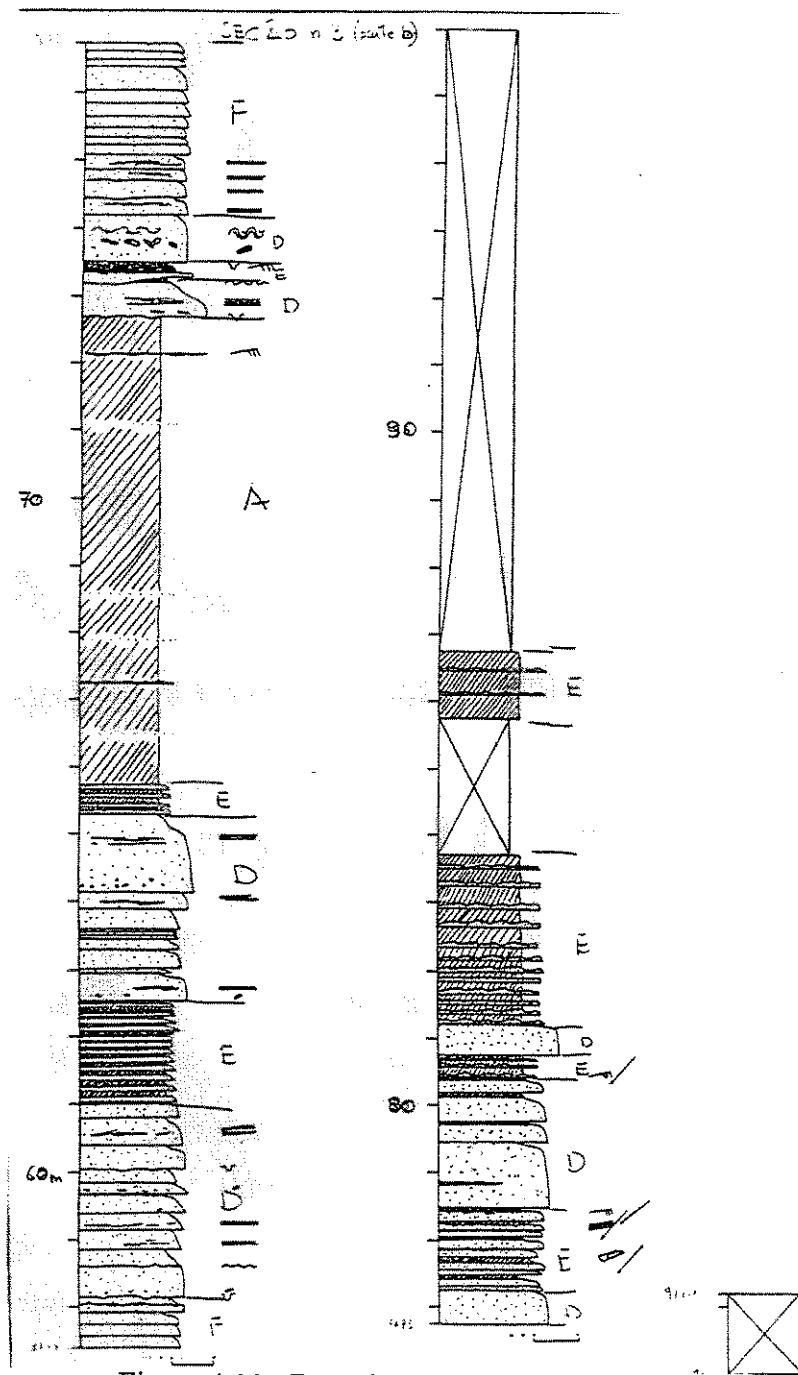


Figura 4.11– Desenho esquemático da seção 3b

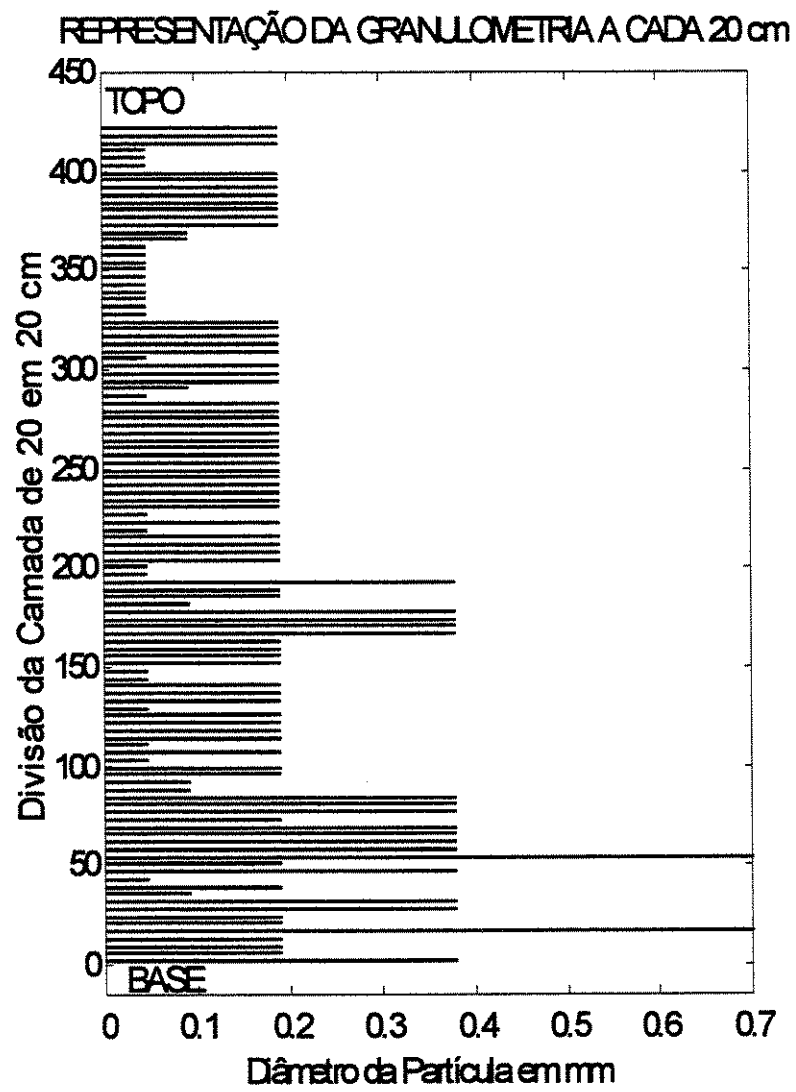


Figura 4.12 –Representação das granulometria das seções 3a e 3b

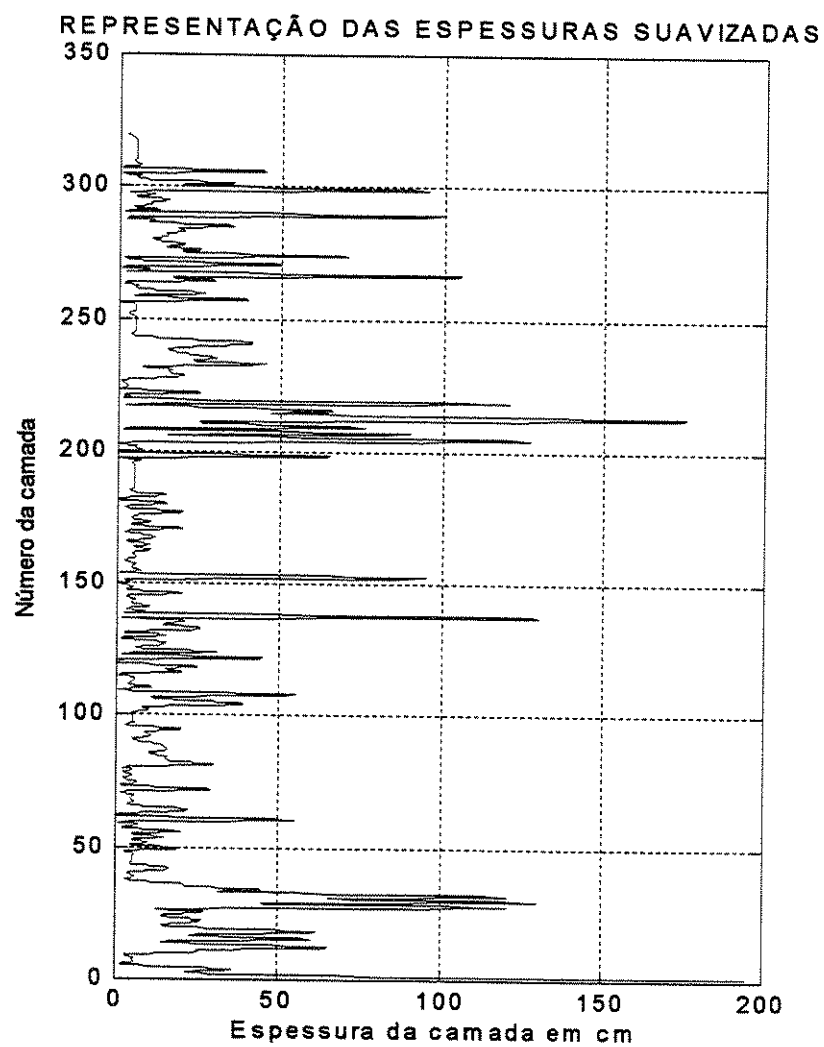


Figura 4.13 – Gráfico das espessuras das camadas das seções 3a e 3b

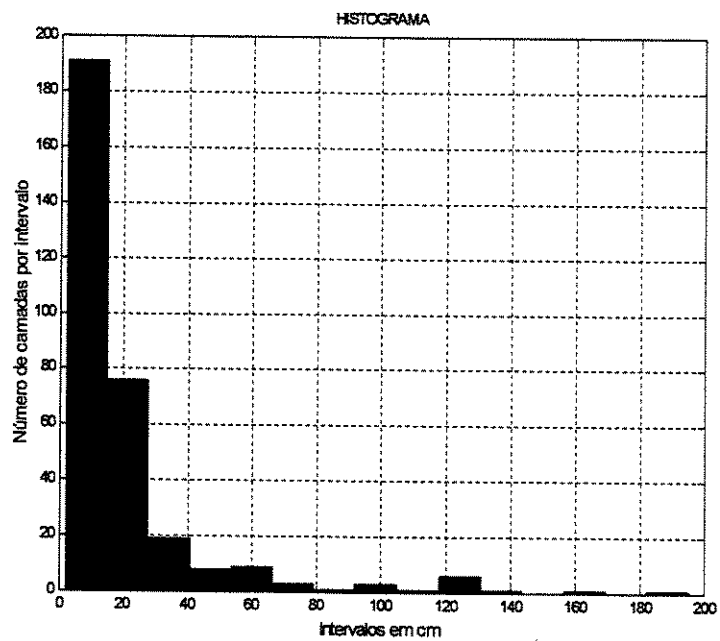


Figura 4.14 – Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 3

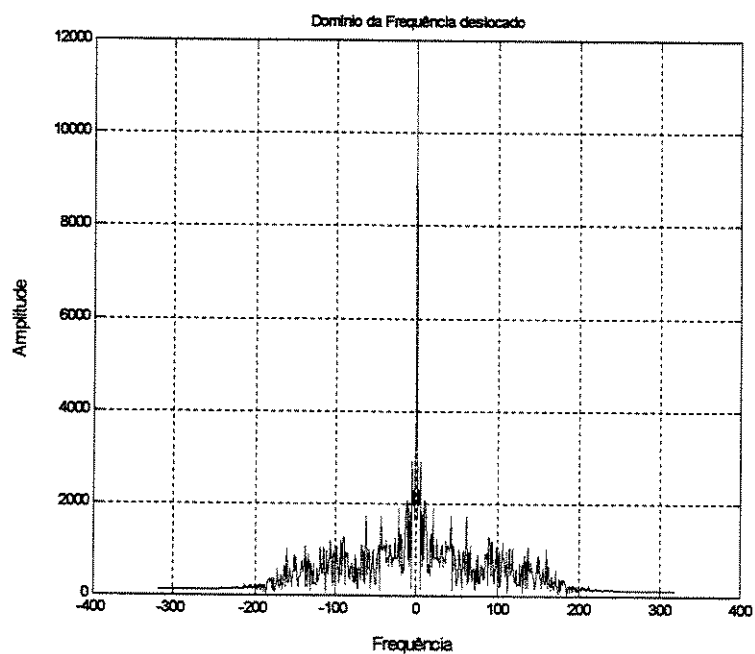


Figura 4.15 – Domínio das Frequências

É de longe a seção de maior espessura, aproximadamente 85 metros. Apresenta 345 camadas individualizadas, das quais 320 acima de 3 cm. Apesar disto, mostra uma certa homogeneidade, com relação às espessuras das camadas, isto está refletido, nas medidas estatísticas de dispersão, onde a assimetria e o desvio padrão são 3,22 e 27,11, respectivamente. A média das espessuras das camadas é exatamente 18,6 cm (tabela 4.1).

O histograma, apresenta intervalos a cada 10 cm (figura 4.14), mostra que 60% das espessuras encontram-se até 15 cm e que os intervalos de espessuras, apesar desta concentração encontram-se medianamente bem distribuídos.

Diversas são as frequências dominantes na análise de Fourier (figura 4.15), porém se confrontado com a representação das espessuras (figura 4.13), chega-se à conclusão de que existem por volta de 11 seqüências *thining* e *thickening upward*, o que significa 29 camadas por ciclo, nesta seção, seria algo aceitável, já que apresenta majoritariamente, camadas de arenito em detrimento de pelitos.

As fácies observadas na base da seção 3, são semelhantes às do topo de seção 2, que são corpos de arenito médio, apresentando uma razoável gradação ascendente no topo das camadas de arenito, que varia de arenito médio a arenito muito fino.

Entre a c.e. 3,15 e 3,50 m observam-se intercalações de arenito fino com pelito, estas características podem estar associadas a pequenos fenômenos gravitativos pós deposicionais (Basilici, 2001).

No intervalo entre 8m e um pouco acima de 9m, existe a presença de uma camada de pelito intercalados com finas camadas de arenito muito fino, com a presença de pequenos *ripples*. Imediatamente acima destes depósitos, novamente a presença de camadas de arenito com alguma gradação ascendente.

Novamente a presença de uma camada de 40 cm de depósito de deslizamento. Acima desta camada o que se presencia, são depósitos maciços de arenito médio a fino com gradação ascendente, principalmente nos trechos to topo, até a c.e. 16 m.

A partir da c.e. 17 m até 23 m, ocorre a intercalação de arenitos médio a pelito, na qual as espessuras dos arenitos estão por volta de 10 cm de média.

Da c.e. 23m até o topo da seção 3 A, são intercalações de ocorrências de pacotes de camadas de arenito médio, cujas espessuras são em média de 10 cm, com intercalações de arenito e pelito, além de um conjunto de camadas de arenito maciço em quase a totalidade, sendo que existe uma gradação no topo de cada camada, estas camadas apresentam maiores espessuras, porém nestes depósitos, cujas camadas são de arenitos maciços de média de 1 m de espessura, cada camada, são em volume, os mais numerosos, em área.

O intervalo da q.e. 57,4 m (topo da seção 3a) a 61 m (base da seção 3b), é caracterizado por camadas retangulares de arenito médio, cuja média é de aproximadamente 20 cm, mas varia de 10 a 70 cm.

Acima da seqüência anterior existe a presença de uma camada de aproximadamente 1,5 m que é a intercalação de finas camadas de areia fina com pelito, sendo imediatamente coberta pelas camadas de arenito fino a médio e de espessuras variadas, em que mostram gradação no trecho superior das camadas.

Entre a c.e. 65,8 m e 72,7 m, é dominado por uma camada de pelito, com finas lâminas de arenitos médio a grossos.

Da c.e. 72,7 m até 86,8 m (topo da camada 3b) as ocorrências são basicamente arenitos médio com gradação ascendente, finas camadas de arenito médio sem gradação e intercalações de arenito com pelito.

Os hiatos presentes nesta seção é devido à cobertura vegetal intensa que impede a visualização.

Apesar da seção 3 ser a de maior espessura, do ponto de vista de identificação das fácies não se mostra muito variado, sendo a existência de D, E e F, as mais numerosos em volume, sendo algumas vezes sobrepostos por camadas das fácies A (pelito), mas relativamente menos representativo. As fácies presentes nesta seção (seção 3a e 3b) são: A, D, E, F e G.

A gradação, que ocorre no topo das camadas de arenito médio já é perceptível na figura 28, onde são tomadas intervalos fixos de 20 cm, o que se vê são seqüências *fining* e *coarsening upward*, apesar de não tão freqüentes, isto já é um reflexo da gradação das partes superiores das camadas de arenito médio.

#### ***Seção 4***

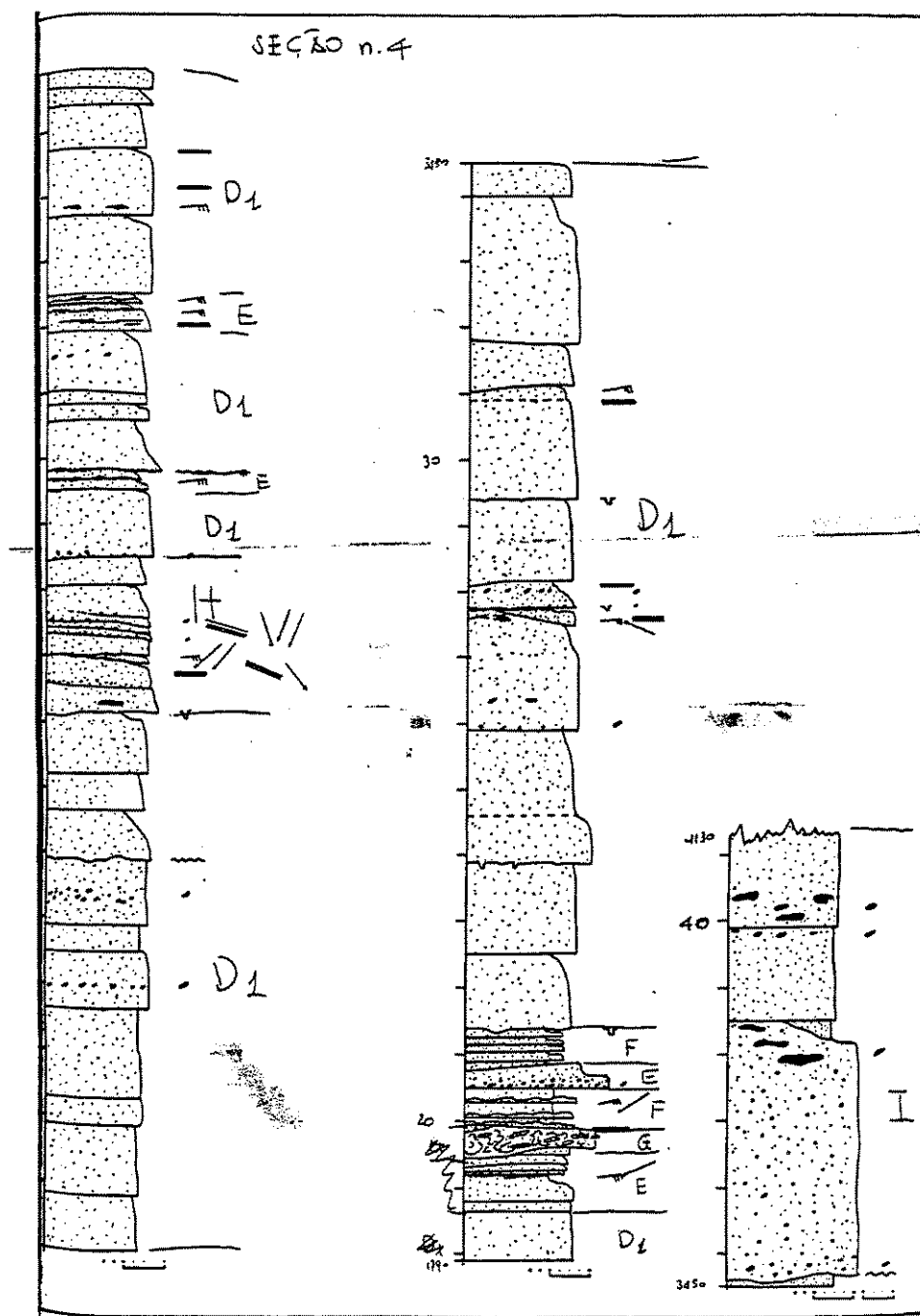


Figura 4.16– Desenho esquemático da seção 4.



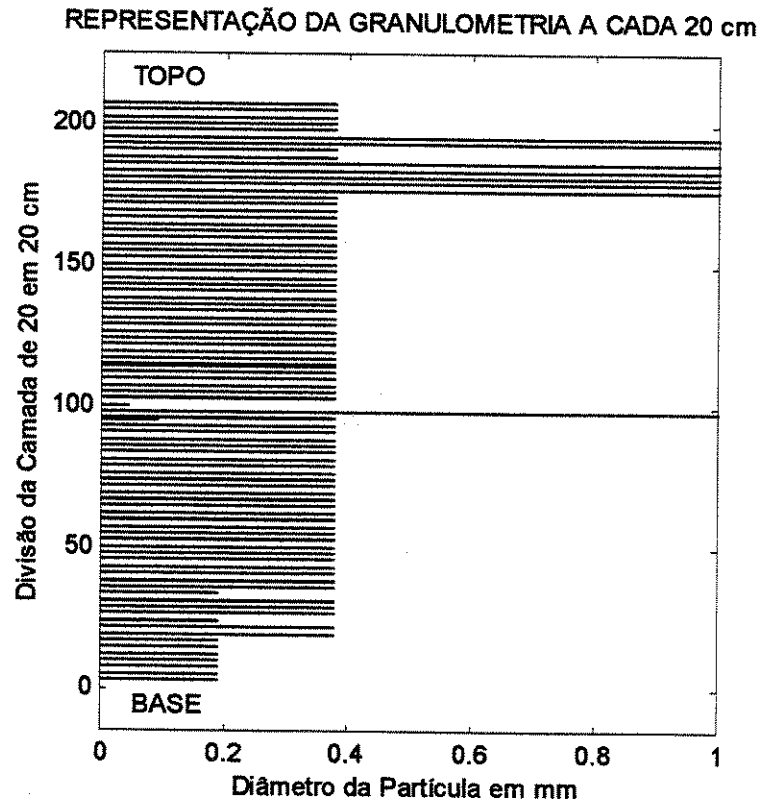


Figura 4.17 –Representação das granulometria da seção 4

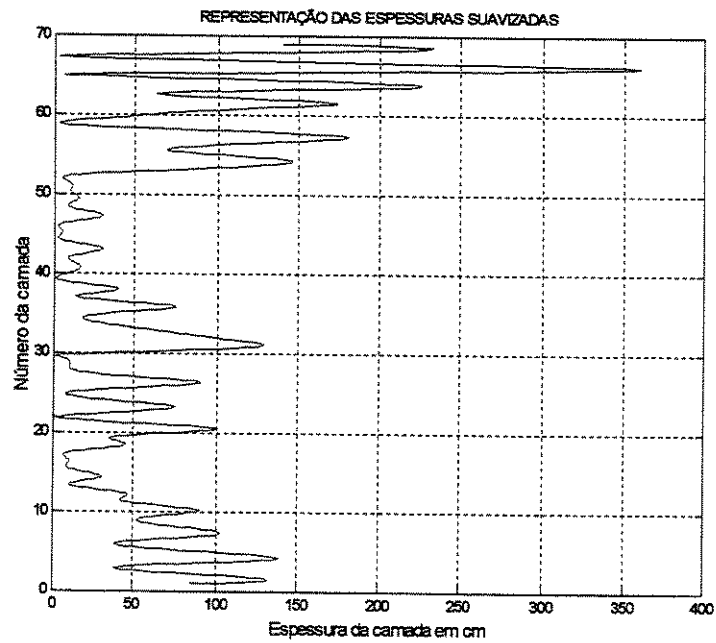


Figura 4.18 – Gráfico das espessuras das camadas da seção 4

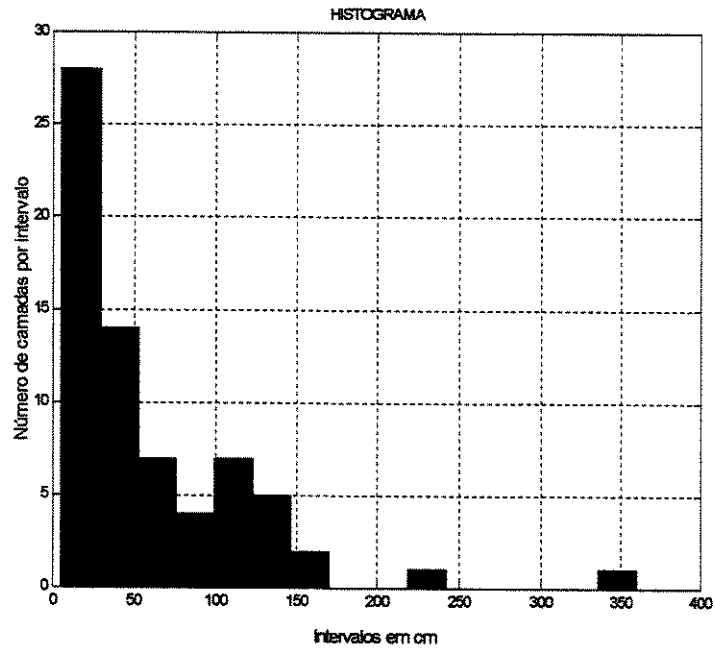


Figura 4.19– Representação das espessuras das camadas por intervalo da seção 4

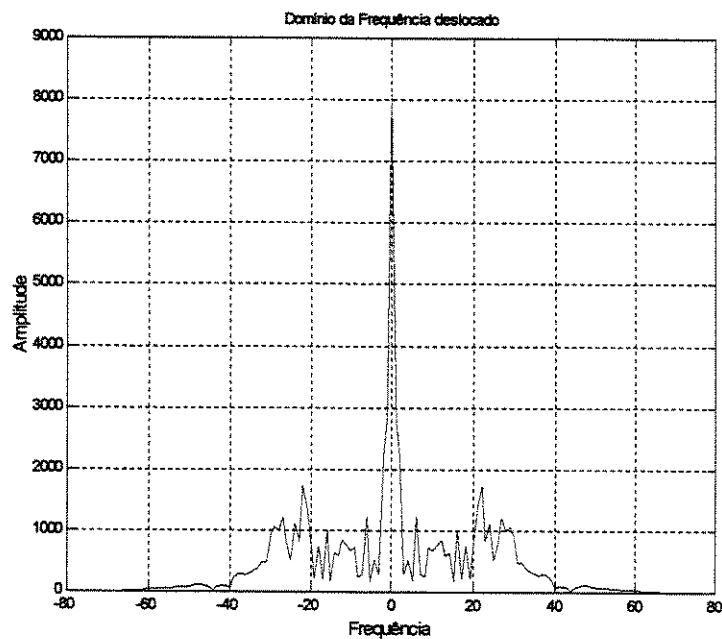


Figura 4.20 – Domínio das Frequências da seção 4

Observando a figura 4.16, mostra um conjunto de camadas extremamente homogêneas, obviamente que do ponto de vista visual, composta por 6 descrições de fácies.

A espessura total desta seção é de 41,30 m, cuja granulometria, é majoritariamente composta de arenitos fino a médio.

São 72 camadas, das quais 69 maiores que 3 cm, cujas espessuras variam de 5 cm a 360 cm. A média das espessuras é de 58,84 cm e o desvio padrão 62. Valor considerado alto. Porém apresenta valores relativamente baixos de assimetria, o que se configura numa distribuição razoável dos dados, corroborado pelo histograma, em que espessuras de até 20 cm são 40% dos dados.

Com relação às seqüências dominantes, observando a figura 4.20, vê-se duas freqüências dominantes, que são: 6 e 22, porém pela própria realidade dos dados, leva-se à prévia conclusão de 6 ciclos, isto significa 11 camadas por ciclo.

Da base até a c.e. 8,1 m o que existe, são arenitos médio, com gradação ascendente, ou seja, gradando para arenito fino, porém isto não está presentes em todas as camadas, esta gradação está mais presente a partir da c.e. 6 m. Neste intervalo, as espessuras das camadas variam de 55 a 125 cm.

Imediatamente acima deste pacote ocorrem camadas de arenito médios a grossos, suavemente gradados, porém de espessuras relativamente menores.

Em resumo, esta seção é composta majoritariamente pela fácies D1, intercalada por arenitos de menores espessuras. Existe até depósitos de *slumping*, entre as c.e. 19 e 20m, além das intercalações de finas camadas arenito grosso, com finas camadas de arenito médio, os arenitos grossos, apresentam gradação.

A partir da c.e. 34,40 até 38,6, existe a presença de um arenito conglomerático, suportado pela matriz, imediatamente após esta camada, até a c.e. 41,3 m (topo), é composto por um arenito maciço.

Do ponto de vista de quantidade, as fácies D1, são as mais numerosos, sendo responsável por mais de 70% da seção. Inclusive considerando a camada de conglomerado e arenito maciço.

### Seção 5

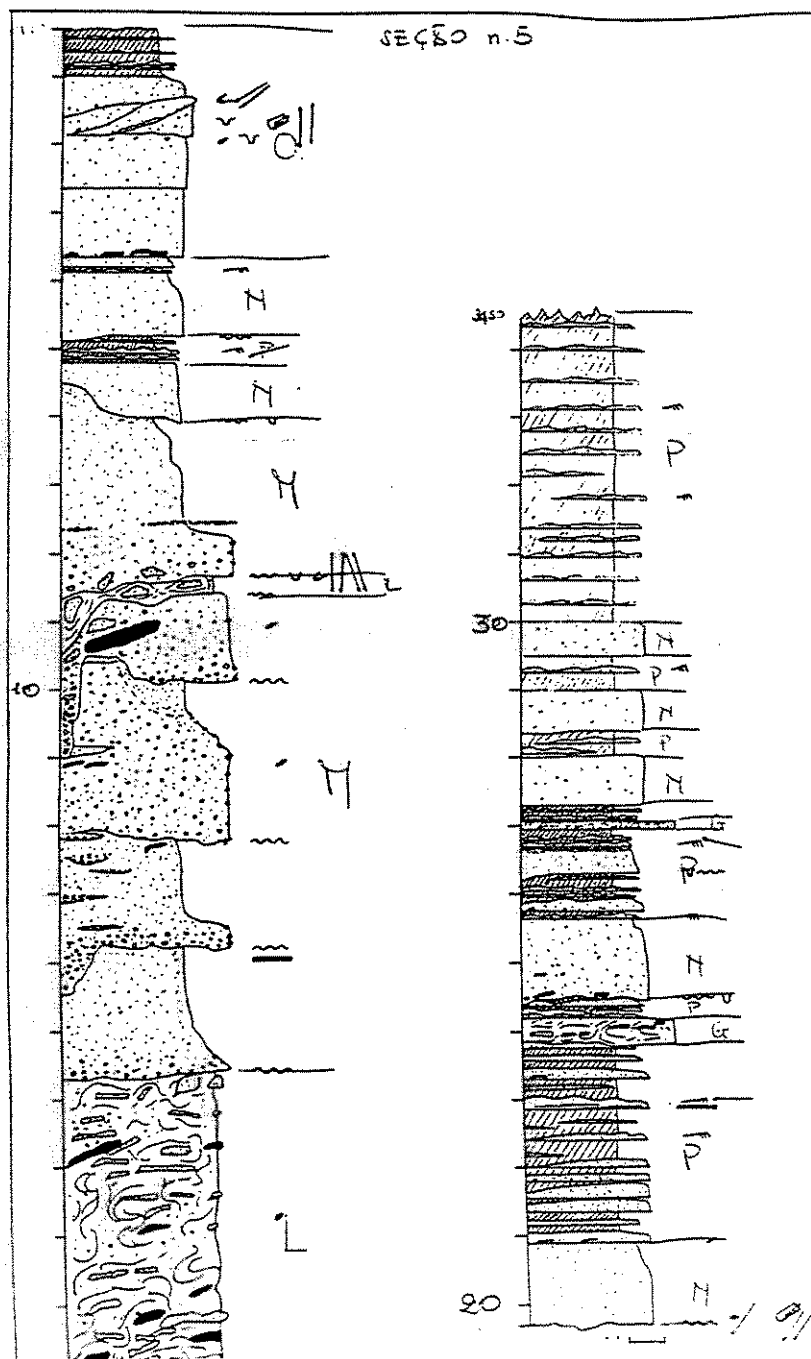


Figura 4.21 – Desenho esquemático da seção 5.

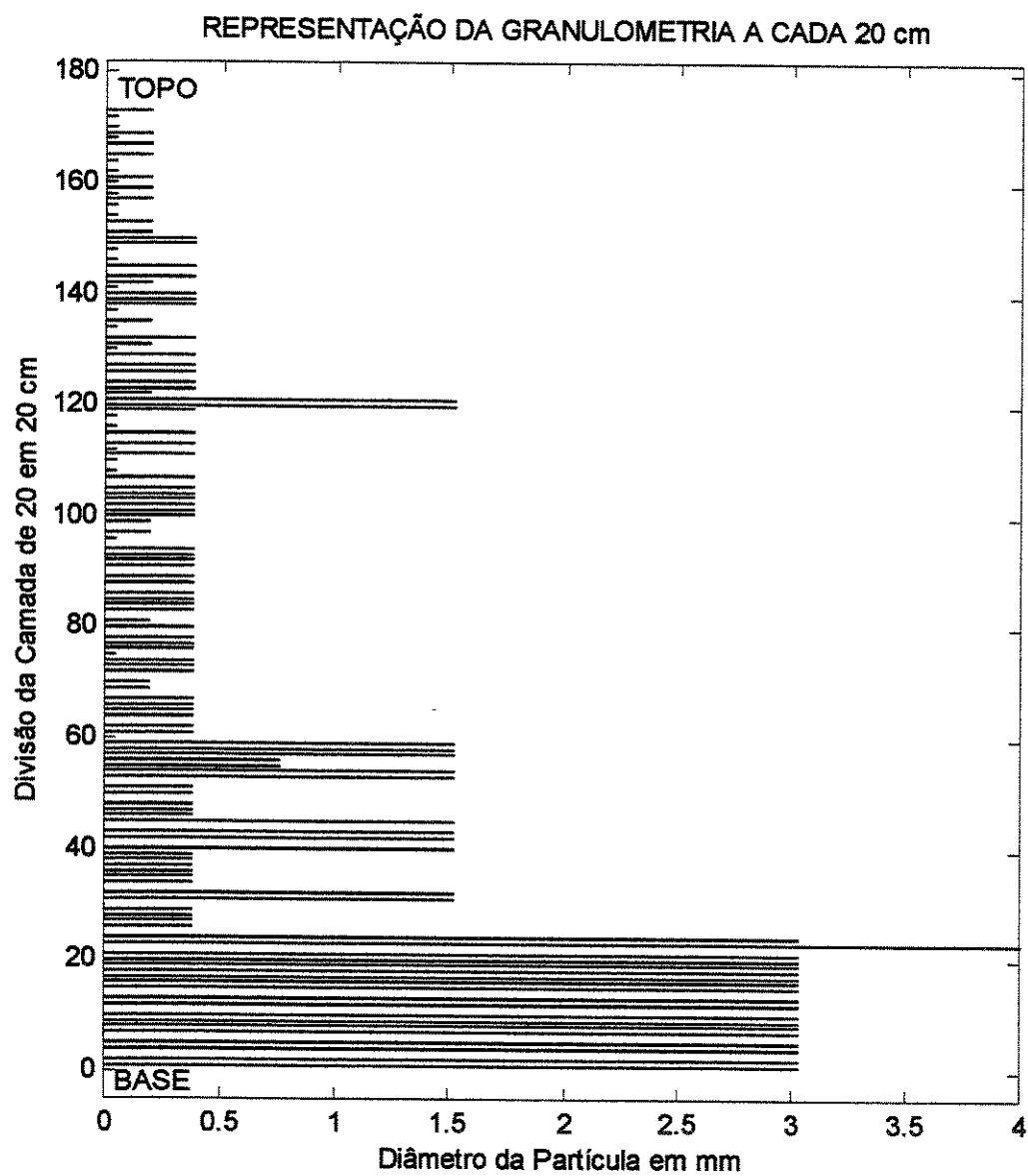


Figura 4.22 –Representação da granulometria da seção 5

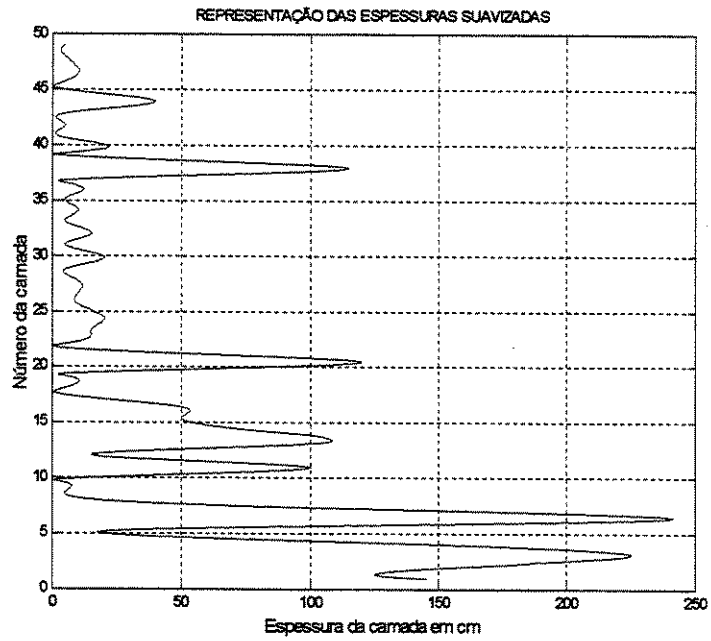


Figura 4.23– Gráfico das espessuras das camadas da seção 5

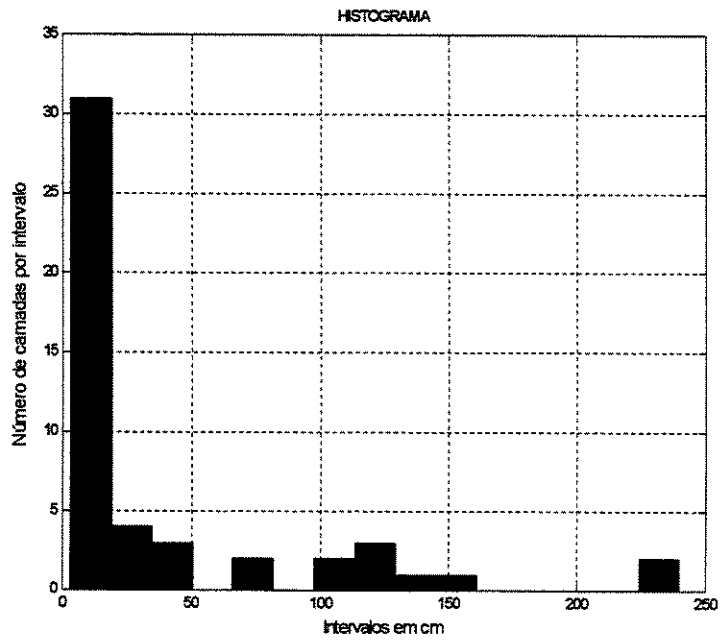


Figura 4.24 – Representação das espessuras das camadas por intervalo

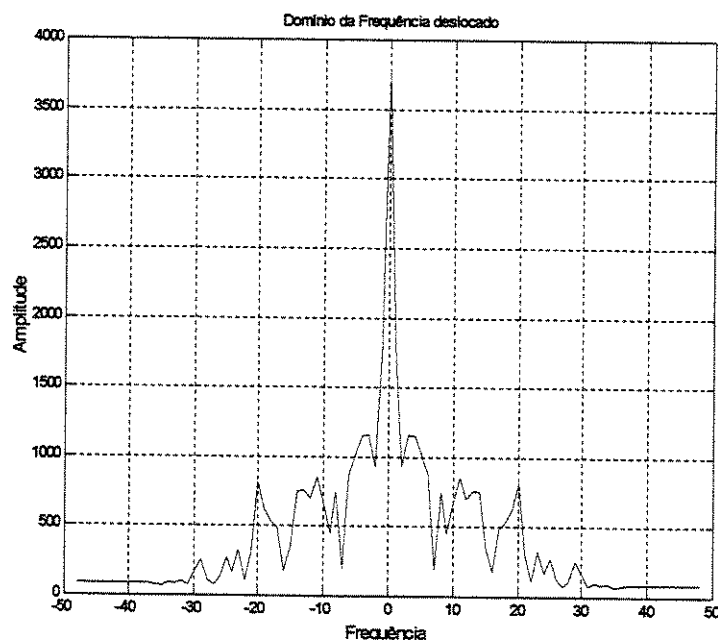


Figura 4.21 – Domínio das Frequências da seção 5

Esta seção apresenta 34,50 m, 82 camadas, das quais 49 acima de 3 cm.

Visualmente, é composta por granulometria bem mais grossa, se bem que em linhas gerais, apresenta um afinamento ascendente.

Do ponto de vista estatístico, é a seção que apresenta a menor assimetria, 1,94, o que significa, uma melhor distribuição dos dados de espessuras. A média e o desvio padrão é respectivamente, 39,6 e 58,2, este último valor reflete diferenças grandes de espessuras.

Com relação às seqüências, 4 estão presentes (figura 4.25), o que significa 12 camadas por ciclo.

A base do afloramento até a q.e. 4,3 m é composta por conglomerado suportado por matriz, os clastos organizam-se de maneira totalmente caótica.

Acima do intervalo anterior até a c.e. de 14 m, é dominado por conglomerado arenítico, que apresenta um gradação nas porções mais superiores de cada camada.

A partir desta camada, diminui-se a granulometria, passando a arenitos médios, com diminuição também da espessura. A partir da c.e. 19 m, ocorre a intercalação de camadas de arenitos médio e arenitos com pelitos.

Acima da c.e. 27 m, percebe-se com nitidez, uma seqüência *thining upward*, finalmente esta seção é concluída com camadas de pelitos, intercalados com finas camadas de arenito médio.

Do ponto de vista, das descrições de fácies, o que se percebe, é uma mudança radical destas classificações, pois temos as fácies de L a P, além da fácies G. O que mostra que numa eventual associação de fácies, que pode representar um ambiente deposicional, esta seção provavelmente estará associado a outro ambiente deposicional das seções 1 a 4.

Algumas seqüências *coarsening* e *fining upward*, são sutilmente apresentadas na análise da granulometria (figura 4.22), e estas sutis seqüências ao provavelmente devido às camadas de conglomerados de apresentam alguma gradação. Nos trechos superiores das camadas.



### Seção 1-4

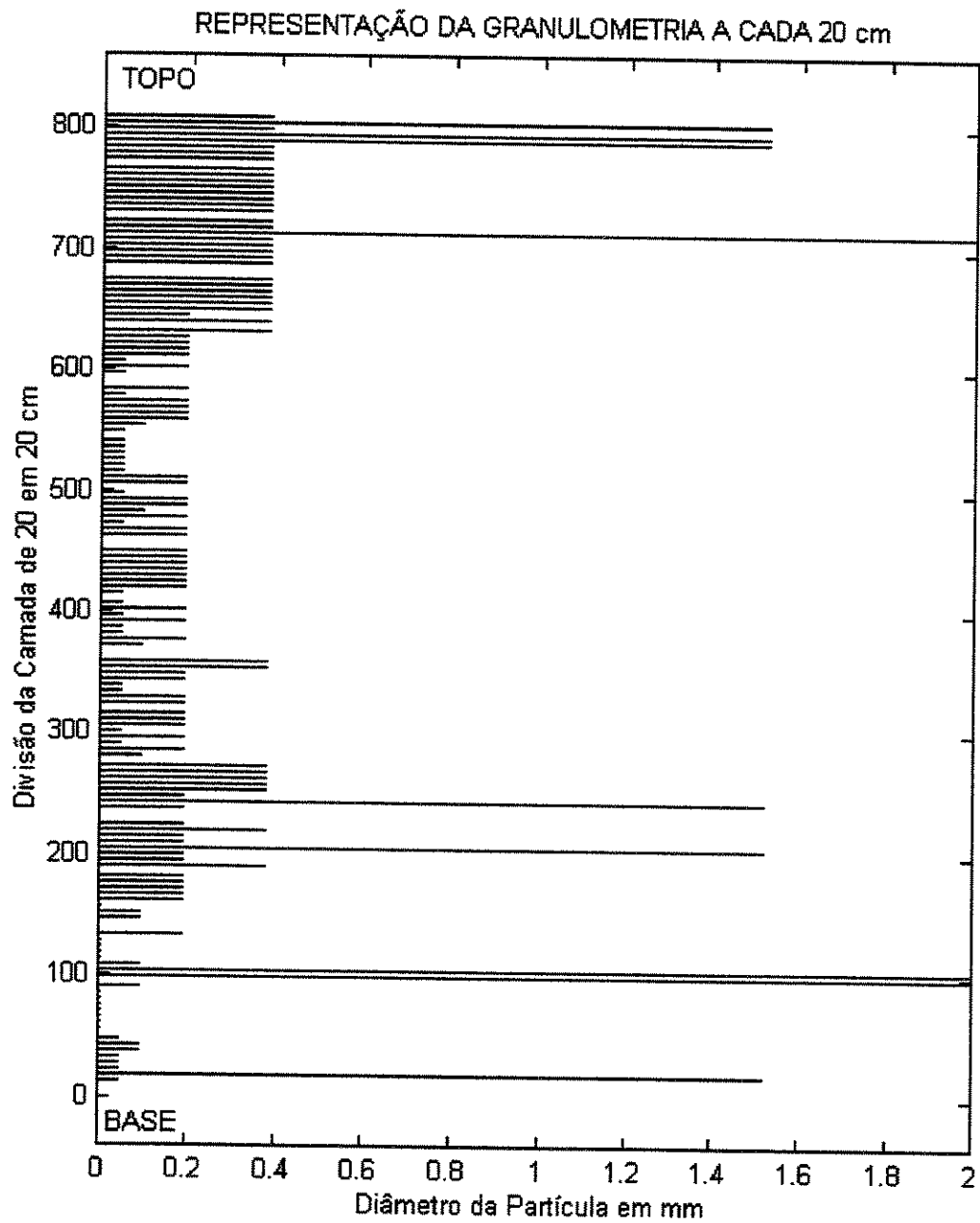


Figura 4.26 –Representação das granulometria das seções 1-4

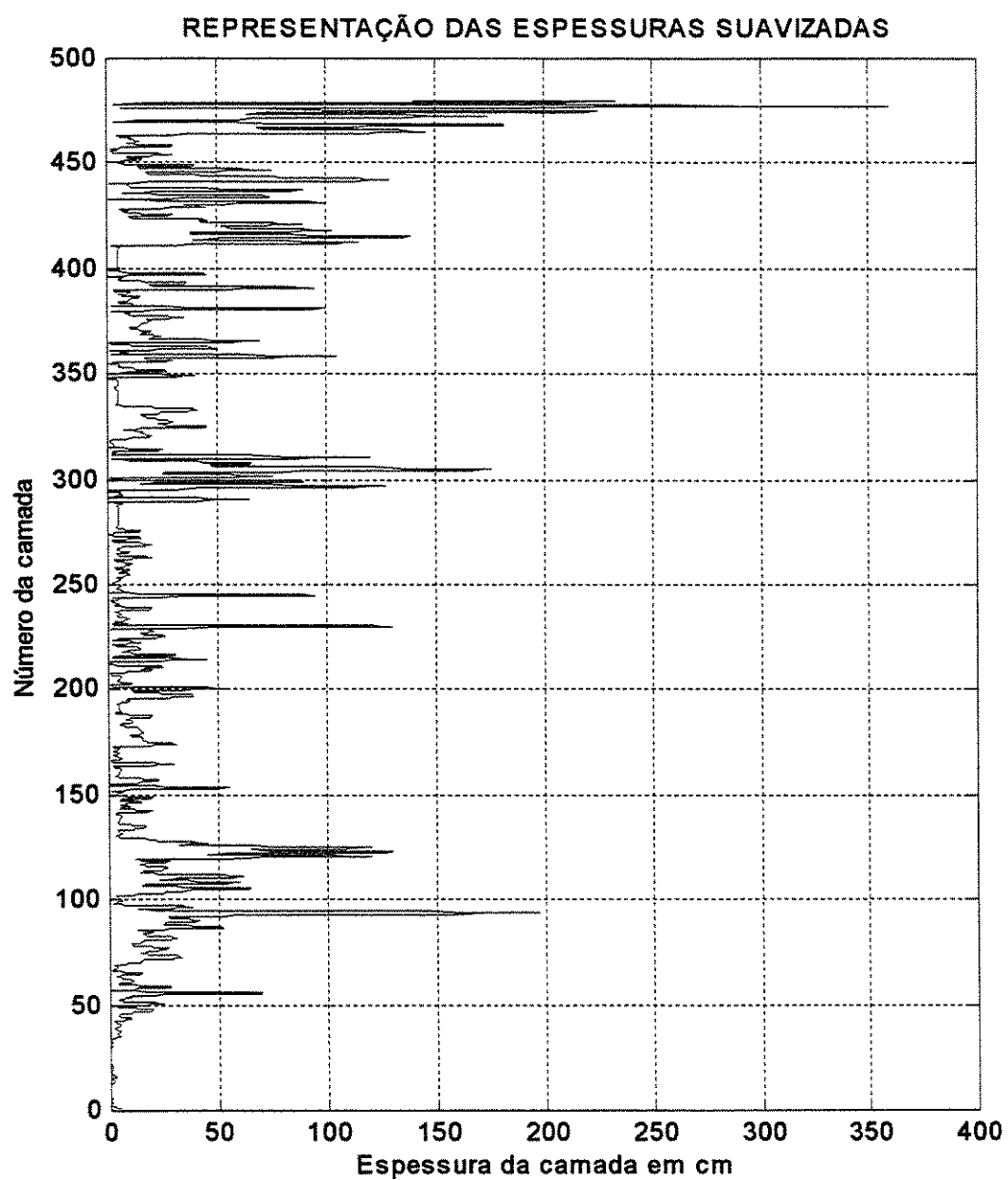


Figura 4.27 – Gráfico das espessuras das camadas das seções 1-4

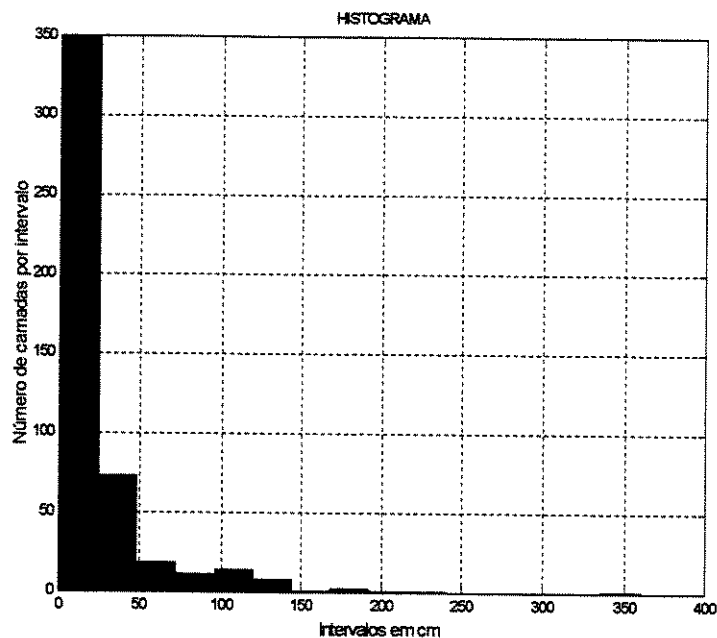


Figura 4.28 – Representação das espessuras das camadas por intervalo

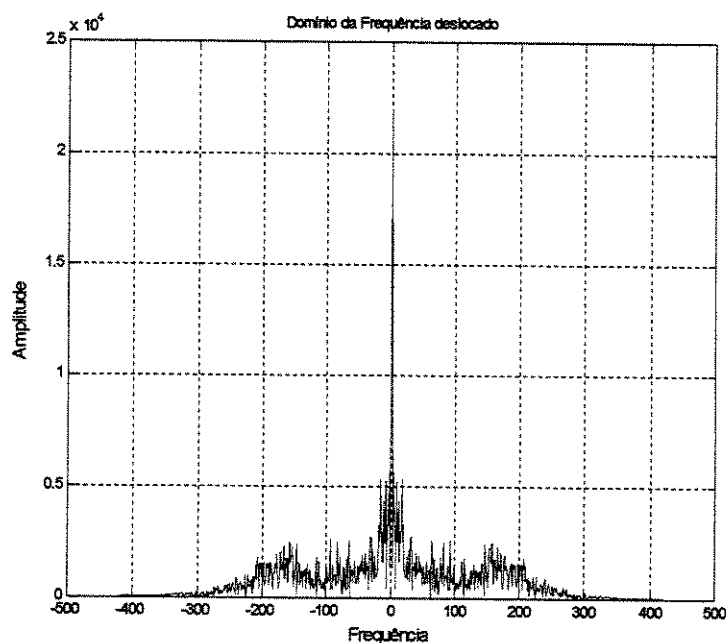


Figura 4.29 – Domínio das Frequências

Como já foi levantado, existe correlação, baseado na classificação das fácies, das seções 1 até a 4. A junção destas 4 seções, corresponde a 526 camadas, das quais 480 maiores que 3 cm, a média é de 25,02 cm, enquanto que o desvio padrão é de 37,82. Porém

a assimetria é relativamente alta, ou seja, os valores das espessuras estão concentrados do lado esquerdo do histograma, ou seja, 72% das camadas têm até 25 cm de espessura.

Com relação à quantidade de ciclos, teoricamente, bastaria somar as seqüências de 1 até a 4, o que corresponderia a 19 seqüências, porém na figura 4.29, percebe-se que o ciclo de 19, não é o de maior amplitude, ficando com a freqüência 16, dada a análise visual da espessura (figura 4.27), isto corresponde a 30 camadas por ciclo, algo que já poderíamos antecipar, está fora da análise visual, pois nem todos os arranjos de espessuras redundam necessariamente em seqüências.

Do ponto de vista na classificação das fácies, o que se vê, é que temos 4 ambientes deposicionais, dos quais o primeiro, seria na seção 1 inteira e parte basal da seção 2. A metade da seção 2 até as seções 3a e 3b e finalmente a seção 4. A seção 5 poderia se classificada como um outro ambiente deposicional, pois não apresenta nenhuma correlação, principalmente em se tratando da metade basal desta seção.

#### 4.2. – Análise da Cadeia de Markov

A análise de Markov será feita em duas etapas, a primeira, levando-se em consideração as transições das fácies, independente da espessura, que produzirá uma matriz denominada intrínseca, que na prática não admite que uma determinada fácies seja seqüenciada por ela mesma, conseqüentemente a diagonal da matriz será, necessariamente, nula.

Outro método é, ao invés de interpretar as transições das fácies, é fixar uma espessura, neste trabalho será de 20 em 20 cm, e identificar as fácies a cada intervalo. Neste caso, o que ocorre é que uma fácies pode ser seqüenciada por ela mesma, o que na prática, significa que a diagonal da matriz de freqüências observadas, será não nula. Este tipo de matriz é denominada “Não Intrínseca”.

##### 4.2.1. Matriz Intrínseca

Devido ao fato dos dados serem subdivididos, pois existem 5 seções, com aproximadamente 120 transições de fácies e 200 metros de espessura total, porém as seções 1 até quatro podem ser correlacionáveis, como já foi dito, devido a sua coerência geológica, expressa na própria classificação das fácies.

Nestas quatro seções, que somam 82 fácies, conseqüentemente 81 transições, apresentam as seguintes matrizes, conforme os 3 métodos propostos pelo programa SAVFS sigla em inglês, que em português significa: Análise Estatística Vertical de Fácies (Hanqiu Xu *et al*, 1998).

As transições de fácies das seções 1 a 4 são, em forma vetorial:

**BASE** 'A' 'B' 'C' 'A' 'C' 'A' 'C' 'D' 'A' 'C' 'A' 'C' 'A' 'B' 'A' 'C' 'A'  
'F' 'D' 'F' 'A' 'F' 'D' 'D' 'G' 'D' 'A' 'D' 'G' 'D' 'E' 'F' 'D' 'E' 'F'  
'E' 'D' 'A' 'E' 'D' 'E' 'D' 'F' 'D' 'E' 'D' 'E' 'D' 'E' 'D' 'E' 'F' 'D'  
'E' 'D' 'E' 'A' 'D' 'E' 'D' 'F' 'D' 'E' 'D' 'E' 'D' 'E' 'D' 'H' 'D' 'E'  
'D' 'E' 'D' 'E' 'G' 'F' 'E' 'F' 'D' 'I' 'D' **TOPO**

PARA

|          | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>H</i> | <i>I</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>A</i> | 0        | 2        | 5        | 3        | 0        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| <i>B</i> | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <i>C</i> | 5        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <i>D</i> | 3        | 0        | 0        | 0        | 16       | 3        | 2        | 1        | 1        |
| <i>E</i> | 1        | 0        | 0        | 12       | 0        | 4        | 1        | 0        | 0        |
| <i>F</i> | 1        | 0        | 0        | 7        | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <i>G</i> | 0        | 0        | 0        | 2        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        |
| <i>H</i> | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| <i>I</i> | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |

Matriz observada de Transições das Seções 1-4

*A* *B* *C* *D* *E* *F* *G* *H* *I*

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>A</i> | 0.00 | 0.17 | 0.42 | 0.25 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>B</i> | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>C</i> | 0.83 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>D</i> | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.61 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.04 |
| <i>E</i> | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.67 | 0.00 | 0.22 | 0.06 | 0.00 | 0.00 |
| <i>F</i> | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>G</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.67 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>H</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| <i>I</i> | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Matriz Probabilidade de transições das Seções 1-4

Opção 1 – Método Gingerich-Harper

*Transições dominantes:*

| <b>Transições Dominantes</b> | <b>Probabilidade (%) (intensidade)</b> |
|------------------------------|----------------------------------------|
| C Para A                     | .67                                    |
| H Para D                     | .67                                    |
| I Para D                     | .67                                    |
| B Para C                     | .42                                    |
| B Para A                     | .34                                    |
| A Para C                     | .33                                    |
| G Para D                     | .32                                    |
| F Para D                     | .32                                    |
| D Para E                     | .28                                    |
| E Para D                     | .24                                    |
| G Para F                     | .20                                    |
| A Para B                     | .14                                    |
| E Para F                     | .06                                    |
| D Para G                     | .02                                    |
| D Para H                     | .02                                    |
| D Para I                     | .02                                    |

|          |     |
|----------|-----|
| A Para F | .02 |
|----------|-----|

## Opção 2 – Método Power-Easterling

### *Teste Chi-Quadrado*

O valor do teste qui-quadrado é 101.18 com 55 graus de liberdade. Este valor de qui-quadrado é inferior ao valor crítico para 55 graus de liberdade e 50% de nível de significância.

### *Transições Dominantes*

| <b>Transições Dominantes</b> | <b>Probabilidade (%) (intensidade)</b> |
|------------------------------|----------------------------------------|
| C Para A                     | .71                                    |
| H Para D                     | .55                                    |
| I Para D                     | .55                                    |
| B Para C                     | .44                                    |
| B Para A                     | .38                                    |
| A Para C                     | .35                                    |
| D Para E                     | .24                                    |
| G Para F                     | .23                                    |
| G Para D                     | .21                                    |
| F Para D                     | .21                                    |
| A Para B                     | .15                                    |
| E Para D                     | .11                                    |
| E Para F                     | .09                                    |
| A Para F                     | .05                                    |
| D Para G                     | .03                                    |
| D Para H                     | .02                                    |
| D Para I                     | .02                                    |
| E Para G                     | .02                                    |

Obs.: Na prática, o valores das transições dominantes, expostos nas tabelas acima, nada mais é, que a diferença entre a matriz esperada e a matriz observada de frequências, levando-se em consideração os valores positivos.

#### 4.2.2 – Matriz não-Intrinseca

O procedimento na análise de Markov, neste item, será o mesmo acima, ou seja, analisar-se-á, somente as seções 1 até 4, como uma única seção. A sequência está abaixo:

⌘Base

```
A1=[ 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'b'
'b' 'c' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'c' 'c' 'a' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' ];
A2=[ 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b'
'a' 'a' 'a' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'a' 'a' 'a' 'f'
'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f' ];
A3a=[ 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'g'
'g' 'g' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'g' 'g' 'g' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f'
'f' 'f' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'e'
'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' ];
A3b=[ 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f'
'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' ];
A4=[ 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h'
'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'g' 'g' 'f' 'f' 'e' 'e' 'f' 'f' ];
```



```

'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i'
'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i'
Stopo;

```

## PARA

*A B C D E F G H I*

DE

|          |     |    |    |     |     |    |   |    |    |
|----------|-----|----|----|-----|-----|----|---|----|----|
| <i>A</i> | 140 | 2  | 4  | 2   | 1   | 2  | 0 | 0  | 0  |
| <i>B</i> | 1   | 10 | 1  | 0   | 0   | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>C</i> | 4   | 0  | 12 | 1   | 0   | 0  | 0 | 0  | 0  |
| <i>D</i> | 3   | 0  | 0  | 349 | 16  | 4  | 2 | 1  | 1  |
| <i>E</i> | 1   | 0  | 0  | 13  | 111 | 4  | 1 | 0  | 0  |
| <i>F</i> | 1   | 0  | 0  | 8   | 2   | 66 | 0 | 0  | 0  |
| <i>G</i> | 0   | 0  | 0  | 2   | 0   | 1  | 5 | 0  | 0  |
| <i>H</i> | 0   | 0  | 0  | 1   | 0   | 0  | 0 | 11 | 0  |
| <i>I</i> | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0  | 0 | 0  | 32 |

Matriz de Transições observadas das Seções 1-4

|          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>H</i> | <i>I</i> |
| <i>A</i> | .93      | .01      | .03      | .01      | .01      | .01      | .00      | .00      | .00      |
| <i>B</i> | .08      | .83      | .08      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      |
| <i>C</i> | .24      | .00      | .71      | .06      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      |
| <i>D</i> | .01      | .00      | .00      | .93      | .04      | .01      | .01      | .00      | .00      |
| <i>E</i> | .01      | .00      | .00      | .10      | .85      | .03      | .01      | .00      | .00      |
| <i>F</i> | .01      | .00      | .00      | .10      | .03      | .86      | .00      | .00      | .00      |
| <i>G</i> | .00      | .00      | .00      | .25      | .00      | .13      | .63      | .00      | .00      |
| <i>H</i> | .00      | .00      | .00      | .08      | .00      | .00      | .00      | .92      | .00      |
| <i>I</i> | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      | .00      | 1.0      |

Matriz Probabilidade de transições das Seções 1-4

Opção 1 – Método Gingerich-Harper

*Teste Chi-Quadrado:*

O valor do chi-quadrado é 4322. com 64 graus de liberdade, é inferior ao valor crítico para 64 graus de liberdade e 50% de nível de significância.

*Transições dominantes:*

| <b>Transições Dominantes</b> | <b>Probabilidade (%) (intensidade)</b> |
|------------------------------|----------------------------------------|
| I Para I                     | .96                                    |
| H Para H                     | .90                                    |
| B Para B                     | .82                                    |
| F Para F                     | .75                                    |
| A Para A                     | .70                                    |
| C Para C                     | .68                                    |
| E Para E                     | .66                                    |
| G Para G                     | .62                                    |
| D Para D                     | ..07                                   |
| B Para C                     | .06                                    |
| C Para A                     | .05                                    |
| G Para F                     | .03                                    |
| E Para F                     | .06                                    |
| D Para G                     | .02                                    |
| D Para H                     | .02                                    |
| D Para I                     | .02                                    |
| A Para F                     | .02                                    |

Opção 3 – Método Selley-Turk

*Teste Chi-Quadrado*

O valor do teste qui-quadrado é 4583 com 64 graus de liberdade. Este valor de qui-quadrado é inferior ao valor crítico para 64 graus de liberdade e 50% de nível de significância

*Transições Dominantes*

| <b>Transições Dominantes</b> | <b>Probabilidade (%) (intensidade)</b> |
|------------------------------|----------------------------------------|
| D Para D                     | >100                                   |
| A Para A                     | >100                                   |
| E Para E                     | 90                                     |
| F Para F                     | 58                                     |
| I Para I                     | 30                                     |
| C Para C                     | 11                                     |
| H Para H                     | 10                                     |
| B Para B                     | 9.8                                    |
| G Para G                     | .4.9                                   |
| C Para A                     | .87                                    |
| A Para C                     | .85                                    |
| B Para C                     | .75                                    |
| G Para F                     | .24                                    |

O programa SAVFS apresenta 3 opções de análise de Markov e suas variações, em que o método Gingerich-Harper, aplica-se tanto as matrizes intrínsecas e não intrínsecas. Enquanto os métodos Powers-Easterlilng e Selley-Turk são aplicados respectivamente, para matrizes intrínsecas e não intrínseca.

A aplicação dos métodos, guardadas suas limitações, apresenta resultados que não necessariamente correspondem à visualização das transições, pois o método matemático da construção da matriz probabilidade , muitas vezes, super-estima algumas transições, pois cada elemento de uma linha é dividido pela soma de todas as transições desta mesma linha, o que pode ocorrer na matriz é uma super-avaliação destas transições.

Todos os métodos apresentam transições muito próximas, com exceção da matriz não intrínseca, em que as diagonais das matrizes, são as mais intensas, porém após isto, as transições convergem para as matrizes intrínsecas.

Logo as transições mais importantes são, independente das intensidades são:

| <b>Transições Dominantes</b> |        |
|------------------------------|--------|
| C                            | Para A |
| B                            | Para C |
| A                            | Para C |
| F                            | Para D |
| D                            | Para E |
| E                            | Para D |
| A                            | Para B |

A primeira e terceira transição (C para A e A para C), está presente nas seções 1 e 2. Onde na seção 1, ocorre no trecho superior, que é o surgimento de camadas cuja textura é mais arenítica, onde a fácies A, corresponde a camadas, de diversas espessuras, mas de textura pelítica (fina). A fácies C corresponde a intercalações de textura finas e grossas, porém as espessuras arenítica da fácies C, são relativamente finas.

A segunda transição (B para C), ocorre muito eventualmente, e é resultado de deformações das camadas, os denominados *slumping*, porém geralmente esta fácies está imediatamente sobrepostas por camadas de textura fina.

A fácies F, ocorre nas 3 seções intermediárias, ou seja, da seção 2 até a 4, sendo mais comum na seção 2 e 3, e corresponde, talvez, a uma das transições mais comuns (F para D), e é constituída pela transição de camadas finas de arenitos com intercalações eventuais de pelito (fácies F) com camadas de arenito de diversas espessuras.

As duas próximas transições (D para E e E para D) podem ser antecipadas como as mais importantes e ocorrentes, do ponto de vista granulométrico, é a intercalação de camadas de areia de variadas espessuras com camadas de areia e pelito.

Se for observada a matriz de transições acima, observar-se-á que estas duas transições, são de longe, as mais intensas. Bata lembrar que o total de transições são por volta de 80, e que estas duas transições (D para E e E para D) têm respectivamente, 16 e 12 transições, o que significa mais do que um terço. Estas duas transições ocorrem exclusivamente nas seções 3 e 4.

Na seção 4, onde ocorrem a fácies D1, optei por mantê-la como a mesma fácies D, pois a diferença é do ponto de vista das espessuras e granulometria maiores, pois as camadas da fácies D1, ocorrente na seção 4, correspondem a camadas cuja média é de 1 m de espessura e textura arenito médio.

Por último, a transição (A para B), corresponde a alguns trechos de slumping, que já foi citado anteriormente como de (B para C). Esta transição corresponde às espessas camadas de pelito interrompida por depósitos deformados.

## Capítulo 5

### Interpretação dos Resultados

#### 5.1. Análise Estatística dos Dados

Resumo

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Número de Seções                   | 5       |
| Número de fácies                   | 102     |
| Espessura total                    | 199,8 m |
| Número de camadas maiores que 3 cm | 529     |

Isto posto, como o critério de diferenciação das camadas é geológico, existem discrepâncias muito grandes, por exemplo, na seção n. 4, em que a diferença de espessura entre a maior e menor camada é de 350 cm.

Outra discrepância observada é o próprio número de camadas, variando de 34 a 345, ou seja, 10 vezes maior. Para uma análise estatística apurada, seria necessária uma quantidade exaustiva de dados, o que não ocorre na seção 1.

As medidas estatísticas podem ser subdivididas em duas categorias: medidas de posição (média, mediana, moda, etc) e medidas de dispersão (desvio padrão, variância, assimetria) e todas estão representadas na tabela 1.

As espessuras da camada possuem média de 20 cm de espessura, uma observação interessante se faz nos altos valores da variância, o que na prática, reflete a discrepância entre as espessuras das camadas, pois os valores da variância da seção 4 e 5 são

relativamente elevados. Pela própria definição, valores elevados da variância, refletem valores discrepantes da média, ou seja, mal distribuídos, pois é uma relação quadrática entre o cada valor real observado e a média.

Um reflexo dos histogramas, são os dados concentrados nos menores intervalos, ou seja, espessuras menores ou iguais a 30 cm, são responsáveis por 67% das espessuras, cujas exceções são os dados das seções 4 e 5, que se encontram melhor distribuídos, uma evidência disto são os baixos valores da assimetria. Os histogramas estão todos subdivididos por 15 intervalos, exatamente para efeito de comparação e não necessariamente refletem uma melhor distribuição.

As espessuras se referem exclusivamente às espessuras de areia. As espessuras inferiores a 3 cm, foram excluídas. No processo de obtenção dos dados, alguns trechos foram considerados negativos, por não haver informações, daí a necessidade do algoritmo para eliminar estes valores e criar um vetor que incluísse somente as espessuras que contivessem granulometrias acima de areia.

Os dados estatísticos estão resumidos na tabela 1.

## **5.2 Análise de Fourier**

Em resumo, o objetivo deste algoritmo é identificar as seqüências *thinning and thickening upward*, que se refere às espessuras das camadas, enquanto que não será possível a análise dos *trends* da granulometria, denominados de *fining* e *coarsening upward*, dado, neste caso, à massividade das camadas.

É necessário antecipar que este método tem bastantes limitações e a definição se dá, através da comparação da análise visual (gráficos da representação das espessuras das camadas), pois é exatamente o desenvolvimento do trabalho, ou seja, detecta-se a quantidade de ciclos, e checa-se com a análise visual.

Outro desafio é a questão dos *trends* de *thinning* e *thickening upward*, pois cada uma dessas condições pode ser indicador de um sistema deposicional distinto, para ser mais claro, o afinamento ascendente refletiria um depósito de canal, enquanto que o engrossamento ascendente sugere depósito de lobos (Nielsen, 1984). Logo, existem duas variáveis na análise de Fourier, a primeira é a quantidade de sequências e a segunda, que tipo de ciclos (figura 4.29).

Outro cuidado que se deve levar em consideração, é com relação à quantidade de dados, quando individualizada as camadas, como na seção 1, porém nas outras seções, este problema inexistente..

A tabela dos resultados do Capítulo 4 (tabela 4.1) e a tabela 5.1, resume os gráficos da transformada de Fourier, que como já foi citado, leva-se em consideração as frequências de maior intensidade e posteriormente, checa-se com a análise visual, veja os resultados abaixo:

|                           |    |      |     |      |      |     |
|---------------------------|----|------|-----|------|------|-----|
| <b>Seção</b>              | 1  | 2    | 3   | 4    | 5    | 1-4 |
| <b>Análise de Fourier</b> | 2  | 2    | 11  | 6    | 4    | 16  |
| <b>Análise Visual</b>     | -  | 2    | 9   | 5    | 3    | 18  |
| <b>Engrossamento</b>      | -  | 2    | 6   | 2    | -    | 8   |
| <b>Ascendente</b>         |    |      |     |      |      |     |
| <b>Afinamento</b>         | -  | -    | 3   | 3    | 3    | 10  |
| <b>Ascendente</b>         |    |      |     |      |      |     |
| <b>Número de</b>          | 34 | 57   | 320 | 69   | 49   | 480 |
| <b>camadas</b>            |    |      |     |      |      |     |
| <b>Camadas por ciclo</b>  | -  | 28.5 | 29  | 11.5 | 12.2 | 30  |

Tabela 5.1- Resumo da análise de Fourier

As comparações dos resultados refletem bastante convergência entre os valores obtidos na análise de Fourier e análise visual, porém a seção 1, não é possível identificar nenhum ciclo através da transformada de Fourier, muito menos através da análise visual



quais são as principais frequências, que na prática é facilmente visível que não existe nenhum ciclo presente. Em relação às demais, é perceptível que nem sempre os valores da análise visual são idênticos à análise de Fourier, porém são valores bastante próximos.

Para a definição da frequência, foi primeiro identificadas as frequências de maior amplitude na análise de Fourier, posteriormente, foi feita a análise visual e escolhida a frequência igual ou próxima à análise visual (figura 5.2).

É necessário ter consciência de que a transformada de Fourier, nas seções aqui descritas, apresentam um leque de frequências muito amplo, que vai desde a frequência zero até frequências  $n/2$ , ou seja, as frequências que serão apresentadas, independente da representatividade serão próximas de zero até a metade do número de camadas maiores que 3 cm.

O que se pode concluir é que, dependendo do número de informações, a análise de Fourier é uma ferramenta extremamente importante e que converge com bastante grau de certeza para análise visual, o que na prática ambos, os métodos podem ser complementares, já que ambos se auxiliam.

O maior desafio nesta análise, é realmente identificar qual é o ciclo dominante, existem alguns métodos, mas no caso aqui em questão, o ciclo definitivo foi obtido a partir da análise visual, ou seja, tentava-se identificar quantos ciclos estavam presentes, posteriormente buscava-se associar com as diversas frequências apresentadas na análise de Fourier, optando-se pela mais próxima.

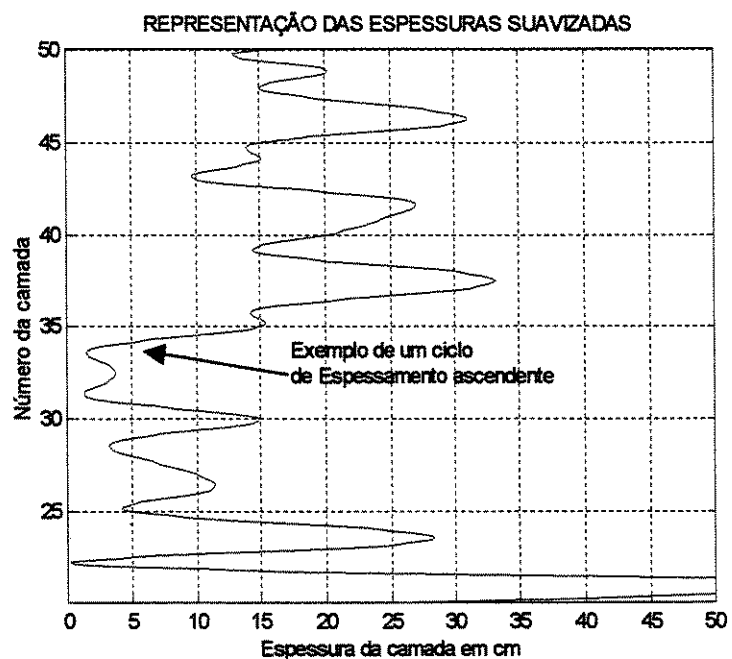


Figura 5.1 – Exemplo de um ciclo de engrossamento ascendente na seção 2

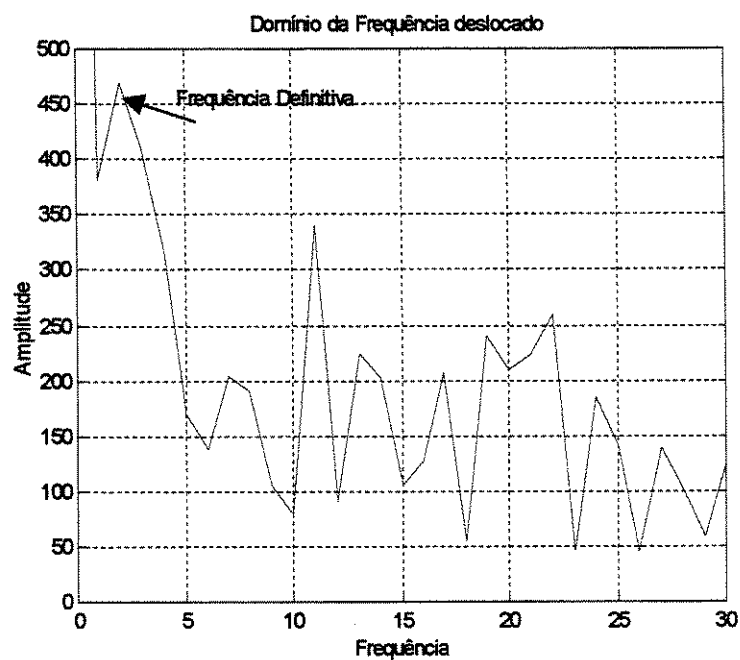


Figura 5.2 - Frequência definitiva da seção 2.

Uma outra observação que deve ser feita é a questão da quantidade de camadas por ciclos, pois como mostra a tabela 4.1, é levado em consideração a média, o que não ocorre na prática. Fica nítido que não existe um padrão em relação aos ciclos ascendentes ou descendentes, denominados seqüências.

Trabalhos semelhantes, em que se tentou aplicar análise de Fourier para se detectar os ciclos existentes, apresentava uma quantidade bem maior de dados, além disto, os ciclos apresentavam-se bem mais nítidos (Lowey, 1992).

Durante a deposição sedimentar, existe a variável de compensação, que pode ser diferente em cada local, estes ciclos, podem dar a impressão de um espessamento ascendente, mas na prática, sua explicação pode estar simplesmente, na maior pressão em camadas mais profundas, conseqüentemente estas camadas aumentam de espessura com o alívio de carga (camadas sedimentares), podendo não ser um exemplo de um depósito de leque profundo, depositado em lobos.

De qualquer maneira, não foi possível identificar estas diferenças, até porque não é o objetivo deste trabalho, e os resultados, até aqui são extremamente satisfatórios, ficando para um próximo passo, afloramentos mais nítidos e com maiores informações.

Outro método que carece de aprimoramento, é a questão da definição da frequência dominante, pois não consegui desenvolver um método teórico para definir estes ciclos. Neste trabalho, usei simplesmente o critério dos ciclos visuais, que observava nos gráficos das espessuras suavizadas.

Por outro lado, o processo de interpolação cúbica *spline*, nos dados da espessura, facilitou bastante os trabalhos, pois apesar das limitações da transformada, devido ao número escasso de dados, as intensidades das frequências, destacam-se muito mais, quando aplicada a interpolação cúbica.

Outra observação, é que os dados aqui apresentados, referentes as cinco seções não mostram as seqüências de *thinning ou thickening upward* tão nítidos, basta ver que a tabela 2, de quase 170 metros de sedimento, que totaliza mais de 400 camadas, apresenta apenas 18 seqüências, o que podemos antecipar que estas seções não representam um típico depósito de leque profundo, suprido por *canyon* (Rostirola *et al*, 1992), pois os autores precedentes assim definiram.

As informações sedimentológicas, expressas nas 5 seções, podem ser subdivididas basicamente em quatro associações de fácies, na qual a primeira, seria referente às fácies da seção 1 e parte da seção 2.

A segunda associação de fácies, seria a partir da c.e. 16,4 m da seção 2 e por toda a seção 3 (incluindo a seção 3a e 3b).

A terceira associação de fácies, muito parecida com associação 2, seria correspondente a toda seção 4.

A quarta associação de fácies, seria equivalente à seção 5.

#### **Associação de fácies 1 - Depósitos de Talude – (*slope*)**

Corresponde a depósitos mais finos, que envolve as fácies A,B e C. Existe também um pequeno pacote da fácies D.

Caracteriza-se por depósitos de textura fina, argilitos siltíticos.

#### **Associação de Fácies 2 – Depósitos distais de lençóis de areia ( *sheet sands* )**

Esta associação de fácies, é composta pelo aporte maciço de depósitos de areia, cuja espessuras das camadas varia de 3 cm a 1,5 m e apresenta 4 principais fácies (D, E, F e G),

as fácies D, E e F, como já descritas, de arenito fino a médio, as vezes intercaladas com siltito, na qual as fácies D e F, diferem pelas espessuras das camadas.

As fácies G, distingue-se das demais, por apresentar evidências de ressedimentação por fluxos gravitativos de alta concentração.

### **Associação de fácies 3 – Depósitos proximais de lençóis de areia (*sheet sands*)**

Difere da anterior, pelo fato de apresentar camadas relativamente mais homogêneas, quanto à textura de areia, além de mais grossas e pelo fato das camadas apresentarem média de espessura de 1 m

As fácies presentes nesta associação são: H, I, D1 e E, porém com domínio da fácies D1.

Esta associação de fácies coincide com a seção 4.

### **Associação de fácies 4 – Depósitos de Canal-dique marginal (*channel-levee system*)**

As fácies aqui presentes diferem totalmente das características até aqui colocadas, limita-se a seção 5 e as principais fácies são: L, M, N, O e P).

## **5.3 Cadeia de Markov**

### **5.3.1. - Matriz Intrínseca**

A análise da cadeia de Markov ou suas variações é usada para determinar se a ocorrência de uma determinada fácies (Conjunto de características de uma rocha), num determinado ponto, tem alguma dependência do ponto imediatamente inferior a esta.

Foi usado basicamente o algoritmo (SAFVS) (Hanqiu Xu & Maccarthy,1998), já citado anteriormente, que dispõe de 3 (três) métodos, dos quais, o método número 3, denominado de Selley-Turk é o que melhor se aproxima da realidade sedimentológica aqui colocada, também é o método mais simples, ou seja, o que ocupa menor tempo de máquina

O programa SAVFS necessita que o arquivo de entrada seja basicamente a matriz de frequências observadas das fácies, o que é construído por um programa feito em Matlab por mim mesmo e que os resultados são convergentes com o método de Selley- apresentado pelo programa. Turk (Harper, 1984; Powers, 1982; Selley, 1970; Turk, 1979)

Porém, o mais importante dos resultados, é identificar quais são as transições de fácies mais comuns, conseqüentemente, através do índice chi-quadrado, avaliar se existe alguma credibilidade na teoria matemática; o que se vê, é que os resultados dos 2 métodos, são bastantes parecidos, com muito poucas variações.

Os resultados poderiam ser facilmente observáveis na própria matriz de transições, apresentada logo no início, porém existem outros parâmetros, principalmente a soma das linhas, que define a matriz de probabilidade das transições que fica mais fácil a visualização.

Como existe uma matriz observada e uma matriz esperada, a diferença entre elas, levando-se somente os valores positivos de cada valor  $a_{ij}$  é que define as frequências mais intensas. Veja a tabela com as frequências mais comuns, baseados no método número 3 de (Selley-Turk) para transições de fácies:

| <b>Transições Dominantes</b> | <b>Probabilidade (%) (intensidade)</b> |
|------------------------------|----------------------------------------|
| D Para E                     | 10.08                                  |
| E Para D                     | 5.85                                   |
| C Para A                     | 4.16                                   |
| A Para C                     | 4.09                                   |

|          |      |
|----------|------|
| F Para D | 3.58 |
| E Para F | 1.72 |
| A Para B | 1.70 |
| D Para G | 1.01 |
| G Para D | .97  |
| B Para C | .85  |

|          | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>H</i> | <i>I</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>A</i> | -1.67    | 1.70     | 4.09     | -1.10    | -2.73    | .48      | -.46     | -.15     | -.15     |
| <i>B</i> | .72      | -.05     | .85      | -.68     | -.46     | -.25     | -.08     | -.03     | -.03     |
| <i>C</i> | 4.16     | -.15     | -.46     | -1.05    | -1.37    | -.76     | -.23     | -.08     | -.08     |
| <i>D</i> | -.62     | -.66     | -1.97    | -8.89    | 10.08    | -.29     | 1.01     | .67      | .67      |
| <i>E</i> | -1.51    | -.46     | -1.37    | 5.85     | -4.10    | 1.72     | .32      | -.23     | -.23     |
| <i>F</i> | -.39     | -.25     | -.76     | 3.58     | -.28     | -1.27    | -.38     | -.13     | -.13     |
| <i>G</i> | -.42     | -.08     | -.23     | .97      | -.68     | .62      | -.11     | -.04     | -.04     |
| <i>H</i> | -.14     | -.03     | -.08     | .66      | -.23     | -.13     | -.04     | -.01     | -.01     |
| <i>I</i> | -.14     | -.03     | -.08     | .66      | -.23     | -.13     | -.04     | -.01     | -.01     |

*Matriz diferença entre a esperada e a observada*

|          | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>H</i> | <i>I</i> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>A</i> |          | 1.70     | 4.09     |          |          | .48      |          |          |          |
| <i>B</i> | .72      |          | .85      |          |          |          |          |          |          |
| <i>C</i> | 4.16     |          |          |          |          |          |          |          |          |
| <i>D</i> |          |          |          |          | 10.08    |          | 1.01     | .67      | .67      |
| <i>E</i> |          |          |          | 5.85     | 1.72     | .32      |          |          |          |
| <i>F</i> |          |          |          | 3.58     |          |          |          |          |          |
| <i>G</i> |          |          |          | .97      | .62      | -        |          |          |          |
| <i>H</i> |          |          |          | .66      |          |          |          |          |          |
| <i>I</i> |          |          |          | .66      |          |          |          |          |          |

*Matriz da diferença sem os valores negativos*

A partir da tabela acima (tabela 5.1) e das duas matrizes de diferença, fica fácil concluir que existe uma dependência entre as camadas D para E e vice versa, assim como de C para A e vice versa, ou seja, pelos valores da matriz de diferença entre a matriz esperada e observada fica nítido, pelos valores relativos o destaque para estas quatro primeiras transições, o que já foi confirmado pelos outros dois métodos.

É fácil de perceber que diversas transições apresentam valores maiores que zero, neste caso aqui estudado, 18 (dezoito), porém só os valores relativamente maiores são os que se destacam.

### **5.3.2. - Matriz Não-Intrínseca.**

Com relação à matriz não-intrínseca, não há grandes mudanças, o único detalhe, é que as transições entre as mesmas fácies são as mais numerosas em volume, basta ver a diagonal da matriz de frequência observadas.

Como na análise da matriz não intrínseca, leva-se em consideração uma espessura fixa, neste caso de 20 cm (vinte centímetros), é natural que as fácies mais espessas (grossas) e mais numerosas, serão as frequências dominantes.

Esta fácies, facilmente identificada, é a fácies D, que tem 349 transições. Em espessura isto significa aproximadamente 70 metros de espessura de areia das fácies D.

O que se conclui, é que nestas 4 seções de seqüências turbidíticas, a matriz não intrínseca não se aplica, a não ser a questão do volume das espessuras.

Se fossemos construir uma seqüência baseada na cadeia de Markov esta seqüência ficaria aproximadamente assim:



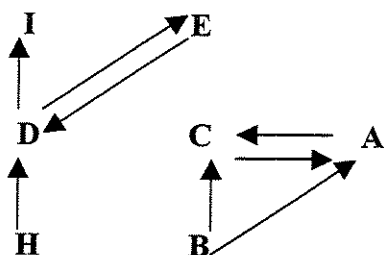


Figura 48 – Principais transições da cadeia de Markov

Conseqüentemente, uma breve descrição das principais fácies, associadas à figura acima, levando-se em consideração, de cima para baixo, as mais numerosas:

As principais transições, como já foram citadas, referem-se à associação de fácies n 2 e 3, denominados de depósitos de lençóis de areia tanto proximal (associação 3) quanto distal (associação 2), pois estes são os depósitos mais intensos.

Estas transições em geral estão associadas as fácies D e E, que na prática são os depósitos de areia de diversas espessuras e texturas intercalando-se com a E, que são depósitos intercalações de finas camadas arenito com camadas de siltito e argilito. Vale lembrar, que para a análise de Markov, eu interpretei tanto a fácies D quanto D1, como única.

Fácies D – Camadas Espessas ou muito espessas de arenito – geralmente maiores de 20 cm, atingindo até 2 metros, a granulometria está entre arenito fino a médio. Uma das características desta fácies, é que ela carece de estruturas internas (Basilici, 2001)

Fácies E – Camadas de arenitos finas a espessas – É mais freqüente nas seções 2 e 3. Esta fácies apresenta espessuras entre 3 e 25 cm, mas com média em torno do 10 cm, geralmente constituída de arenito fino a muito fino. Muitas vezes, as camadas desta fácies, encontra-se amalgamadas (suturadas) (Basilici, 2001)

Fácies A – Intercalação de argilitos à camadas de arenitos muito fino – É a transição mais freqüente, porém não superior em volume, suas espessura varia de 1,15 m a 7,5 m , a litologia é cinza verde ou marrom vermelho, dependendo da oxidação. Não apresenta bioturbação.

Fácies C – Pequenas camadas de arenito – Varia de arenito fino a muito fino, plano ondulada.

Fácies B – Argilito siltoso – Está representado, principalmente nas seções 1 e 2, variando as espessuras de 320 a 1070 cm.

Fácies H – Camadas de arenitos lenticulares – Está representada somente em um pequeno trecho da seção 4. Formada por corpos de arenitos de forma lenticular, apresentam contato brusco, erosivo e as vezes apresenta conglomerado intraformacional de clastos de pelitos.

Fácies I – Arenitos conglomeráticos – Estas fácies se diferenciam de outras, por ter uma maior textura, está representada no topo da seção 5. Caracteriza-se por um arenito grosso conglomerático, mau selecionado, subangulosos e subarredondados.

Apesar das controvérsias com relação aos processos deposicionais: correntes de turbidez e fluxo de detritos, em cada uma destas, guarda características particulares reológicas, pode-se adiantar que os depósitos aqui expressos, principalmente das fácies D e D1, que são tratadas como única, são resultados de fluxo de detritos (*debris flow*), até pela ausência de um padrão gradacional ascendente, estas algumas vezes estão presentes, nos topos das camadas, o que nos leva a crer que pode haver uma espécie de processos híbridos, em que na base é dominada por *debris flow*, enquanto que no topo por correntes de turbidez.

A tabela abaixo resume os valores de chi-quadrado, das 4 análises da cadeia de Markov, duas para a matriz não intrínseca e duas para a matriz intrínseca.

| <b>Método</b>         | <b>Gingerich-Harper</b> | <b>Powers-Easterling</b> | <b>Selley-Turk</b> |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| Matriz intrínseca     | -                       | 101.18                   | -                  |
| Matriz não intrínseca | 4322                    |                          | 4583               |

Tabela 5.2 – Valores de chi-quadrado

A tabela 5.2 mostra a discrepância dos valores de chi-quadrado, entre a matriz intrínseca (diagonal nula) e a matriz não intrínseca (diagonal não nula), é fácil identificar que os altos valores são explicados pela alta diferença entre a matriz observada de frequências e a matriz esperada das frequências, isto porque, na matriz não intrínseca, o volume de informações é geometricamente superior, submetendo as transições de fora da diagonal, foi mais uma das razões para se concluir que não se aplica a matriz não intrínseca, nas transições de fácies neste trabalho.

## Capítulo 6

### Conclusões e Discussões

Pela clássica definição de leques submarinos, a interpretação das seqüências de afinamento e engrossamento ascendentes (*thinning e thickening upward*), não ficam tão nítidos, nem mesmo na análise visual (análise dos gráficos de espessuras), estas tendências ficam tão claras. Pois do total de camadas, 480, referentes às seqüências 1-4, apresenta-se apenas 18 ciclos, dos quais, 8 com *thickening upward* e 10 com *thinning upward*.

Com relação às tendências (*trends*) de afinamento e engrossamento ascenente (*fining e coarsening upward*), que trata da gradação ascendente, que segundo a bibliografia estaria associado a depósitos de canais e lobos, nos tradicionais depósitos de leque profundo, ocorrem de maneira muito tímida, isto se explica pelo fato de a maioria das camadas de arenito serem composta por processos deposicionais de fluxo de detritos (*debris flow*) em detrimento aos processos turbulentos de fluxos de turbidez (*turbidity currents*). Eventualmente, em algumas camadas de arenito, encontra-se uma espécie de hibridez dos processos deposicionais.

Isto é mostrado em camadas que a maior parte não apresenta gradação, porém quando se aproxima do topo ocorre uma diminuição da textura, o que pode ser explicado como arenitos depositados por fluxos de detritos e correntes de turbidez em paralelo.

Colocado as duas principais características acima, pode-se refutar a classificação como depósitos de leques e sugerir aqui que os depósitos da unidade Apiúna são marinhos

profundos, porém de rampa submarina, suprido por uma rede de canais (delta) e rico em areia e siltito.

Outra evidência é que os depósitos de arenitos principalmente os que aqui foram classificados como fácies D e D1, são compostos majoritariamente por fluxos de detritos (debris flow) em detrimento das classificações anteriores, que eram por correntes de turbidez. Isto é facilmente observável nos estratos maciços, que não apresentam nenhuma gradação, principalmente nas fácies D1.

As cinco seções foram subdivididas como 4 associações de fácies, a seguir: Depósitos de Talude (seção 1 e parte da seção 2) depósitos distais de lençóis de areia (metade superior da seção 2 e toda a seção 3), depósitos proximais de lençóis de areia (toda a seção 4) e finalmente depósitos de canal-dique marginal (seção 5). Lembrando que as quatro primeiras seções apresentam correlação com sistema deposicional de rampa.

Um dos problemas das megassequências, é a quantidade de camadas por ciclos. Não existe nenhuma definição bibliográfica, nem valores próximos a cada seção, basta observar que os estes valores variam de 11 camadas por ciclo, na seção 1, a 30 na seção 1-4. De qualquer maneira, os dados deste trabalho refletem mais uma vez a pequena quantidade desta seqüências e que a quantidade de camadas por ciclos não pode ser estendido para todo depósito, pois estas seqüências, em geral estão associadas a camadas de areia, e ocorrem também camadas de siltito e argilito.

Existem algumas limitações quanto aos afloramentos da unidade Apiúna, onde melhores afloramentos são os cortes da BR 470, muitas vezes paralelos ao rio Itajaí-Açu, mesmo assim, são escassos, densamente cobertos pela vegetação e sofreu deformação devido a tectônica recente. Porém são os únicos afloramentos disponíveis no centro sul do Brasil. Ainda está em fase de intenso estudo.

A matriz não intrínseca (diagonal não nula), em que se fixa a mudança das fácies a cada 20 cm, não mostrou nenhuma correlação, ficando a matriz intrínseca (diagonal nula),

apesar de menos valores, a conclusão de que as fácies de transições mais intensas são: C para A, A para C, D para E e E para D. Sendo estas duas últimas transições, as mais presentes e correspondentes a associação de fácies 2 e 3, que foi aqui denominada como sistema de rampa proximal e distal.

Com relação aos ciclos existentes, este mostrou resultados razoáveis e de fácil correlação com a análise visual, porém estes ciclos podem simplesmente, estarem associados a ciclos de compensação.

As camadas apresentam espessuras de poucos centímetros até 1,50 m de areia, porém a média é de 30 cm, além da assimetria para direita, expressa nos histograma. Apresenta alto desvio-padrão, 37,82, porém nas seções individuais estes valores são ainda maiores, lembrando que o desvio padrão é a raiz quadrada da variância. A assimetria é de 3.64, relativamente alto, o que reflete a concentração das espessuras, mais de 72% no intervalo de espessura de 3 a 20 cm, cuja mediana é de 10 cm.

As tendências de engrossamento ascendente são mais abundante que o de afinamento ascendente, porém como já foi dito, não é possível correlacionar estas seqüências com os clássicos depósitos de leques marinho profundos.

Existe um controle de deposição que pode estar associado a dois fatores: variações do nível do mar e tectônica, pois diante dos depósitos areníticos, ocorrem eventualmente a deposição de camadas de siltitos e argilitos, principalmente na associação de fácies distal, onde ocorrem camadas de variadas espessuras, porém de até 7 metros (seção 3b), isto reflete um diminuição da energia dos processo deposicionais, que podem estar associados, como já foi citado, a processos eustáticos e/ou tectônicos.

Do ponto de vista da geologia de reservatórios, as associações de fácies 2 e 3, sistemas de rampa proximal e distal, respectivamente. Seriam as de maiores potenciais como rochas reservatórios, pois são constituídas majoritariamente pelas fácies D, que aqui

são corpos areníticos de grandes proporções e maciços, imediatamente intercalados por rochas das fácies E, que são intercalações de areia com argila, sugerindo rochas selantes.

## Referências Bibliográficas

- Almeida, F.F.M. de. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. *Boletim n. 241*. DNPM/ Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, 1987, 36p.
- Appi, C.J. Análise estratigráfica da seção metassedimentar do Grupo Itajaí no estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro:Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991. 119p. *Dissertação de Mestrado*.
- Basei, M.A.S. O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1985, 193p. (*Dissertação de Mestrado*).
- Basei, M.A.S., Kawashita, K., Siga Jr., Idade, características litoestratigráficas e estruturas do Grupo Itajaí, SC. In: *Simpósio Sul Brasileiro de Geologia 3*, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987. v.1, p. 93-106.
- Basilici, G. The Three-Dimensional Facies Architecture of Deep-Marine Fan Sediments of Itajaí River Group (Santa Catarina State, Brazil), and its implication for Hydrocarbon Discovery and Recovery. Campinas: Unicamp. 1999. (*Relatório Final de Pós Doutorado*)
- Basilici, G., Martins, J.L. The Sand-Rich and Mixed Sand-Mud Ramp Deep-Water Depositional Systems of the Apiuna Unit (Santa Catarina State, Brazil): a Challenge to Decrease the Unrecovered Mobile Oil. *Society of Petroleum Engineers Review*, 2001.



- Bouma, A.H. Sedimentology of some flysch deposits; a graphic approach to facies interpretation. Holland: *Elsevier*, 1962.
- Brigham, E.O. The Fast Fourier Transform and its Application. Englewood Cliffs :Prentice-Hall, 1988. 252p. (signal processing series).
- Bruhn, C.H.L.: Course n. 6: Petroleum Geology of rift and passive margin turbidite systems: Brazilian and worldwide example. Part 2: deep water reservoirs from the eastern Brazilian rift and passive margin basins. 1998. *AAPG international conference and exhibition*, Rio de Janeiro.
- Bussab, Wilton.D., Morettin, P.A. Estatística Básica. 4. ed. São Paulo: Atual, 1987. 321p.
- Chan, M.A., Dott, Jr. Shelf and deep sea sedimentation in Eocene forearc basin, western Oregon – Fan or not Fan?. 1983. *AAPG Bulletin*, v. 67, p. 2100-2116.
- Davis, J.W. Statistics and data analysis in geology. New York: Wiley 1973.
- Doveton, J.H., Theory and applications of vertical variability measures from Markov chain analysis 1986. *Computers and Geosciences* vol. 12, n. 4B, pp. 519-526
- Duarte, O.O. *Dicionário enciclopédico inglês-português de geofísica e geologia*. 1. ed. – Rio de Janeiro: Petrobrás, 304p. 1997.
- Ferguson, John. Mathematics in Geology. Allen & Unwin Ltd , 1988. 299p.
- Gingerich, P.D. Markov analysis of cyclic alluvial sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 330-332. 1969.

Guidorizzi, H. L. Um curso de Cálculo. Rio de Janeiro: LTC 1988. 4V

Hanqiu Xu., Maccarthy, I.A.J. Markov chain analysis of vertical facies sequences using a computer software package (SAVFS): Courtmacsherry Formation (Tournaisian), southern Ireland. *Computer and Geosciences*, 24: 131-139. 1998..

Hanselman, D., Littlefield, B. MATLAB 5 Versão do Estudante – Guia do Usuário. São Paulo: Makron Books 1999. 413p.

Harper, C.W., Improved methods of facies sequence analysis. Facies Models (ed. By R.G. Walker). *Geoscience Canada reprint series 1* (second edition), Geologic Association of Canada, Toronto, 11-13. 1984.

Heller, P. L., Dickinson, W.R. Submarine Ramp Facies Model for Delta-Fed, Sand-Rich Turbidites Systems. *AAPG Bulletin V. 69* – (6), pg. 960-976. 1985.

Lowey, G.W. Variation in bed thickness in a turbidite succession, Dezadeash Formation (Jurassic-Cretaceous), Yukon, Canada: Evidence of thinning and thickening-upward cycles. 1992. *Sediment Geol.*, 78:217-232.

Mutti, E., Ricci-Lucci, F. Turbidites of the northern Apenines: Introduction to facies analysis (English translation by T.H. Nilsen, 1978). 1972. *Int. Geol. Rev.* 20: 125-166.

Nilsen, T.H., *Turbidite Facies Association*. In: Nelson, C.H. and Nielsen, T.H.: Modern and ancient deep-sea fan sedimentation. *SEPM short course*. 1984 14, 301-325.

Pickering, K.T., Hiscott, R.N., Hein, F.J. Deep Marine Environments: Clastic Sedimentation and Tectonics. 1989. London: Unwin. 416 p.

- Posamentier, H.W., Vail, P.R. Eustatic controls on clastic deposition, 2: sequence and systems tract models. Houston: *Society of Economic Paleontologist and Mineralogists*, 1988. p.125-154
- Powers, D.W., Easterling, R.G. Improved Methodology for using embedded Markov chains to describe cyclical sediments. 1982. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 913-923.
- Rostirolla, Sidnei Pires., Alkmim, Fernando F., Soares, P.C.. O Grupo Itajaí, Estado de Santa Catarina, Brasil: exemplo de sedimentação em uma bacia flexural de antepaís. *B. Geoci. Petrobrás*, Rio de Janeiro. 1992 v. 6(3/4):109-122.
- Rostirolla, S.P., Figueira, E.G. Associações de fácies turbidíticas do Grupo Itajaí, SC: Sedimentação de água profunda em uma bacia de antepaís. 1995. *Bol. Par. Geoc.*, 43:79-94.
- Salamuni, R., Bigarella, J.J., Takeda, F.K. Considerações sobre estratigrafia e tectônica da série Itajaí. *Boletim Paranaense de Geografia*, [s.l.], v. 4/5, 1969. p. 188-201.
- Selley, R.C. Studies of sequence in sediments using a simple mathematical device. 1970. *Geol. Soc. Of London, Quarterly Journal*, 125: 557-581..
- Shanmungam, G., The Bouma Sequence and the Turbidite Mind Set. 1997. *Earth-Sci. Rev.*, 42. 201-229.
- Shanmungam, G., Moiola, R.J., Submarine Fans: Characteristics, models, classification and reservoir potential. 1988. *Earth-Sci. Rev.*, 24: 383-428.
- Silva, L.C., Dias, A.A. Projeto Timbó-Barra Velha, Brasil. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1981. 282p.

- Soares, P. C. Tectônica colisional em torno em torno do Bloco Paraná. Brasil. In: *Congresso Latino-Americano de Geologia*, 7, Belém, 1988. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v.1, p. 63-79.
- Stow, D.A.V. – Deep-sea clastics: where are we and where are we going? In: Brenchley, P.J. and Williams, B.P.J. (eds) *Sedimentology:: recent development and applied aspects*. 1978. Geol. Soc. London: *Blackwell Scientific*. 18, 67-93.
- Suguio, K. *Sedimentologia*, São Paulo: USP. 1968. 205p.
- Turk, G., Transition analysis of structural sequences, discussion. 1979. *Geol. Soc. Of America Bulletin*. 90: 989-991.
- Tyler, N., Finley, R.J. Architectural control on the recovery of hydrocarbon from sandstone reservoirs, In: Miall, A.D. et al. *The thtre dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments ans its implications for hydrocarbon discovery and recovery*, 1991. *SEPM, concepts in Sedimentology and Paleontology*, 3, 1-5.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S., Harden-Bol, J. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. Houston: *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist*, 1988. p. 39-45
- Walker, R.G. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigrafic traps. 1978. *AAPG Bulletin*, v. 62, p. 932-966.

## Anexos

## ANEXO I

**Algoritmo que tira os valores das espessuras de argila (pelito), calcula as variáveis estatísticas, constrói os histogramas, aplica o algoritmo de Fourier (FFT) e constrói os gráficos.**

```
function definitivo

y=input('Entre com os valores da espessura das camadas em forma de vetor:
');

y=y';

% Nesta Proxima rotina, ocorre a filtragem, ou seja
% pega-se valores menor ou igual a zero,
% elimina, criando um novo vetor;

x=1:length(y);
a=0;
for b=1:length(y)
    if y(b)>0
        a=a+1;
        yc(a)=y(b);
        %al(a)=x(b);
    end
end

dif=abs(size(y)-size(yc));
al=1:length(yc);

disp('tamanho do vetor y')
size(y)
disp('tamanho do vetor x')
size(x)
disp('tamanho do vetor yc')
size(yc)
disp('tamanho do vetor al')
size(al)
disp('diferenca entre os tamanhos')
dif
a
size(al)

figure(1);plot(y,x,yc,al)
ylabel('Número da camada')
xlabel('Espessura da camada em cm')
title('REPRESENTAÇÃO DAS ESPESSURAS')
%legend('número original de camadas','número de camadas maior que 3 cm')
grid
%gtext('vetor original')
%gtext('vetor enxugado')

% A rotina abaixo, através de interpolação cúbica
% spline, suaviza alguns pontos da função não
% deriváveis e novamente elimina os pontos negativos
% devido a interpolação
```

```

all=1:1:length(a1);
ycc=spline(a1,yc,all);
ycc=ycc(ycc>0);
all=linspace(1,length(a1),length(ycc));

min(ycc)
size(ycc)
%all=1:length(ycd);
%size(all)
figure(2);plot(ycc,all)
ylabel('Número da camada')
xlabel('Espessura da camada em cm')
title('REPRESENTAÇÃO DAS ESPESSURAS SUAVIZADAS')
%legend('número original de camadas','número de camadas maior que 3 cm')
grid
%gtext('vetor original')
%gtext('vetor enxugado')

```

```

%O vetor abaixo é a espessura das camadas
% esta rotina pega o vetor, aplica a estatística
% básica, mas sem filtrar, ou seja, se houver
% valores de zero ou negativos, esta não detecta

```

```

%function estatistica

```

```

y=yc;

```

```

n=length(y);
t=15;

```

```

%if (n<=1000) & (n>10)
%   t=fix(n/(n/sqrt(n)))
% elseif (n<=400) & (n>200)
%   t=fix(n/(n/20))
% elseif (n<=200) & (n>100)
%   t=fix(n/15)
% elseif (n<=100) & (n>40)
%   t=fix(n/10)
% elseif (n<=40) & (n>0)
%   t=fix(n/5)
% else
%   t=40
%end

```

```

disp('numero de camadas')
size(y)
disp('espessura minima')
min(y)
disp('espessura maxima')
max(y)
disp('diferença entre espessura maxima e minima')
range(y)
disp('mediana')
median(y)

```

```

disp('media geometrica')
geomean(y)
disp('Média Harmônica')
harmmean(y)
disp('kurtosis')
kurtosis(y)
disp('assimetria')
skewness(y)
disp('media')
mean(y)
disp('desvio padrao')
std(y)
disp('variância')
disp(var(y));
figure(3);hist(y,t)
ylabel('Número de camadas por intervalo')
xlabel('Intervalos em cm')
title('HISTOGRAMA')
grid
%Este algoritmo interpola para uma cúbica
%Fazendo com que a função seja derivável em
%em todos os pontos

x=1:length(y);
xx=1:.5:length(y);
yy=spline(x,y,xx);

%Este algoritmo aplica a transformada
% de Fourier

f=fft(yy);
figure(4);plot(abs(f))
ylabel('Amplitude')
xlabel('Frequência')
title('Domínio da Frequência')
grid

z=length(yy)/2;
g=fftshift(abs(f));
c=mod(length(yy),2);
if (c~=0);
figure(5);plot((fix(-z)):(fix(z)),g)
ylabel('Amplitude')
xlabel('Frequência')
title('Domínio da Frequência deslocado')
else
figure(5);plot(-(z):(z-1),g)
ylabel('Amplitude')
xlabel('Frequência')
title('Domínio da Frequência deslocado')
end
grid
min(y)

```



**Algoritmo que constrói a matriz de frequências observadas, além de outros parâmetros, no sentido de se inserir no SAVFS (algoritmo obtido na internet, que calcula os 3 métodos da Cadeia de Markov)**

```
clear all

%A=input ('entre com o vetor das sequências: ');

%Vetor com espessura fixada de 20 cm
%Base
A1=['a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'b'
'b' 'c' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'c' 'c' 'a' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd'];
A2=['a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b'
'a' 'a' 'a' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'a' 'a' 'a' 'f'
'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f'];
A3a=['d' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'g'
'g' 'g' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'g' 'g' 'g' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f'
'f' 'f' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e'
'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'];
A3b=['f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a'
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f'
'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e'
'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e' 'e'];
A4=['d' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e'
'e' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'e' 'e' 'e' 'e' 'g' 'g' 'f' 'f' 'e' 'e' 'f' 'f'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd']
```

```

'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i'
'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i' 'i'];
%topo;

A=[A1,A2,A3a,A3b,A4];

%Vetor de mudanca de facies, independente da espessura

%['a' 'b' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'd'1 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'b' 'a' 'c' 'a'
'f' 'd' 'f' 'a' 'f' 'd'2 'd' 'g' 'd' 'a' 'd' 'g' 'd' 'e' 'f' 'd' 'e' 'f'
'e' 'd' 'a' 'e' 'd' 'e' 'd' 'f' 'd' 'e' 'd' 'e' 'd' 'e' 'd' 'e' '3a' 'f'
'd' 'e' 'd' 'e' 'a' 'd' 'e' 'd' 'f' 'd' 'e' 'd' 'e' 'd' 'e' '3b' 'd' 'h'
'd' 'e' 'd' 'e' 'd' 'e' 'g' 'f' 'e' 'f' 'd' 'i' 4 'd']
%A=['c' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'a' 'a' 'c'
'c' 'd' 'd' 'c' 'c' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'c' 'c' 'c' 'b' 'b' 'c' 'c' 'c'
'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'c' 'c' 'd' 'c' 'c' 'd'
'd' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'c'];%

size(A)

%A partir do vetor dado, cria-se a matriz
%de markov, que nada mais é, do que a quantidade
%de repeticoes de cada litologia

markov=zeros(9);

for i=1:(length(A)-1);

    switch A(i)

    case 'a'
        switch A(i+1)

            case 'a'
                markov(1,1)=markov(1,1)+1;
            case 'b'
                markov(1,2)=markov(1,2)+1;
            case 'c'
                markov(1,3)=markov(1,3)+1;
            case 'd'
                markov(1,4)=markov(1,4)+1;
            case 'e'
                markov(1,5)=markov(1,5)+1;
            case 'f'
                markov(1,6)=markov(1,6)+1;
            case 'g'
                markov(1,7)=markov(1,7)+1;
            case 'h'
                markov(1,8)=markov(1,8)+1;
            case 'i'
                markov(1,9)=markov(1,9)+1;

        end

    case 'b'

        switch A(i+1)

```

```

case 'a'
    markov(2,1)=markov(2,1)+1;
case 'b'
    markov(2,2)=markov(2,2)+1;
case 'c'
    markov(2,3)=markov(2,3)+1;
case 'd'
    markov(2,4)=markov(2,4)+1;
case 'e'
    markov(2,5)=markov(2,5)+1;
case 'f'
    markov(2,6)=markov(2,6)+1;
case 'g'
    markov(2,7)=markov(2,7)+1;
case 'h'
    markov(2,8)=markov(2,8)+1;
case 'i'
    markov(2,9)=markov(2,9)+1;

end

```

```

case 'c'
    switch A(i+1)

    case 'a'
        markov(3,1)=markov(3,1)+1;
    case 'b'
        markov(3,2)=markov(3,2)+1;
    case 'c'
        markov(3,3)=markov(3,3)+1;
    case 'd'
        markov(3,4)=markov(3,4)+1;
    case 'e'
        markov(3,5)=markov(3,5)+1;
    case 'f'
        markov(3,6)=markov(3,6)+1;
    case 'g'
        markov(3,7)=markov(3,7)+1;
    case 'h'
        markov(3,8)=markov(3,8)+1;
    case 'i'
        markov(3,9)=markov(3,9)+1;

    end

```

```

case 'd'
    switch A(i+1)

    case 'a'
        markov(4,1)=markov(4,1)+1;
    case 'b'
        markov(4,2)=markov(4,2)+1;
    case 'c'
        markov(4,3)=markov(4,3)+1;
    case 'd'

```

```

        markov(4,4)=markov(4,4)+1;
case 'e'
    markov(4,5)=markov(4,5)+1;
case 'f'
    markov(4,6)=markov(4,6)+1;
case 'g'
    markov(4,7)=markov(4,7)+1;
case 'h'
    markov(4,8)=markov(4,8)+1;
case 'i'
    markov(4,9)=markov(4,9)+1;

end

case 'e'
    switch A(i+1)

        case 'a'
            markov(5,1)=markov(5,1)+1;
        case 'b'
            markov(5,2)=markov(5,2)+1;
        case 'c'
            markov(5,3)=markov(5,3)+1;
        case 'd'
            markov(5,4)=markov(5,4)+1;
        case 'e'
            markov(5,5)=markov(5,5)+1;
        case 'f'
            markov(5,6)=markov(5,6)+1;
        case 'g'
            markov(5,7)=markov(5,7)+1;
        case 'h'
            markov(5,8)=markov(5,8)+1;
        case 'i'
            markov(5,9)=markov(5,9)+1;

    end

case 'f'
    switch A(i+1)

        case 'a'
            markov(6,1)=markov(6,1)+1;
        case 'b'
            markov(6,2)=markov(6,2)+1;
        case 'c'
            markov(6,3)=markov(6,3)+1;
        case 'd'
            markov(6,4)=markov(6,4)+1;
        case 'e'
            markov(6,5)=markov(6,5)+1;
        case 'f'
            markov(6,6)=markov(6,6)+1;
        case 'g'
            markov(6,7)=markov(6,7)+1;
        case 'h'

```

```

        markov(6,8)=markov(6,8)+1;
    case 'i'
        markov(6,9)=markov(6,9)+1;

end

```

```

case 'g'

```

```

    switch A(i+1)

```

```

    case 'a'
        markov(7,1)=markov(7,1)+1;
    case 'b'
        markov(7,2)=markov(7,2)+1;
    case 'c'
        markov(7,3)=markov(7,3)+1;
    case 'd'
        markov(7,4)=markov(7,4)+1;
    case 'e'
        markov(7,5)=markov(7,5)+1;
    case 'f'
        markov(7,6)=markov(7,6)+1;
    case 'g'
        markov(7,7)=markov(7,7)+1;
    case 'h'
        markov(7,8)=markov(7,8)+1;
    case 'i'
        markov(7,9)=markov(7,9)+1;

```

```

end

```

```

case 'h'

```

```

    switch A(i+1)

```

```

    case 'a'
        markov(8,1)=markov(8,1)+1;
    case 'b'
        markov(8,2)=markov(8,2)+1;
    case 'c'
        markov(8,3)=markov(8,3)+1;
    case 'd'
        markov(8,4)=markov(8,4)+1;
    case 'e'
        markov(8,5)=markov(8,5)+1;
    case 'f'
        markov(8,6)=markov(8,6)+1;
    case 'g'
        markov(8,7)=markov(8,7)+1;
    case 'h'
        markov(8,8)=markov(8,8)+1;
    case 'i'
        markov(8,9)=markov(8,9)+1;

```

```

end

```

```

case 'i'

```

```

        switch A(i+1)

        case 'a'
            markov(9,1)=markov(9,1)+1;
        case 'b'
            markov(9,2)=markov(9,2)+1;
        case 'c'
            markov(9,3)=markov(9,3)+1;
        case 'd'
            markov(9,4)=markov(9,4)+1;
        case 'e'
            markov(9,5)=markov(9,5)+1;
        case 'f'
            markov(9,6)=markov(9,6)+1;
        case 'g'
            markov(9,7)=markov(9,7)+1;
        case 'h'
            markov(9,8)=markov(9,8)+1;
        case 'i'
            markov(9,9)=markov(9,9)+1;

        end

    end

end

markov

b=sum(markov,2)
c=sum(markov,1)

d=sum(b);

%Neste proximo algoritimo, o que ocorre
%é cada valor da matriz de markov, divide-se pela
%soma de cada linha, que igual a b

markov1=zeros(length(markov));

for i=1:length(markov)
    for j=1:length(markov)
        if b(i)~=0;
            markov1(i,j)=markov(i,j)/b(i);
        end
    end
end

markov1

b1=sum(markov1,2);

%Aqui, pega-se o vetor b e divide-se pelo valor de d

for i=1:length(b)
    b(i)=b(i)/d;
end

```

```

end

disp(b)

markov2=zeros(length(markov));

%nesto algoritmo, pega-se o vetor coluna b2 e cria-se
% a matriz markov2

for i=1:length(b)

    markov2(i,1)=b(1);
    markov2(i,2)=b(2);
    markov2(i,3)=b(3);
    markov2(i,4)=b(4);
    markov2(i,5)=b(5);
    markov2(i,6)=b(6);
    markov2(i,7)=b(7);
    markov2(i,8)=b(8);
    markov2(i,9)=b(9);

end

markov2
b

%Esta é a matriz observada

b2=sum(markov,2)
for i=1:length(b2)
    for j=1:length(b2)
        markov3(i,j)=markov2(i,j)*b2(i);
    end
end

for i=1:length(markov2)
    for j=1:length(markov2)
        EF(i,j)=markov2(i,j)*b2(i);
    end
end

EF

%O próximo algoritmo, calcula o índice qui quadrado
%que seria um índice, entre a matriz observada (markov)
%menos a matriz esperada (EF).

x2=0;
cont=0;
cont1=0;
for i=1:length(markov)
    for j=1:length(markov)
        if EF(i,j)>=5
            cont=cont+1;
        else
            cont1=cont1+1;
        end
    end
end

```

```

        if EF(i,j)~=0
            x1=((markov(i,j)-EF(i,j))^2)/EF(i,j);
            x2=x2+x1;
        end
    end
end
end

%matriz de diferenca entre a de frequencia e a
%de frequencia esperada

contdif=0;
for i=1:length(markov)
    for j=1:length(EF)
        DIF(i,j)=markov(i,j)-EF(i,j);
        if DIF(i,j)>0
            MDIF(i,j)=DIF(i,j);
            contdif=contdif+1;
        else
            MDIF(i,j)=inf;
        end
    end
end
end
contdif
DIF
cont1
x2
cont
MDIF

```



Algoritmo que transforma os strings abaixo (letras) em um diâmetro equivalente da escala de Wentworth.

```
esp=length(A);
disp('ESPESSURA DA SEÇÃO EM m')
disp(esp/5)
```

%Vetor de granulometria

```
B1=[ 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'b' 'a' 'a' 'a' 'f',
'f' 'b' 'b' 'b' 'a' 'a' 'a' 'a' 'b' 'a' 'b' 'a' 'a' 'b' 'a' 'b' 'a' 'a',
'b' 'b' 'a' 'a' 'b' 'a' 'b' 'a' 'b' 'a' 'b' 'a' 'a' 'b' 'b' 'b'];
B2=[ 'r' 'r' 'r' 'r' 'b' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r',
'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'b' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'b' 'r' 'b' 'r' 'r' 'r',
'r' 'r' 'r' 'b' 'b' 'r' 'b' 'r' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h' 'h',
'r' 'r' 'r' 'b' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r',
'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'r' 'c' 'c' 'c' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b',
'c' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'c' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'r' 'r' 'r' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c'];
B3a=[ 'd' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'f',
'f' 'f' 'd' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'd' 'c' 'd' 'c' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'b',
'b' 'c' 'c' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'c' 'f',
'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd',
'd' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd',
'b' 'b' 'b' 'b' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'b',
'c' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'a',
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'a' 'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'b',
'b' 'b' 'b' 'b' 'b' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' 'a' 'c' 'c' 'a',
'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a',
'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'a' 'a' 'a'];
%topo;
B3b=[ 'c' 'c' 'c' 'b' 'c' 'c' 'c' 'b' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'a' 'r' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'b' 'c' 'a' 'c' 'b' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a',
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'a',
'a' 'a' 'a' 'a' 'a' 'd' 'c' 'b' 'c' 'c' 'b' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'c',
'c' 'c' 'b' 'c' 'c' 'a' 'c' 'b' 'a' 'c' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c',
'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c' 'a' 'c'];
B4=[ 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c' 'c',
'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'c' 'c' 'd',
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd',
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'];
```

```

'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'b' 'd' 'd' 'f' 'f' 'a' 'd' 'h' 'd' 'a' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'f'
'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'f' 'f' 'f' 'd' 'd'
'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd' 'd']; %topo;

```

```

B=[B1,B2,B3a,B3b,B4];

```

```

size(B)

```

```

%topo;
%topo;

```

```

%Este algoritmo pega o vetor B, que expressa a granulometria
%converte para valores numericos em milimetro e constroi
%um novo vetor, a partir deste vetor serah construido um histograma
%horizontal

```

```

for i=1:length(B);

```

```

    switch B(i)

```

```

        case 'a'
            BN(i)=0.047;
        case 'b'
            BN(i)=0.094;
        case 'c'
            BN(i)= 0.19;
        case 'd'
            BN(i) = .38;
        case 'e'
            BN(i)= 0.76;
        case 'f'
            BN(i) = 1.52;
        case 'g'
            BN(i) = 3.04;
        case 'h'
            BN(i) = 10;
        case 'r'
            BN(i) = 0.004;

```

```

    end

```

```

end

```

```

%BN;

```

```

barh(BN,.3)
%axis([0 .25 -3 55])
xlabel('Diâmetro da Partícula em mm')
ylabel('Divisão da Camada de 20 em 20 cm')
title('REPRESENTAÇÃO DA GRANULOMETRIA A CADA 20 cm')
gtext('TOPO')
gtext('BASE')

```