

Ana Luiza Muniz Lima

**Avaliação de atributos físicos dos
sedimentos da Plataforma Noroeste
Australiana.**

Brasil
2019

Ana Luiza Muniz Lima

**Avaliação de atributos físicos dos sedimentos da
Plataforma Noroeste Australiana.**

Projeto Final II em Geofísica apresentado
à Universidade Federal Fluminense como
exigência parcial para obtenção do título
de Bacharel em Geofísica

Universidade Federal Fluminense

Orientador: Dr. Arthur Ayres Neto

Brasil
2019

Ana Luiza Muniz Lima

**Avaliação de atributos físicos dos sedimentos da
Plataforma Noroeste Australiana.**

Projeto Final II em Geofísica apresentado
à Universidade Federal Fluminense como
exigência parcial para obtenção do título
de Bacharel em Geofísica

Banca Examinadora:

Dr. Arthur Ayres Neto
(Orientador)
Universidade Federal Fluminense

Dra. Eliane da Costa Alves
Universidade Federal Fluminense

Dr. José Antonio B. Neto
Universidade Federal Fluminense

Brasil
2019

Agradecimentos

Os agradecimentos deste trabalho de conclusão de curso são destinados a minha família, aos meus amigos e os funcionários da Universidade Federal Fluminense.

Agradeço em especial a minha mãe, Bernadete, que sempre me deu toda a base e apoio para a conclusão desta graduação, e é o maior exemplo de força para todos os momentos da minha vida. Também, agradeço ao meu irmão Pedro Henrique, por todo incentivo e ajuda, contribuindo na minha formação acadêmica e pessoal.

Aos meus amigos de infância, agradeço por participarem dessa etapa, seja me escutando ou proporcionando momentos de diversão. Os amigos que fiz na UFF, em especial a Panela UFF, obrigada por terem feito os momentos serem mais leves, construtivos e felizes.

Por fim, agradeço aos professores por todo o conhecimento disseminado, principalmente o orientador Arthur Ayres Neto, que com todo o seu conhecimento e dedicação, me orientou para o desenvolvimento deste trabalho, agregando muito no meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Resumo

Recentemente, a Plataforma Noroeste da Austrália vem recebendo muita atenção em estudos paleoceanográficos devido à sua relação com processos fundamentais de circulação oceânica global, e por prover uma razoável preservação estratigráfica registrando a complexa evolução geológica da região. Realizada nessa plataforma, a Expedição 356 do International Ocean Discovery Program (IODP), buscou através de amostragem dos últimos 5 Ma reconstruir a história dos carbonatos, da subsidência e do clima. A partir dos dados obtidos nessa expedição e o crescente interesse na compreensão das relações dos dados de propriedade sedimentológica e atributos físicos dos sedimentos marinhos, o presente trabalho visa estabelecer possíveis relações entre esses dados. Amostras como a densidade, porosidade, radiação gama natural, velocidade da onda P, condutividade térmica, resistência ao cisalhamento, resistência à compressão, impedância acústica, carbonato de cálcio e carbono inorgânico, orgânico e total foram analisados. Métodos e análises estatísticas como a regressão linear e seus respectivos coeficientes de correlação (r) foram usados para auxiliar a compreensão das relações entre as variáveis supracitadas aplicadas às prováveis influências das variações climáticas nos sedimentos marinhos do sítio U1463 (18,97° S; 117,62° E). Acredita-se que os resultados deste trabalho possam apoiar estudos de previsões e inferências de dados a partir das correlações entre as variáveis amostradas, especialmente os parâmetros acústicos.

Palavras-chave: geofísica marinha, sedimentos, paleoclima, geotecnia.

Abstract

Recently, the northwest shelf of Australia has been receiving much attention in paleoceanographic studies due to its connection to the fundamental processes of global ocean circulation. Especially by providing reasonable stratigraphic preservation, recording the region's complex geological evolution. Held in this platform, the International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 356 aimed through sample records from the last 5 Ma, to rebuild the carbonate, subsistence, and climate history. From the data obtained from this expedition, and the increasing interest to investigate the relationships between sedimentological properties and physical attributes of marine sediments in the region, this study aims to establish possible relationships and build inferences between these data. Samples such as grain density, porosity, natural gamma ray, P-wave velocity, thermal conductivity, shear strength, compressive strength, inorganic carbon, organic carbon, calcium carbonate, total carbon, and acoustic impedance were therefore analyzed. Statistical analysis and methods such as linear regressions and correlations coefficients (r) were used to assist the understanding of the relationships between the up cited variables and the influences of climate variations on sediments data from the sampling site U1463 (18,97° S; 117,62° E). The results from this study might support others future predictive investigation studies using correlations between sampled data. Especially acoustic parameters.

Keywords: marine geophysics, sediments, paleoclimate , geotechnics.

Sumário

	Sumário	6
1	INTRODUÇÃO	9
2	ÁREA DE ESTUDO	10
2.1	Aspectos Oceanográficos	10
2.2	Aspectos Geológicos	11
2.3	Sítio U1463	13
2.3.1	Litoestratigrafia	15
3	MATERIAS E MÉTODOS	20
3.1	Propriedades sedimentológicas	20
3.1.1	Densidade	20
3.1.2	Porosidade	21
3.1.3	Carbono inorgânico, carbono orgânico, carbono total e carbonato de cálcio	21
3.2	Atributos físicos	22
3.2.1	Radiação gama natural	22
3.2.2	Velocidade da onda P	22
3.2.3	Condutividade térmica	23
3.2.4	Resistência ao cisalhamento	23
3.2.5	Resistência à compressão	24
3.2.6	Impedância Acústica	24
3.3	Métodos estatísticos de correlação	24
3.3.1	Regressão linear	24
3.3.2	Coeficiente de correlação (r)	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1	Discussões	26

4.1.1	Análises das relações entre propriedades sedimentológicas e atributos físicos	26
4.1.2	Análise da Litoestratigrafia e parâmetros sedimentológicos e físicos dos sedimentos	28
4.2	Coeficientes de correlação e gráficos de dispersão	29
5	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS	38

Lista de ilustrações

Figura 1 – Padrões oceanográficos na NWS. Correntes quentes representadas por setas em vermelhas e correntes frias em azul. Modificado de [Gallagher et al. 2012].	11
Figura 2 – Bacias pertencentes a NWS e os limites adjacentes. Modificado de [Keep, Harrowfield e Crowe 2007].	12
Figura 3 – Localização do sítio U1463 na Plataforma Noroeste Australiana. Modificado [Gallagher et al. 2017]	14
Figura 4 – Correlação entre litoestatigrafia e propriedades físicas e sedimentológicas do sítio U1463. Modificado [Gallagher et al. 2017]	19
Figura 5 – Grau de correlação entre variáveis	25
Figura 6 – Gráfico de dispersão entre densidade e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear	31
Figura 7 – Gráfico de dispersão entre porosidade e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear.	32
Figura 8 – Gráfico de dispersão entre carbono inorgânico e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear.	33
Figura 9 – Gráfico de dispersão entre carbonato de cálcio e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear	34
Figura 10 – Gráfico de dispersão entre carbono total e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear	35

1 Introdução

Segundo alguns autores [Veevers, Powell e Roots 1991, Gallagher et al. 2009, Gallagher et al. 2012], a sedimentação da bacia de margem passiva do noroeste da Austrália ao longo dos últimos 5 milhões de anos resume a história geológica da margem norte do país desde o Mioceno até os dias atuais. Sua estratigrafia é constituída de uma ampla variedade de tipos de sedimentos, que em conjunto, constituem fácies de plataforma progradante, típicas de grande parte da margem continental australiana [Hull e Griffiths 2002, Cathro, Austin e Moss 2003].

Durante o Pleistoceno Superior, a Plataforma Australiana foi afetada significativamente por proeminentes processos climáticos – em particular, as monções australianas e do leste asiático. Ademais, esta região oferece condições singulares para a compreensão de elementos-chave da circulação termohalina global, devido à sua proximidade da chamada “Piscina Aquecida do Indo-Pacífico” (IPWP, sigla em inglês). A IPWP opera como uma espécie de "interruptor" do sistema climático global, e está sujeita à variabilidade em escala decadal devido ao El Niño/Oscilação Sul (ENSO) [Garidel-Thoron et al. 2005] exercendo, assim, influência chave na mudança climática global a curto prazo.

Diante da importância dessa área, o presente trabalho tem como objetivo analisar as relações entre às propriedades sedimentológicas e atributos físicos do sedimento do sítio U1463, situado na porção externa de uma rampa carbonátoica [James et al. 2004]. Esta permitirá compreensão das relações existente entre as variáveis, auxiliando nos estudos paleoclimático e geotécnicos, para essa porção da Plataforma Australiana.

2 Área de estudo

O presente capítulo destina-se à revisão bibliográfica dos aspectos oceanográficos, geológicos e climáticos, da Plataforma Noroeste Australina (NWS-sigla em inglês). Os aspectos abordados neste capítulo são importantes para compreensão dos resultados estatísticos obtidos.

2.1 Aspectos Oceanográficos

A Plataforma Noroeste Australiana é considerada um importante alvo de estudos paleoceanográficos devido à preservação estratigráfica durante o Neogeno Superior e a influência direta de fundamentais processos oceanográficos. Esses processos são conhecidos como Piscina Aquecida do Indo-Pacífico (IPWP – "Indo-Pacific Warm Pool") e Fluxo Indonésio de Correntes (ITF - "Indonesian Throughflow") importantes para o sistema climático global.

A IPWP é uma região de massa d'água quente que compreende os Oceanos Índicos e Pacíficos, caracterizada por suas altas temperaturas da superfície do mar ($> 28^{\circ} \text{C}$) e uma intensa variabilidade salina entre as estações do ano, resultante de um conjunto de monções e atividades ciclônicas. A IPWP possui uma grande variabilidade salina resultante dos fatores climáticos supracitados, que em períodos de maior umidade há uma maior descarga dos rios nos oceanos e conseqüentemente um maior aporte de material terrígeno. Ademais, as atividades ciclônicas, longe do Equador, provocam grandes chuvas influenciando a salinidade da superfície do mar. Em particular, temos que IPWP exerce um papel importante no transporte de calor de latitudes baixas para latitudes altas e está sujeita a variabilidade em escala decadal devido ao fenômeno El Niño/ Oscilação Sul (ENSO).

Outro aspecto oceanográfico é ITF, um conjunto complexo de correntes que ligam mares rasos à mares profundos, resultando na mudança de temperaturas da superfície do oceano e na circulação nos oceanos Índico e Pacífico, causando resfriamento no Oceano Pacífico e aquecimento no Oceano Índico. O ITF tem um papel fundamental no fluxo de calor global com possível impacto nos fenômenos

ENSO e monções [Gordon et al. 2010].

A região da NWS sofre a ação das correntes de Leeuwin e Sul Equatorial (correntes quentes originadas da IPWP) e a corrente fria do Oeste da Austrália, figura 1. Autores [Bowman et al. 2010], sugeriram que a corrente de Leeuwin teve início no Eoceno após abertura do Oceano Ártico, e posteriormente foi intensificada pela colisão o norte da Austrália e conjunto de arcos de ilhas situados na Indonésia. O ITF auxilia na passagem da corrente de Leeuwin, com o papel fundamental na circulação termohalina global, uma vez que transporta água de baixa salinidade, densidade e temperaturas elevadas para o Oceano Índico. Ou seja, a magnitude e variabilidade da ITF e IPWP tem forte impacto sobre a dinâmica das mudanças climáticas globais.

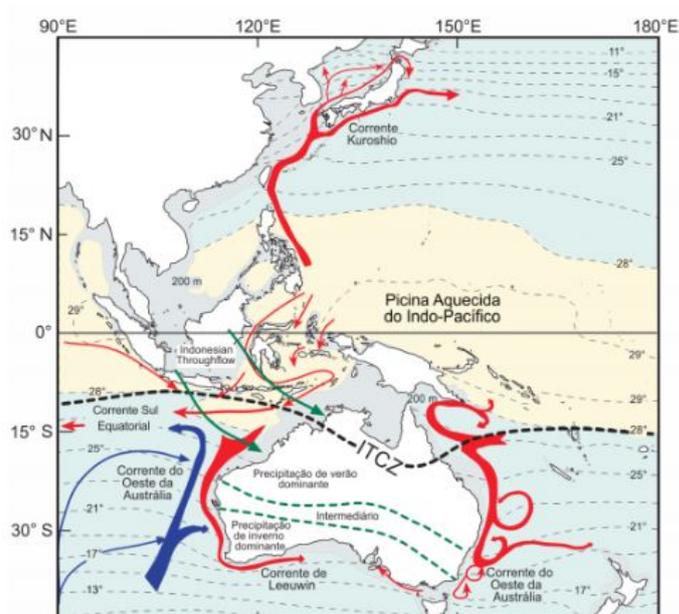


Figura 1: Padrões oceanográficos na NWS. Correntes quentes representadas por setas em vermelhas e correntes frias em azul. Modificado de [Gallagher et al. 2012].

2.2 Aspectos Geológicos

A Plataforma Noroeste Australiana é uma região de aproximadamente 800.000 km^2 situada na parte offshore da margem continental que compreende as principais

bacias sedimentares, de norte à sul, Bonaparte, Browse, Roebuck ou Canning e a Bacia de Carnarvon, e coletivamente formam a Super-bacia Westralian [Stagg et al. 1999]. Segundo [Keep, Harrowfield e Crowe 2007] a margem noroeste dessa plataforma é marcada pela subducção da placa Euroasiática enquanto as regiões centrais e sul fazem limite com as Planícies Abissais Argo, Gascoyne e Cuvier, ilustrado na figura 2.

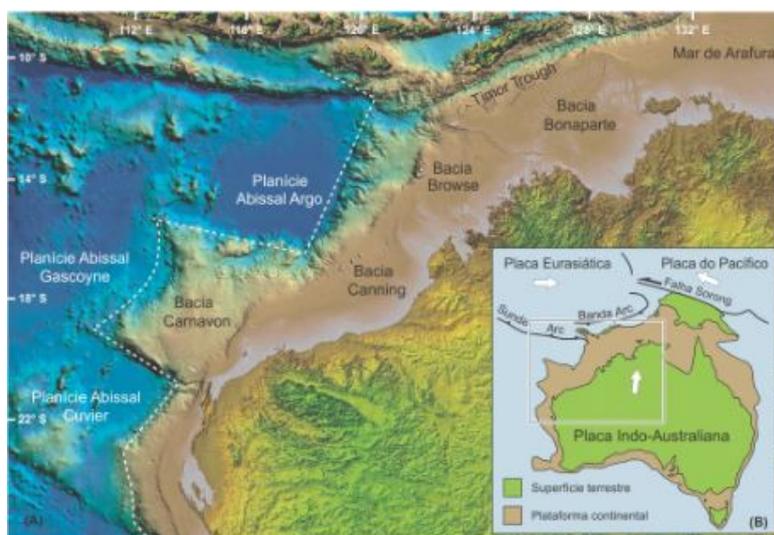


Figura 2: Bacias pertencentes a NWS e os limites adjacentes. Modificado de [Keep, Harrowfield e Crowe 2007].

A evolução NWS tem início no fim Paleozóico, quando a Austrália ainda fazia parte da crosta continental do continente Gondwana. Múltiplos eventos de rifteamento seguidos por subsidências deram origem a essa plataforma, a qual compreende a mais antiga margem passiva desse continente.

O fim do Devoniano Superior e início do Carbonífero foi marcado por tensões distensivas entre os Blocos Pilbara, Kimberley e Darwin resultando na formação do Fitzroy Trough na Bacia de Canning, a Sub-bacia Petrel, e possivelmente a Proto-bacia de Browse e Bacia Arafura. Apesar dos esforços distensivos na crosta superior, o afinamento profundo da crosta e do manto inferior era o processo extensional litosférico dominante [Stagg et al. 1999]. As bacias supracitadas era delimitadas por estruturais regionais do tipo *strike-slip*, que no sudeste seguiram as Zonas Móveis de Fitzmaurice e Halls Creek, e a nordeste eram delimitadas por

uma estrutura complexa denominada Mega Cisalhamento da Plataforma Noroeste (North West Shelf Megashear).

No meio do Carbonífero até o início do Permiano um importante episódio de afinamento crustal começou, coincidindo com o Mega Cisalhamento da Plataforma Noroeste originando Super-bacia Westralian. Ao final do Carbonífero, no Pennsylvaniano, começou a quebra parcial da margem oeste Australiana. No entanto, o principal evento que modulou arquitetura dessa região ocorreu no fim Triássico, conhecida como Movimento Fitzroy. Este período está associado a soerguimentos regionais, tensões compressivas e formações de anticlinais e monoclinais sobre blocos extensivos importantes para o acúmulo de hidrocarboneto.

O último episódio de separação da margem ocorreu durante o Cretáceo Inferior, mais precisamente no Valanginiano, com a separação da Índia e Austrália, criando as Planícies Abissais Gascoyne e Cuvier, acompanhado de um intenso vulcanismo.

Subsequentemente, no Oligoceno, um evento de colisão entre margem norte Australiana e a placa Eurásia ocorreu e foi responsável por afetar a arquitetura da Plataforma Noroeste Australiana, com uma extensa reativação transtensional e ruptura de diversas armadilhas de hidrocarbonetos. Por fim, no Mioceno ocorreu o mais recente e importante processo tectônico decorrente da colisão entre o norte da Austrália e o conjunto de arcos de ilhas situados na Indonésia (Banda Arc).

Do ponto de vista sedimentar, após a separação entre Índia e Austrália no Cretáceo Superior, a sedimentação carbonática na NWS sobrepôs sedimentos silicicláticos, tornando-se predominante a partir do Eoceno. Segundo [Cathro, Austin e Moss 2003], durante o Oligoceno, as clinofomas de carbonato progrediram desenvolveram-se, persistindo até o Mioceno. Os carbonatos relacionados a esta época eram derivados de organismos independentes da luz (a exemplo dos foraminíferos bentônicos) e, tais sedimentos desenvolveram-se em plataformas com ausência de recifes. Todavia, já no Quaternário Superior, as condições climáticas se tornaram favoráveis à formação tardia de recifes na região.

2.3 Sítio U1463

Sítio U1463 da Expedição 356 IODP foi um dos setes sítios de amostragem constituído por quatro furos denominados U1463A, U1463B, U1463C e U1463D.

Localizado a 150 metros do poço industrial Picard-1, sob as coordenadas 18,97° S; 117,62° E, em uma rampa carbonática plana está a 100 km à sudoeste do sítio U1464, figura 3.

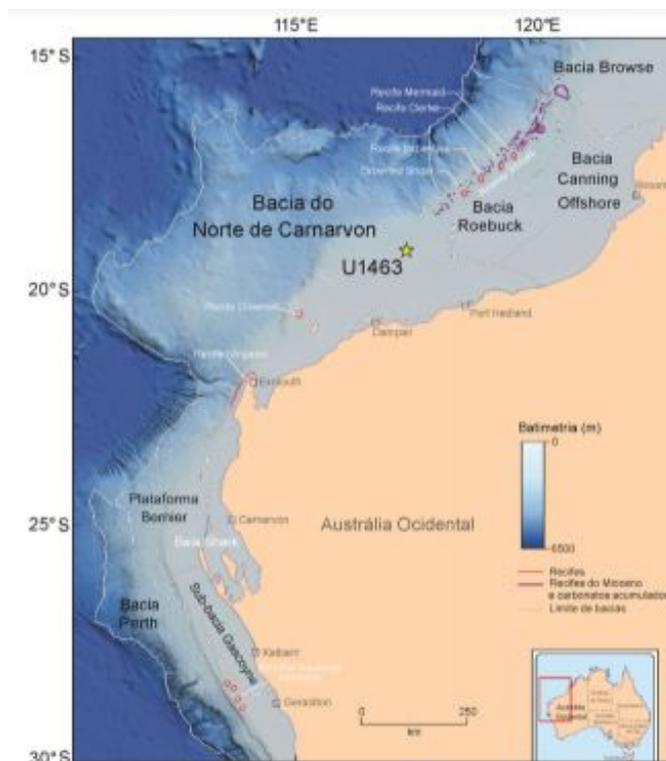


Figura 3: Localização do sítio U1463 na Plataforma Noroeste Australiana. Modificado [Gallagher et al. 2017] .

Segundo [James et al. 2004] o leito oceânico desta região é rico em sedimentos carbonáticos mal selecionados, composto de cascalho bioclásticos, areia e lama. Em particular, a sedimentação deste sítio é influenciada pela Corrente de Leeuwin e as monções, uma vez que a ITF afasta à corrente fria do Oeste da Austrália. De acordo com [Gallagher et al. 2017] os dados de perfil de raios gama do Poço Picard-1 revelam uma alta variabilidade e uma redução ascendente provavelmente relacionadas a subsidência, flutuações glacio-eustáticas e variabilidade climática do Plioceno até o presente.

Para este sítio os objetivos principais da expedição foram, obter um registro de carbonato subtropical e tropical do Plioceno ao Pleistoceno, que permite determinar

a taxa de subsidência, ter um registro interglacial das monções australianas e também um histórico oceanográfico da região. Além disso, um objetivo adicional foi datação de um refletor sísmico irregular, possivelmente do Mioceno, para melhorar as interpretações sísmicas regionais.

2.3.1 Litoestratigrafia

O sítio U1463 é dividido em 5 unidades e 2 subunidades a partir das mudanças litologias, propriedades físicas, espectroscopia de refletância, difração de raio X (DRX) e sísmica.

- **Unidade I**

Idade: Recente-Pleistoceno Médio.

Aspectos paleoambientais: Variações climáticas.

Profundidade: 0 à 11,71 metros.

Litologia: Possui wackstones não litificadas e lamitos com peloides. Os microfósseis são abundantes e diversos. A bioturbação é moderada e há também diversas superfícies de contatos tais como, gradacionais, bioturbadas e erosivas, depositadas em um ambiente nerítico e hemipelágico. A unidade I tem teor de carbonato de cálcio relativamente alto e pequena quantidade de quartzo. Apresenta um baixo valor de raio gama natural.

Microscopia Óptica: Os microfósseis estão presentes ao longo de toda a unidade, há presença de grãos de quartzo e mica demonstram uma constante e pequena entrada de sedimentos silicicláticos.

- **Unidade II**

Idade: Pleistoceno Médio- Inferior -

Aspectos paleoambientais: Variações climáticas.

Profundidade: 11,71 à 112,40 metros.

Litologia: Sedimentos não litificados, alternados em wackstones, packstones e lamitos. O packstones contém sedimentos grosseiros a finos, já o wackstones e lamitos contém grãos de tamanho de areia a silte. No furo U1463B, alvo de

estudo, é apenas verificado packstones primários. A bioturbação é observada de forma moderada e a presença de superfície de contato é ocasional. O packstone contém algumas concreções e na base da Unidade II há um fino intervalo de grainstone (74.40 à 74.58 metros). As fácies dessa unidade são majoritariamente hemipelágicas.

A mudança entre as Unidades I e II é marcada pelo aumento do NGR e diminuição da densidade de grãos. Já o conteúdo carbonato de cálcio é relativamente alto diminuindo em direção a base, o conteúdo de quartzo é baixo mas aumenta em direção a base.

Microscopia Óptica: O topo da unidade é marcada pela presença de pequenos peloides. A fração fina é representada por tamanho variáveis de micrita contendo quantidades pequenas de minerais argilosos e abundância de nanofósseis. A glauconita detrial é frequente como grãos finos do tamanho de areia.

DRX: As duas amostras analisadas são dominadas por calcita com o quartzo, dolomita e aragonita menos presente. A kaolinita é encontrada em apenas umas das amostras, no entanto a illita é recorrente em ambas.

- **Unidade III**

Idade: Pleistoceno Inferior- Mioceno Inferior.

Aspectos paleoambientais: Variações climáticas e evento de colisão entre a Austrália e os arcos de ilhas da Indonésia.

Profundidade: 112,40 à 399.10 metros.

Litologia: Composta por lamitos com grãos homogêneos e finos, com intervalos de wackstone aumentando a litificação com aumento da profundidade. Na parte inferior do U1463B o wackstone está alternado com o packstone. Essa unidade é caracterizada pela diminuição do carbonato de cálcio, aumento gradual da velocidade da onda P e altos valores radiação gama natural. A unidade III é subdividida em 2 subunidades macroscopicamente muito semelhantes.

- **Subunidade IIIa**

Idade: Pleistoceno Inferior- Mioceno Superior.

Profundidade: 112,40 à 305.81 metros.

Litologia: Lamitos bem selecionados alternados com wackstone. Bioturbação presente aumentando em direção a base da subunidade. A celestita ocorrer como concreções e cristais logo acima e abaixo da superfície de contato, erosivas e brucas. Abaixo ao contato , grãos e nódulos de pirita se tornam mais abundante.

Microscopia Óptica: Marcada pelo aumento contínuo de grãos de quartzo do tamanho de silte para areia fina, ao contrário dos sedimentos bioclásticos. A abundância de grãos do tamanho de areia diminui do topo para a base, devido o aumento de sedimentos cada vez mais ricos em argila. A quantidade de glauconita e conteúdo total de siliciclástico são mais abundantes que a Unidade II.

DRX: Dominada por calcita e quartzo, com baixas porcentagens de aragonita e dolomita. A ilita e caolinita também estão presentes.

– Subunidade IIIb

Idade:Mioceno Superior- Mioceno Inferior.

Profundidade: 305.81 à 399.10 metros.

Litologia: Lamitos com packstone e wackstone subornidados. O topo é marcado por uma diminuição do conteúdo de quartzo, já a base é caracterizada por um aumento do tamanho de grãos e uma alternância litologica entre packstone e wackstone. A bioturbação é comum na parte inferior desse intervalo, assim como grãos e nódulos de pirita. Entre 350,6 a 351,6 há evidências suaves de deformação sedimentar.

Microscopia Óptica: Aumento acentuado do conteúdo siliciclástico e o quartzo se torna comum em todo o intervalo. O conteúdo bioclástico e maior na parte superior decrescendo em direção a base.

DRX: Calcita e o quartzo são os minerais dominantes. A dolomita esta presente em pequena quantidade no topo aumentando em direção a base. A aragonita e celestita estão presentes pontualmente em pequenas quantidades.

- **Unidade IV**

Idade: Mioceno.

Profundidade: 399,10 à 428,20 metros.

Litologia: Variando de parcialmente litificado a litificado com grainstone ligeiramente dolomitizados. O intervalo é predominantemente composto por bioclastos e elevadas quantidades de pirita. A bioturbação e quantidade de quartzo é menos frequente que na Unidade III. As fácies sedimentares são interpretadas como nerítica. Essa unidade tem valores mais baixos de radiação gama natural e porosidade que o intervalo III, entretanto a densidade de grãos e a velocidade da onda P aumenta.

Microscopia Óptica: A composição é similar que a subunidade IIIb, mas tem menos quantidade de fragmentos de conchas e quartzo.

DRX: A calcita é predominante, seguida de dolomita e uma pequena fração de quartzo.

- **Unidade V**

Idade: Mioceno.

Profundidade: 428,20 à 525,25 metros.

Litologia: Consiste principalmente de dolomita com nódulos de anidrita e feições de dissolução. Grãos de pirita do tamanho de areia, e glauconita estão presente. Esse intervalo é interpretado como nerítico, e a presença de bioturbações e microfósseis é localmente comum. A porosidade é relativamente baixa, enquanto os valores de onda P e densidade de grãos são altas.

Microscopia Óptica: Caracterizada pela anidrita e dolomita e há um aumento acentuado na litificação. Microfósseis são raros, refletindo o aumento da dolomitização e na cimentação anidritica.

DRX: A gipsita e dolomita são os minerais predominante.

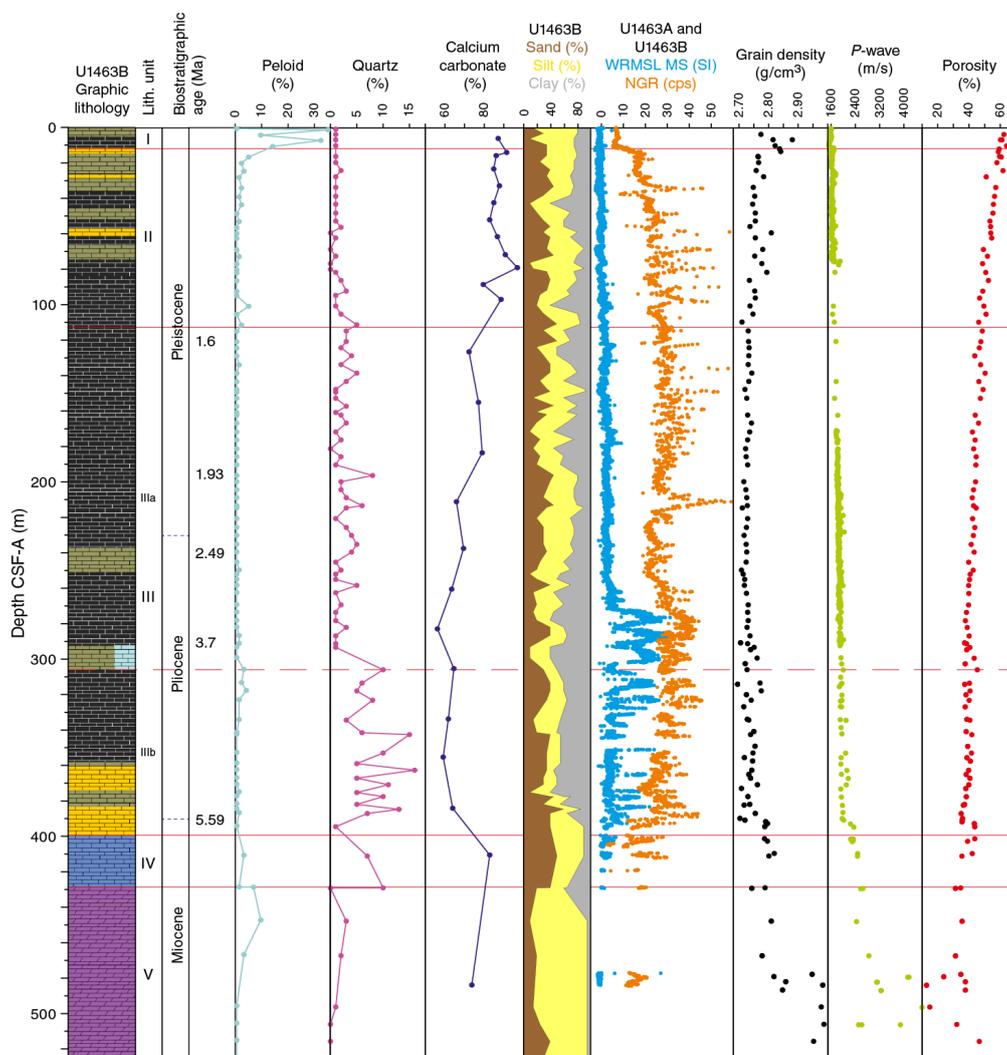


Figura 4: Correlação entre litoestratigrafia e propriedades físicas e sedimentológicas do sítio U1463. Modificado [Gallagher et al. 2017] .

3 Materias e métodos

Visando compreender a correlação existente nos dados, esses foram divididos entre as propriedades sedimentológicas e os atributos físicos dos sedimentos marinhos. O presente capítulo descreve os materias (propriedades sedimentológicas e os atributos físicos) e métodos utilizados nesse trabalho.

Os materias foram adquiridos são pertencentes ao furo U1463B de coordenadas 18°57'9190" S, 117°37'4340" E. Tais dados utilizados para investigação das relações foram: a resistência à compressão, densidade, porosidade, radiação gama natural (NGR), velocidade da onda P, condutividade térmica, resistência ao cisalhamento, impedância acústica, carbono inorgânico, orgânico, total e carbonato de cálcio, obtidos a partir do banco de dados LIMS do IODP .

Iniciando o processamento dos dados do furo em estudo, foi necessário a realização de um agrupamento das variáveis e logo após a interpolação dos dados, visto que esses compreendiam intervalos de amostragem diferentes entre si. Os dados foram reamostrados a cada um metro totalizando 504 metros.

Como objetivo principal desse estudo é entender as correlações existentes entre as variáveis citadas acima, esse capítulo esta dividido em propriedades sedimentológicas, atributos físicos e método estatístico de correlação.

3.1 Propriedades sedimentológicas

As propriedades sedimentológicas estudadas foram a densidade, porosidade, carbono inorgânico, orgânico, total e carbonato de cálcio. Essas caracterizam os sedimentos com base na composição química e estrutural, sendo as medições realizadas de forma direta.

3.1.1 Densidade

A densidade refere-se ao conteúdo de massa (M) da amostra dado pela razão de volume (V) do mesmo.

$$d = M/V$$

Segundo [Schön 2015], a densidade é controlada pela composição mineral, porosidade e saturação, havendo uma correlação forte entre a porosidade e a densidade. O a diminuição da porosidade leva a um aumento da densidade, controlada por processos de compactação ou preenchimento dos poros. Os dados coletados para esse testemunho são derivados de medições feitas com picnômetros e balanças de massa.

3.1.2 Porosidade

A porosidade é uma propriedade fundamental que descreve o volume potencial de armazenamento dos fluidos e influencia a maioria das propriedades físicas da rocha.

$$\phi = V_0/V$$

[Nery 1990] definiu a porosidade como a relação do volume ocupado pelos poros e o seu volume total expresso em percentual ou fração. Fatores que afetam esse tipo de propriedade em sedimentos terrígenos são grau de seleção dos grãos; irregularidade dos grãos; arranjo dos grãos; cimentação; compactação e conteúdo de argila ou argilosidade. Já a porosidade nos carbonatos são controladas principalmente pela dissolução; cimentação; conteúdo de matriz ou aloquímicos e dolomitização.

As medidas para essa expedição foram obtidas também, usando picnômetros e balanças de massa.

3.1.3 Carbono inorgânico, carbono orgânico, carbono total e carbonato de cálcio

Existem alguns fatores que controlam a quantidade de carbonato nas águas como, quantidade de nutrientes, salinidade, temperatura, taxa de sedimentação, flutuações no nível do mar, penetração de luz, circulação e oxigenação das águas [Sonvesso 2007]. O teor e composição do carbono nos sedimentos podem ser um indicativo do paleoambiente da qual registra as condições de deposição em determinado tempo geológico.

O carbono orgânico é derivado da decomposição de animais e plantas, o inorgânico é derivado principalmente de fontes geológicas, frequentemente proveniente de áreas com presença de rochas carbonáticas. Os dois minerais de carbonato mais comuns são a calcita e dolomita.

Os dados de carbono foram gerados em laboratório e incluem porcentagens em peso de carbono inorgânico, orgânico, total e carbonato de cálcio. Embora outros carbonatos possam estar presentes, todo o carbono solúvel em ácido é calculado como carbonato de cálcio.

3.2 Atributos físicos

Os atributos físicos dos sedimentos como a radiação gama natural, velocidade da onda P, condutividade térmica, resistência ao cisalhamento e impedância acústica, são os parâmetros indiretos utilizados nesse trabalho.

3.2.1 Radiação gama natural

De acordo com [Schön 2015], os elementos frequentemente têm uma variedade de formas isotópicas. Esses isótopos podem ser instáveis e decaírem para uma forma mais estável emitindo radiação. Porém, apenas os processos de decaimento radioativo do urânio (U-238), tório (Th-232) e potássio (K-40), produzem quantidades mensuráveis de radiação gama.

A medição da radiação gama natural (NGR) é frequentemente utilizada para investigação litológica, definição eventual de ambientes de deposição, identificação de minerais radioativos e cálculo da argilosidade ou volume de folhelho (VSH).

As ferramentas espectrais de raios gama usadas para medir e classificar a radioatividade natural foram o *hostile environment natural gamma sonde (HNGS)* e *natural gamma-ray tool (NGT)*.

3.2.2 Velocidade da onda P

A velocidade da onda P (V_p), também conhecida como onda compressional ou longitudinal, é dado a partir da propagação da onda no interior de meios elásticos,

causando vibração nas partículas na direção de sua propagação.

Em meio homogêneos e isotrópicos V_p é descrita pela fórmula:

$$V = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + (4/3)\mu}{\rho}}$$

Onde λ é a constante de Lamé, μ é o módulo de cisalhamento ρ densidade e k módulo de compressibilidade. De acordo com Woods 1991, temos que vários parâmetros influenciam essa propriedade como, porosidade, pressão, histórico de tensão, idade geológica, tensão cisalhante, grau de saturação, temperatura e taxa de sobre-adensamento.

Os dados da velocidade da onda P são registrados pelo *P-wave logger (PWL)*, que mede o tempo de viagem da onda compressional entre uma distância específica.

3.2.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica mede a capacidade do calor fluir através de uma superfície e está relacionada as características físicas, químicas e cristalográficas dos minerais e para as rochas de acordo com [Schön 2015] esse parâmetro está associado a vários outros parâmetros como a composição mineralógica, fraturamento, porosidade e temperatura.

As medições desse atributo foram realizadas usando sondas de temperatura em vários locais ao logo do poço, permitindo equilibrar à temperatura ambiente, e a condutividade térmica é medida em diferentes intervalos de tempo.

3.2.4 Resistência ao cisalhamento

Resistência ao cisalhamento é um importante parâmetro geotécnico que descreve o grau resistência do material, aplicada uma tensão cisalhante no plano de ruptura sem sofrer rotura. Sua intensidade é resultado do atrito e a coesão entre grãos.

Durante a expedição os dados foram para esse estudo foram obtidos a partir da ferramenta *Hand Held Torvane* que permite fazer medidas rápidas da resistência ao cisalhamento.

3.2.5 Resistência à compressão

Resistência à compressão é a resistência do material a tensão normal, sem que ocorra a variação volumétrica do material. Tal atributo é um parâmetro importante para geotecnia e está relacionada a índice de consistência do material.

Os dados foram coletados a partir da ferramenta *SoilTest Pocket Penetrometer*.

3.2.6 Impedância Acústica

A impedância acústica (Z) é um importante parâmetro geoacústico dado pelo produto da velocidade da onda P e a densidade do material. A equação que expressa esse atributo físico é :

$$Z = \rho V_p$$

Os dados foram calculados a partir dos parâmetros supracitados obtidos ao longo da expedição.

3.3 Métodos estatísticos de correlação

As relações entre as variáveis físicas e sedimentológicas do sedimentos marinhos do testemunho U1463B, será mensurado a partir de gráfico de dispersões, combinados com métodos estatísticos, como regressão linear e coeficiente de correlação (r).

3.3.1 Regressão linear

O estudo do comportamento das variações entre variáveis, visa entender e determinar qual tipo de relação existente através dos métodos de correlação e regressão.

A análise da regressão é comumente usada para obter uma equação que possa descrever a variação de uma variável em função de outra. Especificamente, a regressão linear é método que determina a equação da relação linear entre variáveis, representada por uma linha reta, $y = ax + b$, de melhor ajuste a configuração dos pontos.

3.3.2 Coeficiente de correlação (r)

Duas ou mais variáveis podem se correlacionar apresentando padrões diferentes. A análise estatística dessa correlação é um método que examina com auxílio gráfico e de uma medida conhecida como coeficiente de correlação, a relação entre variáveis.

De acordo com [Anderson e Finn 2012] o coeficiente de correlação quantifica a associação entre amostras, representada pelo valor r , simétricos entre -1 e $+1$. Os extremos -1 e $+1$ indicam uma forte correlação, sendo elas negativa e positiva respectivamente, e valores próximos a zero indicam ausência de relação.

Dependendo da forma como se comporta a variação entre as variáveis um coeficiente de correlação pode se adequar melhor que outro. Para esse estudo será calculado apenas o de correlação linear, também conhecido como coeficiente de Pearson. O cálculo mede o grau de relação linear entre duas variáveis, assumindo valor r entre -1 e $+1$. Quanto mais próximo o valor de R está de -1 , temos um relação negativa ou inversa, dada pelo aumento de uma variável e diminuição da outra. Quando r se aproxima de $+1$, a relação é linear positiva, já que ambas variáveis estão na mesma direção.



Figura 5: Grau de correlação entre variáveis

4 Resultados e discussões

O presente capítulo destina-se aos resultados das análises estatísticas abordadas no capítulo anterior, tendo como variáveis as propriedades sedimentológicas e os atributos físicos do furo U1463B.

Primeiramente, foram realizados cálculos dos coeficientes de correlação linear Pearson, destacando os valores acima de 0.75, sendo eles negativos ou positivos, revelando possíveis associações, tendo em vista que não foram removidos valores que podem ser classificados como outlier que possivelmente aumentariam valor do coeficiente. Os resultados do grau de correlação (r), tabela 1, foram desenvolvidos a partir do software livre Rstudio e auxiliaram na interpretação das relações da densidade, porosidade, carbono inorgânico, carbono orgânico, carbonato de cálcio e carbono total com os atributos físicos dos sedimentos.

Com base na tabela de coeficientes, os gráficos de dispersão foram elaborados combinado ao método de regressão linear, representado pela reta de melhor ajuste em vermelho. Além dos métodos estatísticos supracitados, os pontos nos gráficos estão organizados de acordo com as Unidades litoestratigráfica descritas no capítulo 2. Os plots dos gráficos a seguir, foram organizadas em propriedades sedimentológicas versus atributos físicos dos sedimentos.

4.1 Discussões

4.1.1 Análises das relações entre propriedades sedimentológicas e atributos físicos

De acordo com a tabela 1, a densidade teve boas correlações lineares com a velocidade de onda P, condutividade térmica, impedância acústica e resistência ao cisalhamento e à compressão. Os gráficos da figura 6 apresentam essas correlações lineares positivas com todos os atributos físicos dos sedimentos. No entanto, a porosidade, figura 7, se correlacionou fortemente com esses atributos, porém de maneira negativa, a medida que os valores de porosidade diminui, esses atributos

aumentam. [Ayres e Theilen 1999] e [Han, Nur e Morgan 1986] demonstraram em seus trabalhos, uma correlação fundamental entre porosidade e densidade, sendo está linear e negativa, comprovando as relações vistas para esses dados.

Segundo [Ayres 1998], um dos principais fatores geológicos que controlam as propriedades acústicas dos sedimentos marinhos, são a porosidade e densidade. Para o presente trabalho, temos a velocidade da onda P e impedância acústica, que obtiveram fortes correlações lineares com esses fatores (porosidade e densidade) e as variáveis de propriedades sedimentológicas utilizadas, exceto o carbono orgânico. [Neto et al. 2013] verificou que a impedância acústica é um bom parâmetro para a investigação indireta de propriedades sedimentológica e geotécnica, também visto nas investigações para esse furo, figuras 6 e 7, (e), 8, 9 e 10, (d). A velocidade da onda P também se comportou como um bom parâmetro para investigações indiretas, relações verificadas nas figuras 6, 7, 8, 9 e 10, (a).

A resistência à compressão e cisalhamento são parâmetros mecânicos medem o grau de esforço dos materiais em sustentar as tensões de compressão e cisalhamento, respectivamente. Essas resistências estão intimamente ligadas às características do sedimentos tais como, densidade, porosidade e composição mineral, por exemplo o conteúdo de argila. Conforme [Bartetzko e Kopf 2007], a maioria dos estudos revelam boas correlações entre a resistência ao cisalhamento e a porosidade, sendo muitas vezes vistas como uma tendência linear ou exponencial. A profundidade em metros para esses dados é de aproximadamente 500 metros, sendo assim, fortemente influenciada pela diagênese e compactação, responsável pela diminuição da porosidade e aumento da densidade, resultado no aumentando da resistência ao cisalhamento, figuras 6 e 7 (c). Sugerido por esses autores, os sedimentos carbonáticos não manifestam boas correlações, figuras 8, 9 e 10 (b), ainda que tenham apresentem altos coeficiente na tabela 1, há poucos pontos de dispersão que permitam obter uma análise satisfatória. As relações obtidas com a resistência à compressão, também pode ser justificada pelo aumento da densidade de grãos, diminuição de poros com a profundidade 6 e 7 (d).

Com aumento dos processos diagenéticos e compactação dados pela profundidade, a saturação de água nos poros diminuem, causando um aumento na condutividade térmica, como visto na figura 7 (b), e pela razão inversa 6(b). Em relação teor de carbono inorgânico, total e carbonato de cálcio, a condutividade térmica

não se correlacionou, pois nenhum dado obtido está na mesma profundidade.

Por fim, vale ressaltar o comportamento da radiação gama natural (NGR), que conforme o estudo dos autores [Ayres e Theilen 1999], apresentou ser um bom parâmetro de investigação de características como densidade, porosidade e teor de água, diferente do observado na tabela 1. A possível justificativa para a falta de correlação do NGR é a profundidade ser superior a estudada pelos autores.

4.1.2 Análise da Litoestratigrafia e parâmetros sedimentológicos e físicos dos sedimentos

O intervalo I é caracterizado por sedimentos não litificados, teor de carbonato de cálcio relativamente alto, pequena quantidade de quartzo e abundância de microfósseis. Com isso, esse intervalo apresentou baixos valores densidade e altos de porosidade, explicando a baixa velocidade da onda P, condutividade térmica, resistência ao cisalhamento e compressão.

Unidade II é marcada pelo aumento do teor de carbonato de cálcio, devido a presença de minerais de calcita, aragonita e dolomita. Esse intervalo, apresentou uma baixa densidade e diminuição relativa da porosidade devido a litificação. O aumento do carbonato de cálcio para as correlações, resultaram em maior quantidade de pontos amostrais da unidade II que envolviam carbono , figura 8, 9 e 10.

Do Pleistoceno, os intervalos I e II são marcados por múltiplos processos climáticos, como as monções australianas e do leste asiático, que modificaram a sedimentação local, tais como a variação de quartzo e carbonatos.

Na unidade IIIa há uma redução do carbonato, visualizada também nos gráficos de correlação de carbonos, figura 8, 9 e 10. Além disso, ocorre um ligeiro aumento de quartzo, podendo ocasionar o crescimento da condutividade térmica, e também há um acréscimo do teor de argila sugerindo um declínio da porosidade e aumento de V_p .

Para IIIb o quartzo é um componente quase predominante e o conteúdo de carbonato baixa. Refletido também pelo aumento da profundidade , temos que a porosidade decresce e aumenta V_p , impedância acústica e condutividade térmica.

A unidade III é subdivida em IIIa e IIIb, datada do Pleistoceno Inferior ao Mioceno Infeior. Da mesma forma, esse intervalo é marcado por proeminentes processos climáticos e no Mioceno ocorre a colisão entre o norte da Austrália e o conjunto de arcos de ilhas situados na Indonésia, fortalecendo os processos oceanográficos singulares dessa região, (ITF e IPWP).

As unidades IV e V tiveram poucos pontos de dispersão devido a diminuição de amostras com a profundidade, impossibilitando as análises.

Como tudo, nas unidades ocorreram variações no conteúdo de quartzo e carbono. Do Pleistoceno, os intervalos I e II são marcados por múltiplos processos climáticos, como as monções australianas e do leste asiático, e a unidade III datada do Pleistoceno Inferior ao Mioceno Infeior, também sofreu com as variações climática e a colisão entre o norte da Austrália e o conjunto de arcos de ilhas da Indonésia. Esses processos resultaram no tipo de relação entre as propriedades sedimentológicas e atributos físicos estudados nesse trabalho.

4.2 Coeficientes de correlação e gráficos de dispersão

A presente seção é destinada aos cálculos dos coeficientes linear e os gráficos de correlações dos parâmetros em estudo do U1463B. A tabela e as correlações foram essenciais para as análises feitas acima.

Tabela 1: Valores dos coeficientes de Pearson, números em vermelho indica altas associação.

		r- Pearson
Densidade	Radiação Gama Natural	-0.15
Densidade	Velocidade da Onda P	0.86
Densidade	Condutividade Térmica	0.95
Densidade	Resistência ao Cisalhamento	0.75
Densidade	Resistência à Compressão	0.88
Densidade	Impedancia Acústica	0.90
Porosidade	Radiação Gama Natural	-0.04
Porosidade	Velocidade da Onda P	-0.85
Porosidade	Condutividade Térmica	-0.91
Porosidade	Resistência ao Cisalhamento	-0.73
Porosidade	Resistência à Compressão	-0.88
Porosidade	Impedancia Acústica	-0.91
Carbono Inorgânico	Radiação Gama Natural	-0.24
Carbono Inorgânico	Velocidade da Onda P	-0.90
Carbono Inorgânico	Condutividade Térmica	0
Carbono Inorgânico	Resistência ao Cisalhamento	-0.75
Carbono Inorgânico	Resistência à Compressão	0.77
Carbono Inorgânico	Impedancia Acústica	-0.84
Carbono Orgânico	Radiação Gama Natural	0.11
Carbono Orgânico	Velocidade da Onda P	-0.18
Carbono Orgânico	Condutividade Térmica	0
Carbono Orgânico	Resistência ao Cisalhamento	-0.33
Carbono Orgânico	Resistência à Compressão	0.16
Carbono Orgânico	Impedancia Acústica	-0.19
Carbono Total	Radiação Gama Natural	-0.21
Carbono Total	Velocidade da Onda P	-0.90
Carbono Total	Condutividade Térmica	0
Carbono Total	Resistência ao Cisalhamento	-0.88
Carbono Total	Resistência à Compressão	0.86
Carbono Total	Impedancia Acústica	-0.84
Carbonato de Cálcio	Radiação Gama Natural	-0.24
Carbonato de Cálcio	Velocidade da Onda P	-0.90
Carbonato de Cálcio	Condutividade Térmica	0
Carbonato de Cálcio	Resistência ao Cisalhamento	-0.75
Carbonato de Cálcio	Resistência à Compressão	0.77
Carbonato de Cálcio	Impedancia Acústica	-0.84

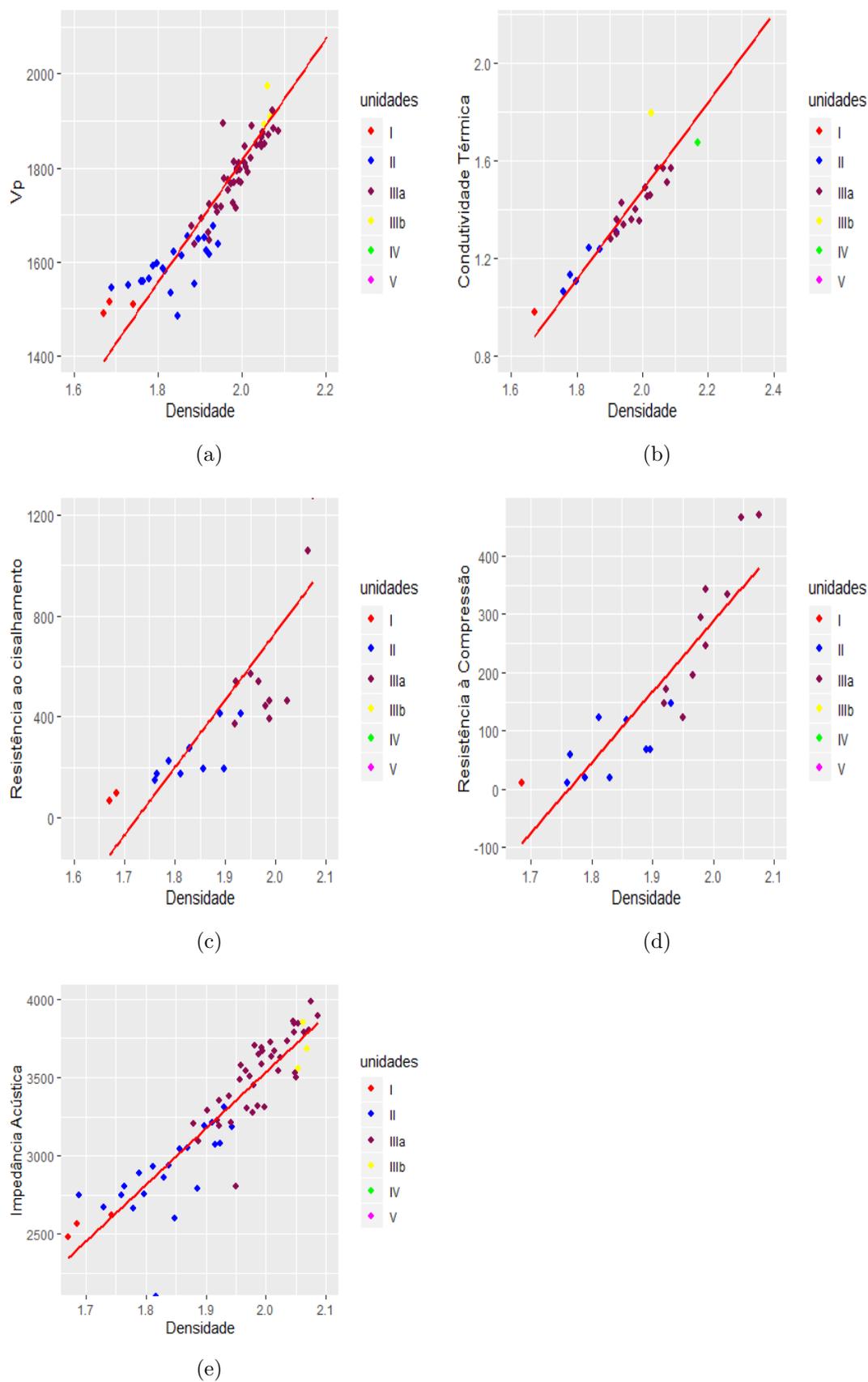


Figura 6: Gráfico de dispersão entre densidade e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear

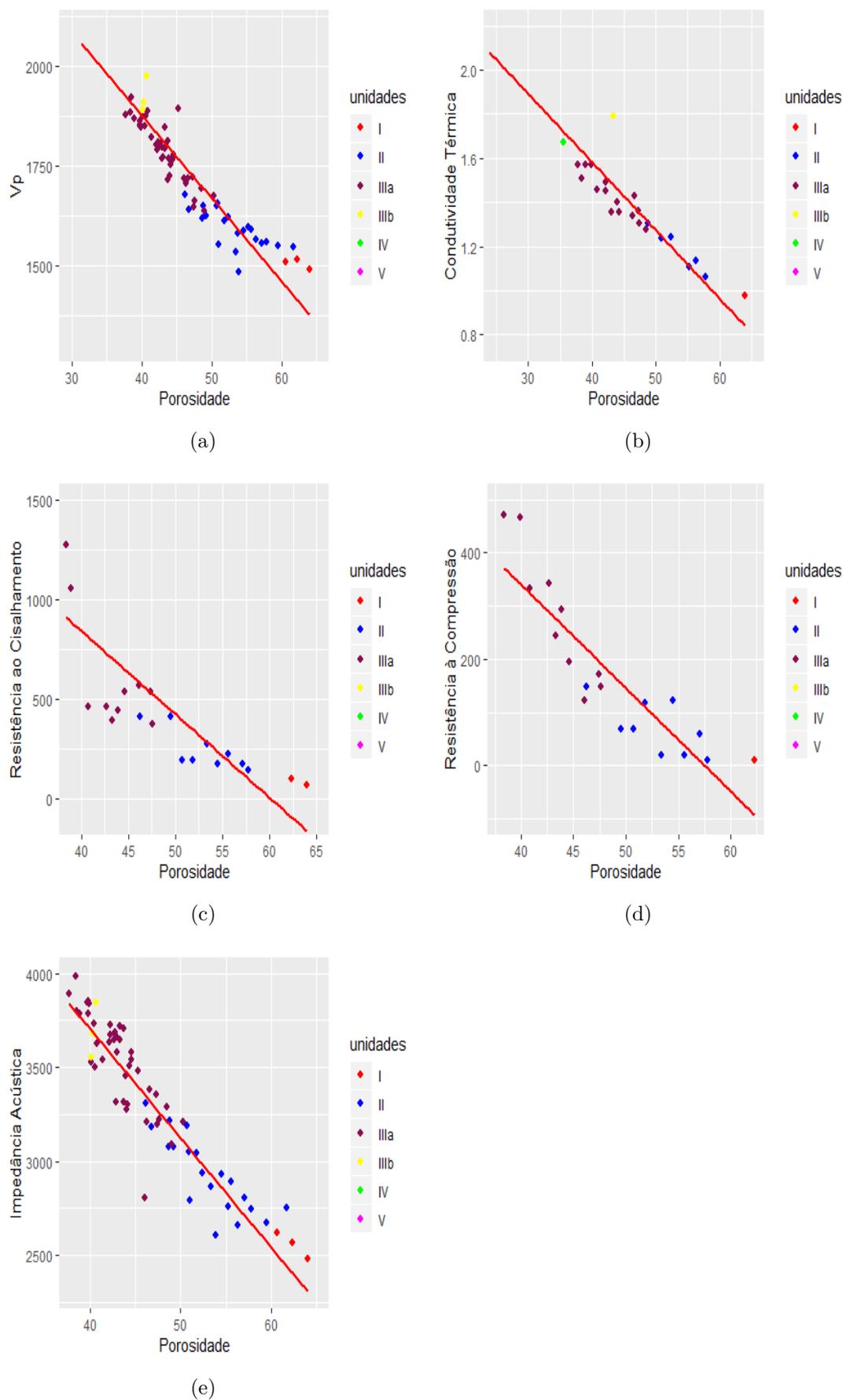


Figura 7: Gráfico de dispersão entre porosidade e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear.

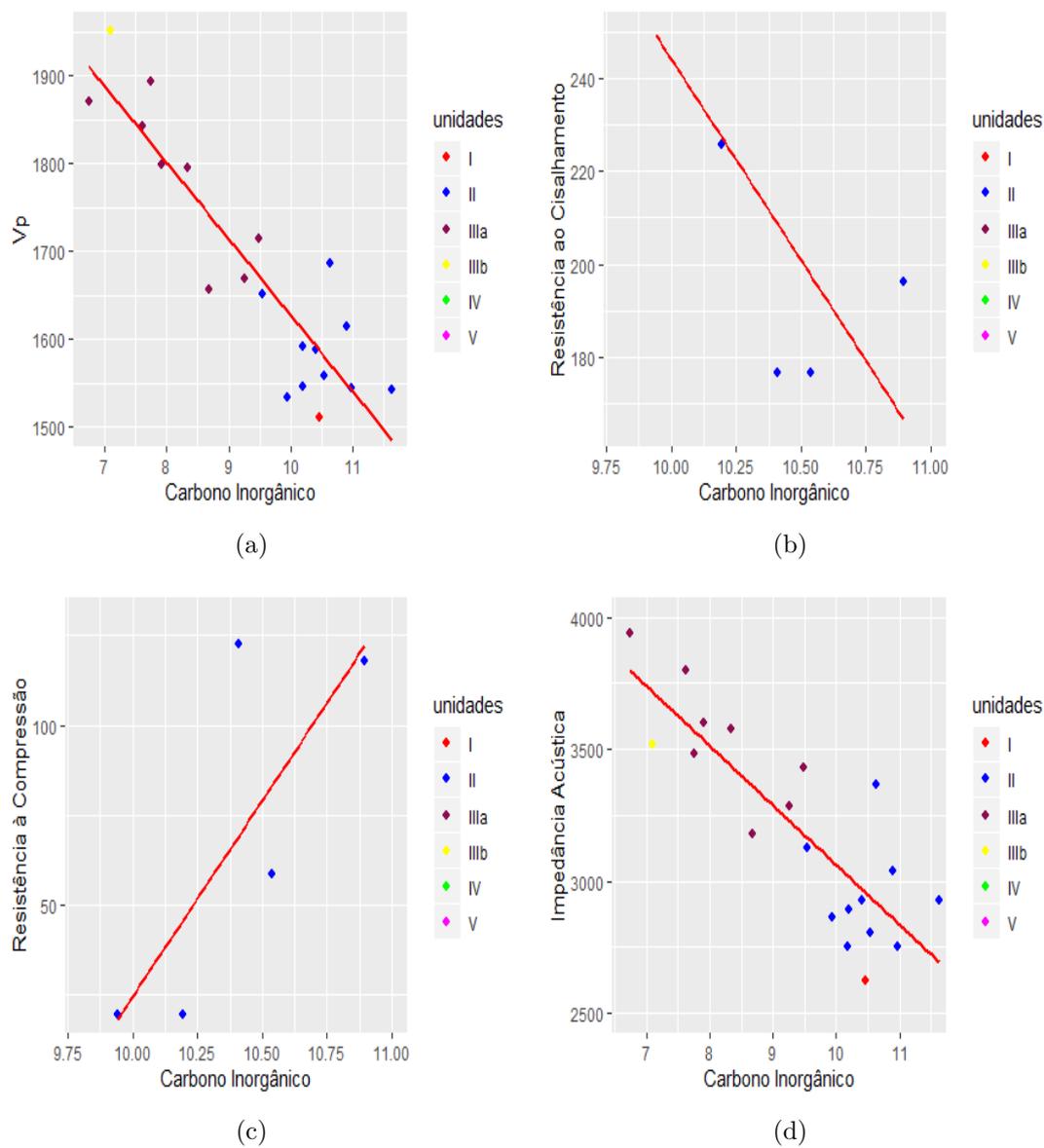


Figura 8: Gráfico de dispersão entre carbono inorgânico e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear.

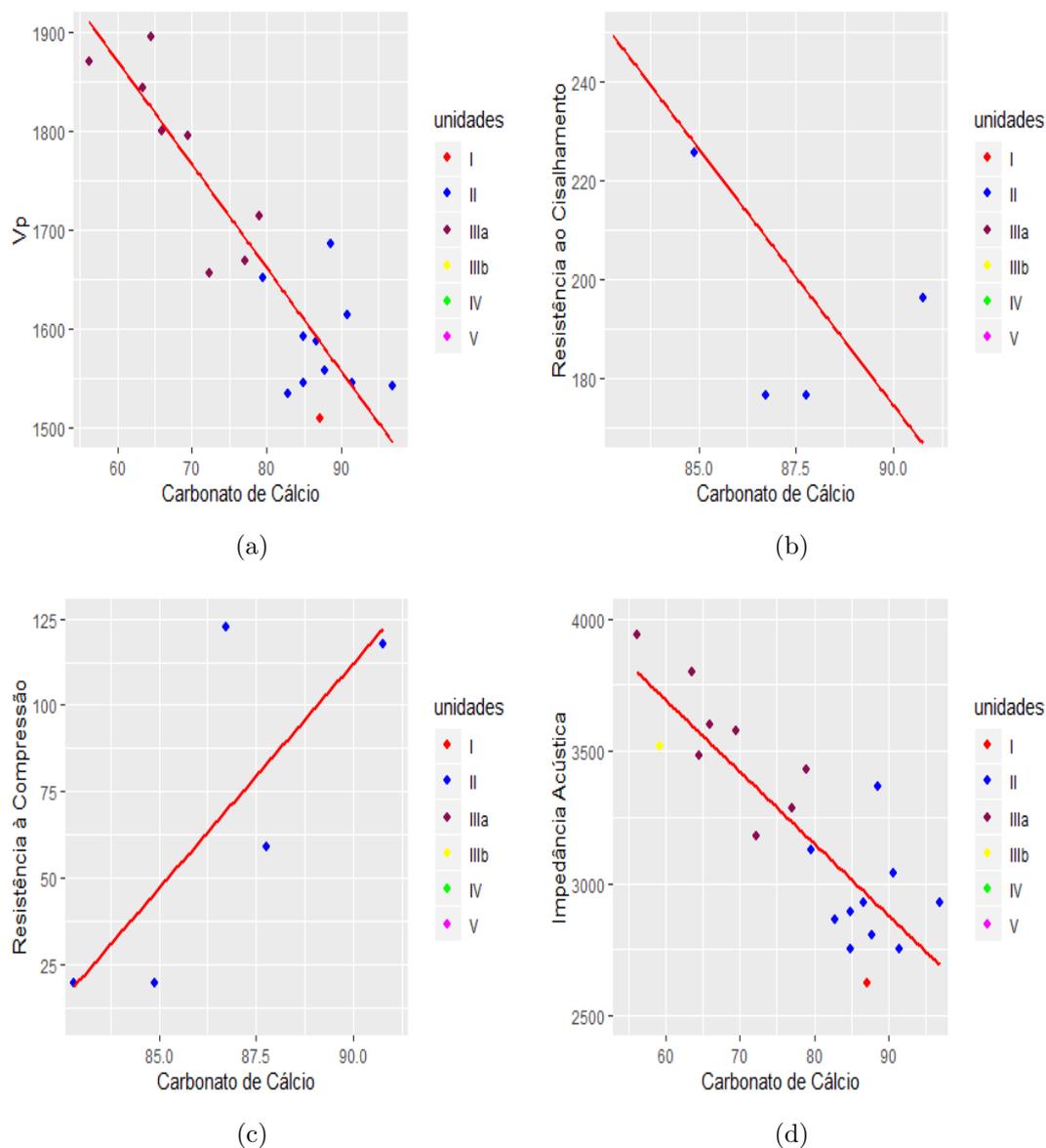


Figura 9: Gráfico de dispersão entre carbonato de cálcio e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear

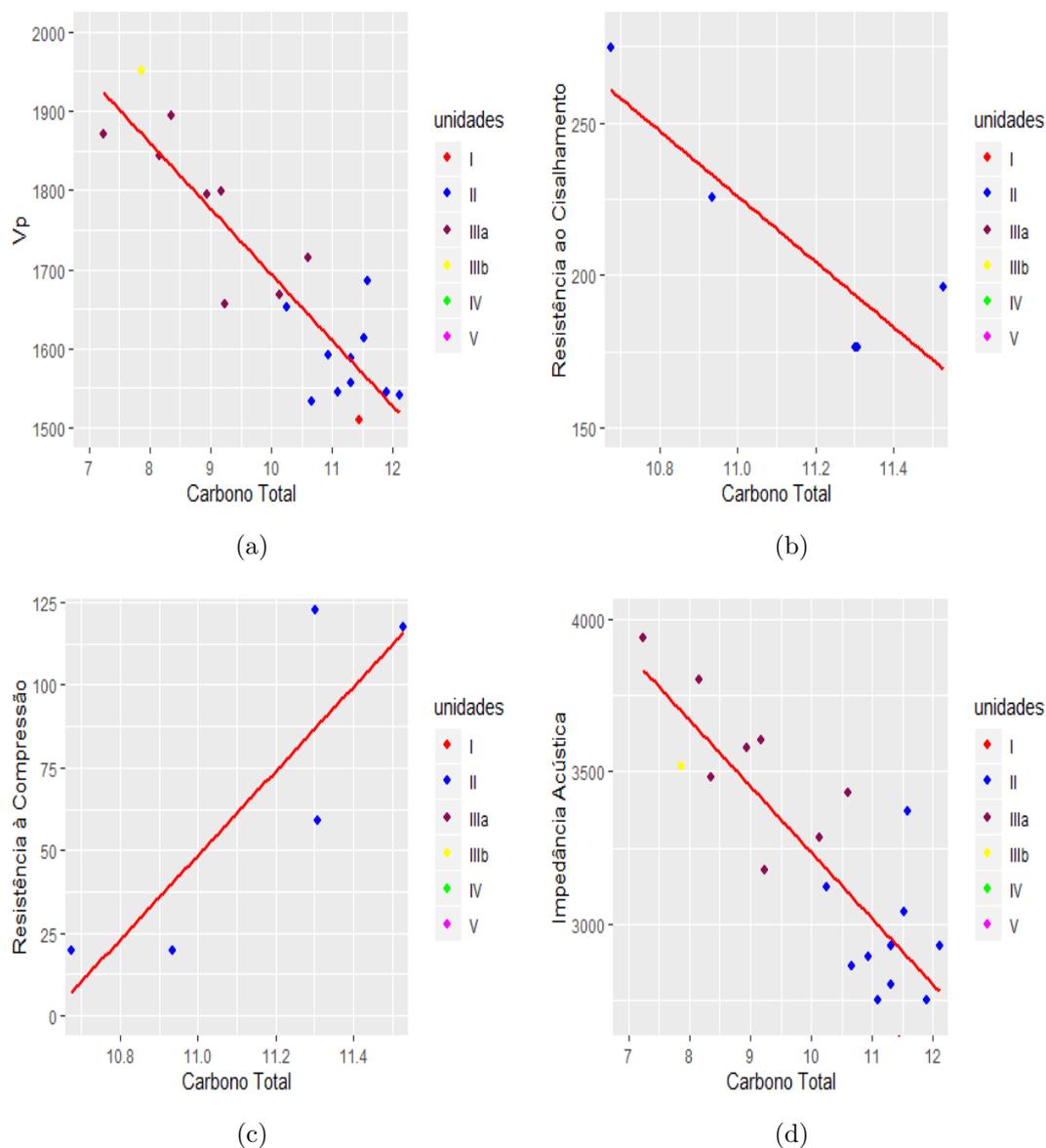


Figura 10: Gráfico de dispersão entre carbono total e atributos físicos do sedimentos. Em vermelho a regressão linear

5 Conclusões

Com base na revisão bibliográfica e a fundamentos teóricos revisados nesse trabalho, foi possível obter as correlações entre as propriedades sedimentológicas e os atributos físicos dos sedimentos marinho da Plataforma Noroeste Australiana.

Segundo os resultados apresentados acima, relações fundamentais foram vistas, tais como a correlação inversas entre porosidade e densidade, também um padrão inverso de cada uma delas com os atributos físicos. Este tipo de relação se dá pois quanto mais poroso for o sedimento menor será sua densidade, padrão já postulado em diversos estudos que serviram de referência pra este trabalho.

Dos atributos físicos, os parâmetros acústicas como a velocidade da onda P e a impedância acústica, obtiveram fortes graus de correlações com a densidade, porosidade, carbono inorgânico, cálcio e total. Verificando que os parâmetros acústicos para este estudo se comportaram como um bom e melhor parâmetros de investigação indireta.

As resistências, de cisalhamento e compressão, foram fortemente influenciadas compactação dos sedimentos, dado pelo aumento da profundidade ocasionando uma diminuição da porosidade. Isto foi verificado por baixos valores de resistência nas unidades menos profundas e mais porosas, e altos valores para unidades mais profundas e menos porosas. A análise gráfica das relações dos atributos físicos de resistência, apresentaram um padrão exponencial com as propriedades sedimentológicas, indicando assim um limite de resistência. Mas, com os carbonos não foi possível fazer esta correlação devido a falta de pontos amostrais na mesma profundidade.

A condutividade térmica, também foi marcada pela influência da profundidade e os processos diagenéticos e compactação. Obtendo boas relações apenas com a densidade e porosidade devido a grande quantidade de dados equivalente a mesma profundidade.

Portanto, temos que os atributos físicos como a velocidade da onda P e impedância acústicas melhor se correlacionaram com as propriedades dos sedimentos marinhos para essa região. A condutividade térmica e resistência ao cisalhamento

e compressão, obtiveram apenas associações com a densidade e porosidade. Já os carbonos não foram boas variáveis de correlação, pois apenas se associaram bem a impedância acústica e velocidade da onda P. O radiação gama natural não correlacionou com nenhuma propriedades sedimentológica como analisada na tabela 1.

Com isso, temos que os melhores atributos de correlação foram os parâmetros acústicos, que partir desses dados pode-se obter equações que modelem essas relações, levando uma possível predição de dados. As demais correlações foram fortemente afetadas pelo aumento da profundidade, resultando na compactação dos sedimentos, apesar da descrição das unidades litológicas que auxiliaram na compreensão da variação dos parâmetros sedimentológico e físico do furo U1463B. A falta de uma melhor amostragem de todas as variáveis ao longo de toda a profundidade, impossibilitou diferenciar essas unidades graficamente. Logo, acarretando uma dificuldade no entendimento das variações dos dados dada paleoceanografia local.

O presente trabalho sugere que as correlações, podem ser usadas para estudos paleoambientais como forma de predições de propriedades sedimentológicas marinhas. Mas, um estudo detalhado da relação para cada unidade litológica, pode aumentar o nível de correlações e uma melhor compreensão das dinâmicas paleoclimáticas e paleoceanográfica da Plataforma Noroeste Australiana.

Referências

- ANDERSON, T. W.; FINN, J. D. *The new statistical analysis of data*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- AYRES, A.; THEILEN, F. Relationship between seismic velocities and geological and geotechnical properties of near surface marine sediments of the continental slope of the barents sea. *Geophys Prospect*, v. 47, n. 4, p. 431–441, 1999.
- AYRES, N. A. *Relationships between physical properties and sedimentological parameters of near surface marine sediments and their applicability in the solution of engineering and environmental problems*. Kiel, 1998. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado-Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch , 1998.
- BARTETZKO, A.; KOPF, A. J. The relationship of undrained shear strength and porosity with depth in shallow (< 50 m) marine sediments. *Sedimentary Geology*, Elsevier, v. 196, n. 1-4, p. 235–249, 2007.
- BOWMAN, D. M. et al. Biogeography of the australian monsoon tropics. *Journal of Biogeography*, Wiley Online Library, v. 37, n. 2, p. 201–216, 2010.
- CATHRO, D. L.; AUSTIN, J. A.; MOSS, G. D. Progradation along a deeply submerged oligocene–miocene heterozoan carbonate shelf: How sensitive are clinoforms to sea level variations? *AAPG bulletin*, GeoScienceWorld, v. 87, n. 10, p. 1547–1574, 2003.
- CUSTODIO, R. et al. Curve fitting of mathematical functions to experimental data [o ajuste de funções matemáticas a dados experimentais]. *Química Nova*, 1997.
- GALLAGHER, S. et al. *Expedition 356 Preliminary Report: Indonesian Throughflow*. [S.l.]: IODP, 2017.
- GALLAGHER, S. J. et al. New frontiers in scientific drilling of the indian ocean. *Scientific Drilling*, Copernicus GmbH, v. 14, p. 60–63, 2012.
- GALLAGHER, S. J. et al. Neogene history of the west pacific warm pool, kuroshio and leeuwin currents. *Paleoceanography*, Wiley Online Library, v. 24, n. 1, 2009.
- GARIDEL-THORON, T. de et al. Stable sea surface temperatures in the western pacific warm pool over the past 1.75 million years. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 433, n. 7023, p. 294, 2005.

- GORDON, A. et al. The Indonesian throughflow during 2004–2006 as observed by the instant program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, Elsevier, v. 50, n. 2, p. 115–128, 2010.
- HAN, D.-h.; NUR, A.; MORGAN, D. Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones. *Geophysics*, Society of Exploration Geophysicists, v. 51, n. 11, p. 2093–2107, 1986.
- HULL, J.; GRIFFITHS, C. *Sequence stratigraphic evolution of the Albian to Recent section of the Dampier Sub-basin, North West Shelf, Australia*. Tese (Doutorado) — PhD thesis 1999. University of Adelaide, Australia, 2002.
- JAMES, N. P. et al. The importance of changing oceanography in controlling late quaternary carbonate sedimentation on a high-energy, tropical, oceanic ramp: north-western Australia. *Sedimentology*, Wiley Online Library, v. 51, n. 6, p. 1179–1205, 2004.
- KEEP, M.; HARROWFIELD, M.; CROWE, W. The neogene tectonic history of the north west shelf, Australia. *Exploration Geophysics*, Taylor & Francis, v. 38, n. 3, p. 151–174, 2007.
- NERY, G. G. Perfilagem geofísica em poço aberto. *Salvador, BA, 231p*, 1990.
- NETO, A. A. et al. Geotechnical influence on the acoustic properties of marine sediments of the Santos basin, Brazil. *Marine Georesources & Geotechnology*, Taylor & Francis, v. 31, n. 2, p. 125–136, 2013.
- SCHÖN, J. H. *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics*. [S.l.]: Elsevier, 2015. v. 65.
- SONVESSO, S. S. *Variações na acumulação de matéria orgânica, ao longo do holoceno, em sedimentos da região costeira de Ubatuba-São Paulo*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007.
- STAGG, H. et al. Architecture and evolution of the Australian continental margin. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, AUSTRALIAN GOVERNMENT PUBLISHING SERVICE, v. 17, n. 5/6, p. 17–34, 1999.
- VEEVERS, J.; POWELL, C. M.; ROOTS, S. Review of seafloor spreading around Australia. i. synthesis of the patterns of spreading. *Australian journal of earth sciences*, Taylor & Francis, v. 38, n. 4, p. 373–389, 1991.
- WOODS, R. Soil properties for shear wave propagation. In: *Shear Waves in Marine Sediments*. [S.l.]: Springer, 1991. p. 29–39.