

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO HOLOCENO
NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM BASE NA EVOLUÇÃO
DO BUTIAZAL DE TAPES – UMA APLICAÇÃO DE BIOINDICADORES**

EDUARDO TREIN SALGADO

ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

Porto Alegre – 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO HOLOCENO
NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM BASE NA EVOLUÇÃO
DO BUTIAZAL DE TAPES – UMA APLICAÇÃO DE BIOINDICADORES**

EDUARDO TREIN SALGADO

ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Rogério Roque Rubert (UFMT)

Dr. Anderson Maraschin (PUC-RS)

Profa. Dra. Cassiana Michelin (UFRGS)

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre em Geociências

Porto Alegre – 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Sambaqui Gruber

CIP - Catalogação na Publicação

Trein Salgado, Eduardo
RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO
HOLOCENO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM
BASE NA EVOLUÇÃO DO BUTIAZAL DE TAPES - UMA APLICAÇÃO
DE BIOINDICADORES / Eduardo Trein Salgado. -- 2019.
81 f.
Orientadora: Ana Maria Pimentel Mizusaki.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Reconstituição Paleambiental. 2. Fitólitos. 3.
Palinologia. 4. Planície Costeira do Rio Grande do
Sul. I. Pimentel Mizusaki, Ana Maria, orient. II.
Título.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e a todos os funcionários, colegas e professores. Agradeço também a CAPES pelo constante trabalho em prol da pós-graduação e ciência nacional.

Agradeço a minha orientadora Ana Maria Pimentel Mizusaki por sua paciência e por me ajudar a tornar essa tarefa infinitamente mais fácil e tranquila. Agradeço à Karina Ferreira Chueng e à Heloísa Helena Gomes Coe, que lá de Niterói me auxiliaram nessa caminhada nova que foram os fitólitos. Agradeço também à Andréia Evaldt e Soraia Bauermann por me ajudarem a decifrar o que dizem os pólenes sobre o passado.

Um agradecimento especial a Carmen Heller Barros por sua incansável e sempre presente contribuição além da enorme paixão pelo Butiá que contagia qualquer pessoa que tem o privilégio de visitar o butiazal na sua presença. O seu esforço para o fomento da ciência também é bastante inspirador.

Agradeço a toda a minha família e amigos, e a minha companheira Débora.

RESUMO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) passou por diversas mudanças climáticas e ambientais durante o Holoceno. Com o intuito de caracterizar essa evolução, foi feita uma reconstrução paleoclimática e paleoambiental na região do Butiazal de Tapes, margem oeste da Lagoa dos Patos. Nessa região existe um remanescente de butiazal, um ecossistema nativo caracterizado como uma savana arbórea dominada por palmeiras do gênero *Butia*. Essa vegetação é muito sensível a mudanças climáticas, tornando os bioindicadores desse ecossistema excelentes *proxys* para um estudo paleoclimático e paleoambiental. Para realizar essas reconstruções foram utilizadas análises de fitólitos – biomineralizações de sílica – e a palinologia, além da técnica de difração de raios-X, da análise granulométrica, determinações de Carbono Orgânico Total, de datações por rádio-carbono (C^{14}) e determinação das razões isotópicas do carbono. Com essa abordagem *multiproxy* foi possível perceber as mudanças climáticas não tão expressivas do Holoceno na região e fazer relações entre as variações do nível do mar e as mudanças paleoambientais. Foram também feitas relações entre as mudanças nos resultados dos bioindicadores e de granulometria, mostrando mudanças paleoambientais causadas pela passagem de uma transgressão para uma regressão.

ABSTRACT

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) underwent several climatic and environmental changes during the Holocene. In order to characterize this evolution, a paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction was carried out in the Butiazal de Tapes region, on the west shore of the Patos Lagoon. In this region there is a remnant of butiazal, a native ecosystem characterized as an arboreal savanna dominated by palms of the genus *Butia*. This vegetation is very sensible to climatic changes, making the bioindicators of this ecosystem excellent proxies for a paleoclimate and paleoenvironment study. In order to perform these reconstructions, phytolith analysis and palynology, as well as X-ray diffraction, particle size analysis, Total Organic Carbon determinations, radio-carbon dating (C14) and determination of the carbon isotopic ratios. With this multiproxy approach it was possible to perceive the not-so-expressive climate changes of the Holocene in the region and to make relationships between sea level variations and paleoenvironmental changes. Relationships were also made between changes in bioindicators and particle size results, showing paleoenvironmental changes caused by the transition from a transgression to a regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geológico simplificado da PCRS, detalhando a localização do Butiazal de Tapes sobre os depósitos da Barreira Pleistocênica I (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2000)	2
Figura 2 - <i>Butia odorata</i> (Barb. Rodr.) Noblick (identificado pela seta vermelha) na região do Butiazal de Tapes. Lagoa dos Patos ao fundo (setas pretas) (fotografia de Salgado, 2018)..	3
Figura 3 - Ponto de Coleta: a) turfeira, amostrador "Russian". <i>Butias</i> e dicotiledôneas lenhosas ao fundo. b) dicotiledôneas lenhosas e <i>butiás</i> próximo ao ponto de coleta. Seta vermelha: <i>Butia odorata</i> (Barb. Rodr.) Noblick (fotografia de Salgado, 2018).....	15
Figura 4 - Amostra de sedimentos úmidos recém retirada. (fotografia de Salgado, 2018)....	16
Figura 5 - Porção central da amostra, retirada com luvas sem talco, para a datação pelo método ^{14}C (AMS) (fotografia de Salgado, 2018).	16

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais morfotipos de fitólitos e suas interpretações taxônomicas e ambientais. Fotos Salgado & Chueng (2018).....	13
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Área de Estudo	3
1.2	Objetivo	3
1.3	A Bacia de Pelotas e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	4
1.3.1	Geomorfologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	5
1.4	Aspectos Climáticos.....	6
1.4.1	Clima durante o Holoceno: Contexto Continental	6
1.4.2	Clima atual na Planície Costeira do Rio Grande do Sul	8
1.5	Aspectos Ecológicos Atuais	8
1.5.1	O Bioma Pampa	8
1.5.2	O Butia.....	9
1.6	Fitólitos.....	9
1.6.1	Evolução do conhecimento sobre fitólitos.....	11
1.6.2	Morfotipos, Nomenclatura e Interpretações Possíveis.....	12
2	MÉTODOS.....	14
2.1	Fitólitos.....	17
2.1.1	Protocolo de Extração de Fitólitos	17
2.1.2	Contagem dos Fitólitos e Índices fitolíticos.....	18
2.2	Palinologia.....	19
2.3	Granulometria	20
2.4	Teor de Matéria Orgânica	20
2.5	Carbono 14 e Isótopos Estáveis de Carbono.....	22
3	CONCLUSÕES.....	22
4	REFERENCIAS	23
5	RESULTADOS OBTIDOS	33

1 INTRODUÇÃO

O paleoclima é um fator importante para a compreensão da evolução das bacias sedimentares, sendo citado na literatura como um dos controles alogênicos básicos na sedimentação, junto com a tectônica e a variação do nível do mar (Catuneanu, *et al.*, 2009). Para o entendimento da evolução paleoclimática são utilizadas diversas ferramentas analíticas, como a análise petrológica ou a difração de raios-X (Araújo, 2018) mas a bioestratigrafia é fundamental. Isto porque muitas formas de vida precisam de climas específicos para prosperarem sendo então indicadores confiáveis para a caracterização climática de dada região (Leonhardt & Lorscheitter, 2010; Macedo, 2009; Coe, *et al.*, 2017).

Dentro da evolução paleoclimática, é muito importante o conhecimento do clima nos períodos de tempo mais recentes, especialmente na costa, onde um quarto da população brasileira reside e onde se localizam as cidades com maior densidade populacional (IBGE, 2011). Por esse motivo, a evolução do clima nas regiões costeiras durante o Quaternário tem sido alvo de inúmeros estudos (Martinho *et al.*, 2008; Medeanic, *et al.*, 2008; Lopes, 2013; Lopes *et al.*, 2013; Coe, 2017).

Neste contexto podem ser utilizadas as ferramentas tradicionais para reconstituições paleoclimáticas, como a palinologia e análise de isótopos estáveis (Lopes, 2013; Evaldt, 2013; Behling, *et al.*, 2001), mas uma técnica ainda relativamente pouco difundida vem sendo muito utilizada: os silicofitólitos, nesse trabalho denominados simplesmente de fitólitos. Os fitólitos são biomineralizações de sílica que funcionam como um excelente *proxy* tanto para reconstituições paleoambientais e paleoclimáticas (Fredlund, 1998; Alexandre *et al.*, 1999; Lu, 2002; Bremond *et al.*, 2005; Coe, 2009; Coe *et al.*, 2013; Coe *et al.*, 2017).

Além das aplicações citadas anteriormente, os fitólitos têm sido utilizados em diversos contextos geológicos, como em estudos sobre intemperismo (Meunier, 1999), em processos pedogenéticos (Blecker, 1997; Boyd, 2005) e sedimentares (Hughes, 2009; Li, 2018), entre outros. Já se mostraram também úteis para a definição de fácies (Marret, 2001) e Parr (2005) mostrou que o teor de carbono orgânico nos fitólitos pode ser um componente substancial do estoque de carbono em solos orgânicos. Neste caso, essas biomineralizações de sílica são importantes no ciclo biogeoquímico do carbono.

Assim, para aplicar essa técnica na reconstituição paleoambiental do Quaternário, foi selecionada uma área da Planície Costeira do Rio Grande do Sul onde

está preservado um ecossistema nativo: um remanescente de um butiazal, o Butiazal de Tapes que se localiza na Fazenda São Miguel, no município de Tapes, no estado do Rio Grande do Sul (Fig.1). Esse ecossistema é caracterizado como uma savana arbórea dominada por palmeiras do gênero *Butia* (*Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick, no caso do Butiazal de Tapes, Fig. 2) e que é invadida por comunidades florestais quando o clima se torna mais quente e úmido, sendo, portanto, um ambiente muito propício para avaliar variações mais sutis no clima (de Lourdes, *et al.*, 2007).

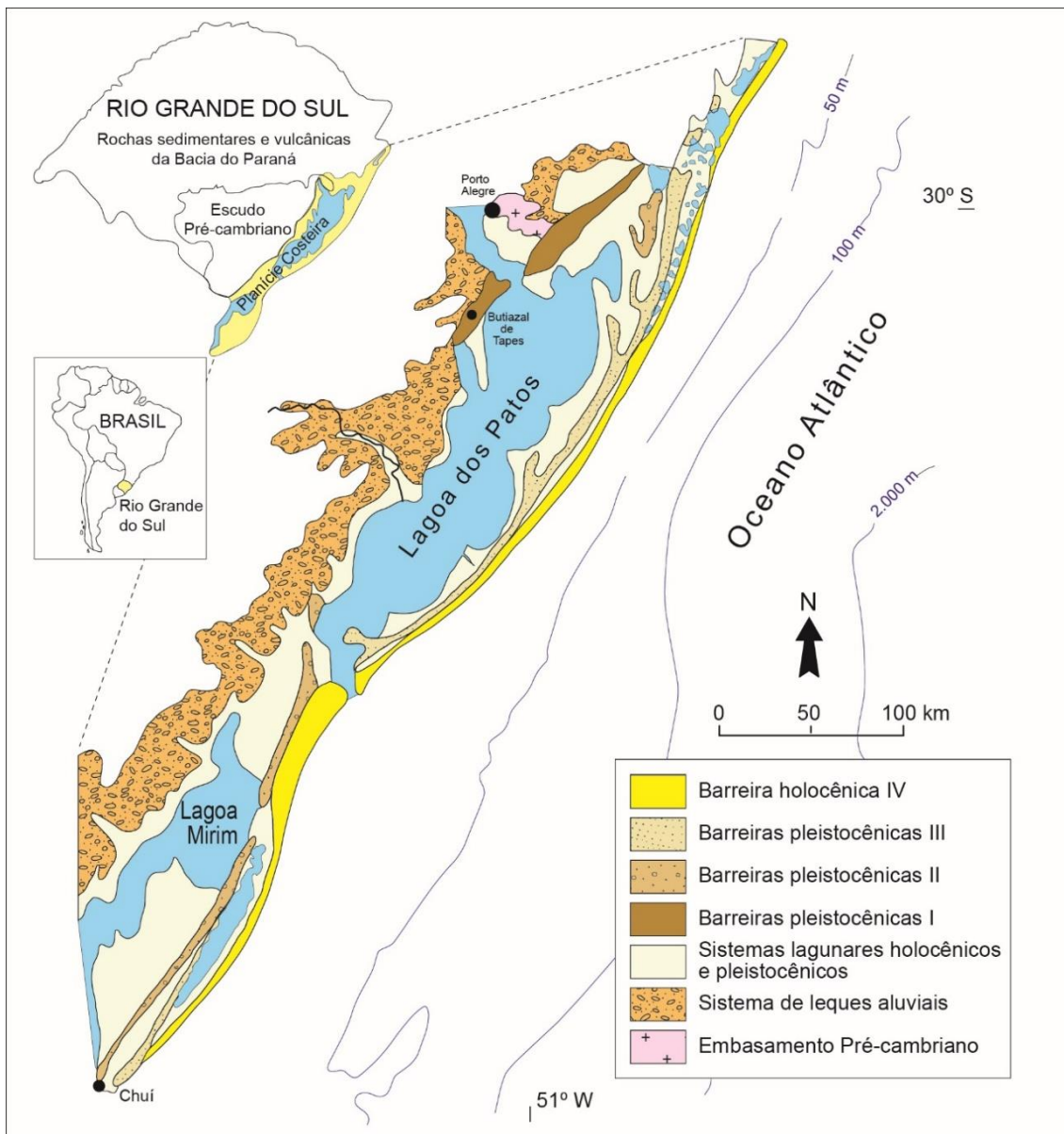


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da PCRS, detalhando a localização do Butiazal de Tapes sobre os depósitos da Barreira Pleistocênica I (Modificado de Tomazelli & Villwock, 2000)

1.1 Área de Estudo

O local de estudo do presente trabalho é denominado por Villwock & Tomazelli (2007) de região do Butiazal de Tapes (Fig.1). Localiza-se na margem oeste da Lagoa dos Patos (Fig. 2), entre os municípios de Tapes e Barra do Ribeiro (RS), e se encontra numa área de transição entre as terras altas do Escudo Sul-rio-grandense e as terras baixas dos depósitos sedimentares pleistocênicos da Bacia de Pelotas.

1.2 Objetivo

Com a perspectiva de compreender como o clima holocênico evoluiu na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) o Butiazal de Tapes é um local de estudo muito propício, pois apresenta os butiazeiros mais antigos do Rio Grande do Sul (Hagemann, 2016) e depósitos pleistocênicos sob influência do clima holocênico e da Lagoa dos Patos (Villwock & Tomazelli, 2007). O objetivo do estudo foi realizar uma reconstrução paleoclimática e paleoambiental, buscando entender como, inserido no clima holocênico, evoluiu o Butiazal de Tapes, que por ser um ecossistema de alta sensibilidade ambiental, pode registrar as mudanças climáticas mais sutis desse período. Utilizaram-se ferramentas como bioindicadores (fitólitos e palinomorfos), análises por difratometria de raios X, análise granulométrica, datações pelo método do carbono 14 e determinações das relações isotópicas do carbono.



Figura 2 - *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick (identificado pela seta vermelha) na região do Butiazal de Tapes. Lagoa dos Patos ao fundo (setas pretas) (fotografia de Salgado, 2018).

1.3 A Bacia de Pelotas e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul

A Bacia de Pelotas é uma subdivisão da margem continental sul-americana. Tem como embasamento para seu preenchimento sedimentar basicamente rochas que pertencem ao Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, às sequências sedimentares e vulcânicas, paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná e rochas do Escudo Catarinense (Rosa *et al.*, 2017). Essa Bacia é limitada a norte pelo alto de Florianópolis (Rosa, *et al.*, 2017) e a sul pelo Lineamento Chuí (Bueno *et al.*, 2007).

O preenchimento dessa bacia pode ser dividido em três grandes fases, segundo Fontana (1996). Uma primeira fase, que começa nos estágios iniciais na abertura e é chamada de Megassequência Rifte, seguida – a partir do Aptiano – de uma Megassequência Transgressiva e, por fim, uma Megassequência Regressiva que tem início no Paleoceno. Todos os eventos descritos no próximo parágrafo ocorreram durante a sequência 17 que faz parte da Megassequência Regressiva.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) representa a porção emersa da Bacia de Pelotas que se encontra no estado do Rio Grande do Sul (Rosa, *et al.*, 2017). Os depósitos sedimentares da PCRS são constituídos por um sistema de leques aluviais – na sua porção mais a W, próximo ao embasamento – e por sedimentos de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Rosa, *et al.*, 2017), que possuem ciclos transgressivos-regressivos com controle predominantemente glacio-eustático (Villwock, *et al.*, 1986). Utilizando-se a curva dos estágios isotópicos do oxigênio de Shackleton & Opdyke (1973) e Imbrie *et al.* (1984), foram sugeridas idades para os quatro sistemas laguna-barreira, como pode ser visto abaixo e na Figura 1 (Rosa, *et al.*, 2017):

- Barreira Pleistocênica I: 325.000 anos BP
- Barreira Pleistocênica II: 230.000 anos BP
- Barreira Pleistocênica III: 125.000 anos BP
- Barreira Holocênica IV: 8.000 anos BP

1.3.1 Geomorfologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

O objeto de estudo da Geomorfologia é o relevo, que é o resultado de processos na interface entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera, biosfera e antroposfera, através de trocas de energia e matéria, em diferentes escalas de espaço – desde a global até a local – e tempo, desde a escala geológica até a escala de tempo humana (Rosa, 2012; Pedrosa, 2014). Segundo o conceito proposto por Batty & Torrens (2001), a relação desses cinco componentes fundamentais (litosfera, atmosfera, hidrosfera, biosfera e antroposfera) categoriza as unidades geomorfológicas como geossistemas, pois são resultantes dessas interações.

A Geomorfologia pode ser abordada de quatro maneiras diferentes segundo Florenzano (2008):

- a morfologia que se refere à descrição qualitativa e quantitativa do relevo;
- a morfogênese que busca entender o desenvolvimento das formas de relevo, resultantes de processos endógenos (relacionados à dinâmica interna do planeta) e exógenos (relacionados aos processos de intemperismo, erosão e acumulação);
- a morfodinâmica que se ocupa do entendimento dos processos ainda ativos e;
- a morfocronologia que busca definir as idades do relevo.

Podemos ainda, segundo Villwock & Tomazelli (2007), indicar duas condicionantes para o desenvolvimento da geomorfologia costeira: a dinâmica global – fenômenos de magnitude planetária, como a tectônica de placas, o clima e as variações do nível do mar – e a dinâmica costeira, que engloba a ação dos ventos, ondas, correntes litorâneas e marés.

A compartimentação geomorfológica da PCRS foi subdividida por Villwock e Tomazzeli (1995) em 5 unidades:

- Planície Aluvial Interna: porção entre as terras altas do Escudo Sul-rio-grandense e o Sistema Lagunar Patos-Mirim (Fujimoto, *et al.*, 2006). Os depósitos são, no geral, de sistema de leques aluviais depositados desde o Terciário que foram sendo retrabalhados durante o Quaternário (Villwock & Tomazelli, 2007).

- Barreira das Lombas: faixa longa na direção NE-SW, que se estende desde Osório até Tapes (RS), com coxilhas chegando a alturas de até 100m. Constitui-se de depósitos praias e eólicos formados por um sistema de ilhas-barreiras (Barreira Pleistocênica I) (Rosa, 2017). É sobre essa subdivisão que o Butiazal de Tapes se desenvolveu.
- Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí: hoje correspondendo às bacias hidrográficas do Lago Guaíba e Rio Gravataí, evoluiu a partir de uma área de pântanos costeiros que foi isolada do mar pela Barreira Pleistocênica I (Villwock & Tomazelli, 2007).
- Barreira Múltipla-Complexa: faixa de terra que fica entre o Planalto Meridional e o Oceano Atlântico e que ao sul foi responsável pelo isolamento das Lagoas dos Patos e Mirim (Villwock & Tomazelli, 2007). Corresponde a sistemas do tipo laguna-barreira desenvolvidos durante os três últimos grandes ciclos regressivos-transgressivos (Barreiras Pleistocênicas II, III e IV) (Rosa, 2017).
- Sistema Lagunar Patos Mirim: grande área lagunar que foi isolada do mar durante os primeiros estágios de formação da Barreira Múltipla-Complexa. A sua evolução formou terraços, cristas de praia, pântanos e pontais arenosos (Fujimoto, *et al.*, 2006).

1.4 Aspectos Climáticos

1.4.1 Clima durante o Holoceno: Contexto Continental

Durante o Holoceno Médio houve variações significativas no clima, evidenciadas pelas mudanças de temperatura, chuvas, nível médio do mar, entre outros fatores (IPCC, 2001). A temperatura média na América do Sul reduziu-se entre 5 e 7°C durante o Último Máximo Glacial (Stute *et al.*, 1995). Essa condição coincidiu com uma aridização acarretada pelo excesso de gelo nas calotas polares e geleiras. As condições mais úmidas se restringiram a porção Norte do continente sul americano (Sayago, 2001; Rabassa *et al.*, 2005).

Também ocorreram, no período, mudanças nos parâmetros orbitais da Terra, alterando o ciclo sazonal da insolação em ambos os hemisférios, além de alterações no El Niño e em outros modos de variabilidade interanual (Melo & Marengo, 2008). Reconstruções da temperatura do Holoceno na Antártica mostram aquecimento entre

11.000 e 9.000 anos antes do presente, seguidos de um gradativo esfriamento (Masson et al., 2000).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) encontrava-se mais a Sul durante o Holoceno médio. Isso implica que a região do nordeste do Brasil se encontrava mais úmida e fria (Silva Dias et al., 2002). Também ocorreram alterações na circulação superficial na plataforma continental do sul do Brasil, com o avanço para norte da descarga da pluma do Rio da Prata, em decorrência do aumento da precipitação no continente e da alteração do regime de ventos (Gyllencreutz et al., 2010). E, por fim, Souto *et al.* (2010) indicaram, na região de ressurgência de Cabo Frio, a existência de dois períodos de intensificação do fenômeno de ressurgência nos últimos 1.200 anos.

1.3.2 Clima durante o Holoceno na Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Em 18.000 anos BP estava em ação o Último Máximo Glacial e a PCRS estava em sua máxima regressão, 110 m abaixo do presente, o que contribuiu para uma menor umidade na região (Tomazelli, *et al.*, 1998). No fim do Pleistoceno, mais precisamente entre 16.000 e 12.500 anos BP a PCRS estava sob um clima semiárido (Lorscheitter & Romero, 1985; Lorscheitter, 1992, 2003; Leal & Lorscheitter, 2007). A 16.000 anos BP começou a se impor sobre o Rio Grande do Sul um clima mais frio e seco, e a influência do Último Máximo Glacial ficou mais acentuada a partir de 14.000 anos BP (Leonhardt & Lorscheitter, 2010).

A partir de 12.500 começou a se impor sobre a PCRS um clima mais quente e úmido, tendência essa que ficou mais marcada entre 11.000 e 9.700 anos BP (Leonhardt & Lorscheitter, 2010). Esse padrão pôde ser visto em, através da palinologia, em Cambará do Sul (Roth & Lorscheitter, 1993), na PCRS (Lorscheitter, 1992, 2003; Leal & Lorscheitter, 2007) e na Serra de Santa Catarina (Behling, 1995).

Entre 9.700 e 6.500 anos BP houve um decréscimo de umidade, embora o clima tenha se mantido quente, especialmente a partir de 7.500 anos BP. Entre 8.000 e 4.000 anos BP houve uma diminuição significativa de registros palinológicos na PCRS devido ao evento de transgressão marinha do Holoceno (Leonhardt & Lorscheitter, 2010).

1.4.2 Clima atual na Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Na PCRS predomina um clima subtropical úmido sob a ação de massas de ar tropicais e polares (Strahler, 1977) sendo que dois sistemas de alta pressão influenciam a dinâmica: o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e o Anticiclone Polar Marítimo (Nimer, 1977). A precipitação média anual é 1.300 mm, sendo que os valores mais altos são durante os meses de inverno (Hoffman *et al.*, 1992). Um regime bimodal de ventos age sobre a PCRS, com predomínio de ventos de NE – especialmente no verão e primavera – e ventos de S e SW nos outros períodos do ano (Tomazelli, 1993).

1.5 Aspectos Ecológicos Atuais

Para um melhor entendimento da reconstituição paleoambiental e paleoclimática, faz-se importante a discussão sobre alguns aspectos ecológicos atuais (Coe, 2009). Para tanto, essa seção presta-se a fazer uma revisão sobre o Bioma Pampa e o Butiá no Holoceno, palmeira essa que foi o principal indicador utilizado para a reconstituição do paleoclima.

1.5.1 O Bioma Pampa

O Bioma Pampa apresenta uma grande variedade de formações vegetais, tais como campos, florestas estacionais e formações pioneiras (Heiden & Iganci, 2009). Esse Bioma ocupa uma superfície de 178. 243 km², correspondendo a 63% do território do Rio Grande do Sul (IBGE, 2004) e 2,07% do território nacional (MMA, 2007), além de se estender para o Uruguai e a Argentina. Quanto ao substrato geológico, encontramos o Bioma Pampa sobre todas as províncias geológicas-geomorfológicas do Rio Grande do Sul: Bacia do Paraná (Planalto Meridional e Depressão Central), Escudo Sul-Riograndense e Planície Costeira (MMA, 2007).

O clima da região que corresponde ao Bioma pampa é Cfa, de acordo com a classificação de Köppen (1931), que corresponde a um Clima temperado úmido com verão quente. Esse clima é favorável à expansão de formações florestais, as quais estão, entretanto, restritas a calhas fluviais, afloramentos rochosos e a altos topográficos. Sustenta-se que o que define as mudanças de vegetação na transição campo-floresta é a atividade antrópica, tanto a pecuária – atividade econômica dominante na área em que o Bioma Pampa domina – quanto o manejo pelo fogo (atividade desenvolvida desde períodos pré-coloniais) (Rovedder, 2013).

O avanço da monocultura sobre esse Bioma está reduzindo drasticamente a cobertura vegetal, isolando a biota nativa a ilhas de habitat (Marchi *et. al.*, 2018). No município de Tapes há uma área de 750 hectares onde se encontra um fragmento de um butiazal (ecossistema formado por espécies campestres associadas às palmeiras de *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick) – que, por ser um remanescente de mata nativa, se apresenta como um excelente local para compreender as variações climáticas – por representar a evolução ecológica – e conseqüentemente deposicionais da região onde o Bioma Pampa entra em contato com a Planície costeira do Rio Grande do Sul (PCRS): o Butiazal de Tapes. Marchi (2018) registrou 261 espécies de herbáceas e subarbustivas no Butiazal de Tapes, equivalendo a 10% do total de espécies desse tipo para o Bioma Pampa (Boldrini *et al.*, 2011).

1.5.2 O Butia

O gênero *Butia* compreende 20 espécies de palmeiras subtropicais encontradas na Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai (Rossato & Barbieri, 2015; Soares, 2014). Os indivíduos desse gênero tendem a apresentarem-se como formações vegetais com altas densidades – entre dezenas até mais de seiscentas plantas por hectare (Soares, 2014). Quanto ao substrato, encontram-se associadas a solos arenosos ou rochosos e adaptam-se bem a climas secos e úmidos (Rossato & Barbieri, 2015; Lorenzi *et al.*, 2010). Algumas espécies de butiá estão sob risco de extinção no Rio Grande do Sul (Rossato, 2007), sendo a monocultura, a criação de gado e a especulação imobiliária consideradas as principais responsáveis pela redução das populações naturais de butiá (Rossato, 2007; Rossato & Barbieri, 2007).

1.6 Fitólitos

Fitólitos são biomineralizações de sílica ou cálcio produzidas por plantas durante o seu crescimento e que são liberadas no solo após sua morte e decomposição (Luz, 2015). Os silicofitólitos são compostos de sílica hidratada (Luz, 2015) sendo, portanto muito mais resistentes e considerados um dos fósseis mais duráveis de plantas terrestres, além de poderem ser preservados em uma variedade de ambientes deposicionais. Por essas razões são muito utilizados em estudos paleoambientais (Piperno, 2006).

Os silicofitólitos (nesse trabalho chamados apenas de fitólitos para fins de simplificação) são formados, principalmente, por sílica amorfa com quantidades variadas de água - geralmente entre 4 e 9% - e pequenas quantidades de Al, Fe, Mn,

Mg, P, Cu, N e carbono orgânico (Piperno, 2006). São opticamente isotrópicos e são, sob luz transmitida, incolores ou marrom claro a opacos, sendo as formas mais escuras possuidoras de menor gravidade específica e podendo muitas vezes ser decorrente de alteração por fogo, o que torna os fitólitos bons indicadores de paleoincêndios (Jones & Beavers, 1963).

O processo de produção dos fitólitos de sílica começa com a absorção, pelas raízes das plantas, da sílica hidratada dissolvida na água subterrânea e seu transporte pelo sistema vascular. A sílica pode se depositar nos espaços intercelulares e intracelulares de qualquer órgão da planta, especialmente nas estruturas aéreas (Piperno, 1991). Dessa forma, os fitólitos assumem a forma da célula em que são formados, sendo possível identificar diferentes morfologias, chamadas morfotipos (Coe, 2009).

Uma mesma planta pode produzir diferentes morfotipos de fitólitos (multiplicidade) e o mesmo morfotipo pode aparecer em diferentes tecidos da mesma planta e em plantas de valor taxonômico muito diferente, ou seja, há um grande grau de redundância. Por conseguinte, se utiliza muito comumente as assembleias fitolíticas, que consistem em grupos de tipologias com valor taxonômico que chegam ao nível de resolução de formação vegetal (ex.: floresta, pradaria, entre outros) (Coe, 2009).

A análise de fácies sedimentares – ferramenta consagrada há muito tempo na área de reconstituição paleoambiental – apresenta informações a respeito do fluxo, geometria da bacia e do ambiente sedimentar, não dando informações paleoecológicas ou a respeito da salinidade, temperatura ou pH da água (Ramírez, *et al.*, 2019). Utiliza-se comumente como *proxy* a palinologia, mas que apresenta como limitação a possibilidade de destruição dos pólenes em ambientes secos ou oxidantes (Alexandre *et al.*, 1997; Bremond *et al.*, 2005), além da questão de escala: as informações obtidas sobre o paleoclima são regionais, dificultando a diferenciação de informações de caráter local (Ramírez, *et al.*, 2019). A técnica de isótopos estáveis de Carbono – também muito utilizados em reconstituições paleoambientais – apresenta a possibilidade de diferenciar as variações entre plantas C3 e C4. Entretanto, como as plantas C3 incluem além de vários táxons de dicotiledôneas lenhosas algumas gramíneas, muitas vezes os valores de $\Delta^{13}\text{C}$ não demonstram corretamente a densidade arbórea, importante informação para compreender as condições paleoclimáticas e paleoambientais (Alexandre *et al.*, 1999).

1.6.1 Evolução do conhecimento sobre fitólitos

Piperno (2006) enumera quatro fases nas pesquisas sobre fitólitos:

I) **Fase exploratória (1835 a 1895)** – Em 1835, um trabalho do botânico alemão Struve reportou a presença de fitólitos em plantas vivas. Outra figura importante dessa fase é o cientista natural alemão Ehrenberg. Várias amostras de solo foram enviadas para ele de várias partes do mundo, inclusive amostras de Darwin. Ele cunhou o termo *Phytolitharia* (do grego planta de pedra) e desenvolveu o primeiro sistema de classificação de fitólitos.

Darwin enviou amostras de poeira coletada nas velas do HMS *Beagle*, logo que ele deixou a Inglaterra em 1833, sendo o primeiro a coletar fitólitos no aerosol. No livro *The Voyage of the Beagle* (Darwin, 1909), Darwin escreveu:

Generally, the atmosphere is hazy; and this is caused by the falling of impalpably fine dust, which was found to have slightly injured the astronomical instruments. I collected a little packet of this brown-coloured fine dust, which appeared to have been filtered from the wind by the gauze of the vane at the masthead. Professor Ehrenberg finds that this dust consists in great part of the infusoria with siliceous tissue of plants. In five little packets which I sent him, he has ascertained no less than sixty-seven organic forms.

**The Voyage of the Beagle - (1909)
Darwin**

II) **Fase botânica (1895 a 1936)** – O centro foi a Alemanha. Os fitólitos foram reconhecidos amplamente na Europa como sendo derivados de tecidos de planta. A produção, morfologia e taxonomia começaram fortemente e nesse período ocorreu a primeira aplicação na arqueologia. Netolitzky (1900) e Schellenberg (1908) identificaram trigo, cevada e milho em cerâmicas e cinzas na Europa e Turquia. Com o nazismo (1936), as pesquisas cessaram.

III) **Fase de Pesquisa Ecológica (1955 – 1975)** – Nesse período começaram as aplicações por cientistas do solo, ecologistas, agrônomos e botânicos,


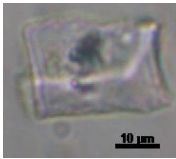
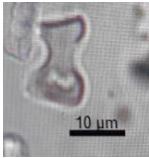
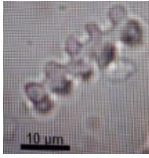
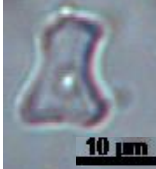
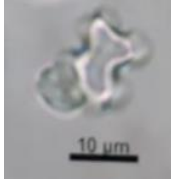
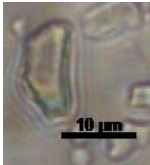
dos EUA, Reino Unido e Austrália. Pedólogos russos tiveram significativa importância logo após a segunda guerra. Twiss *et al.* (1969) desenvolveram o sistema de classificação que serve de base para o utilizado até hoje.

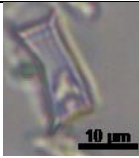

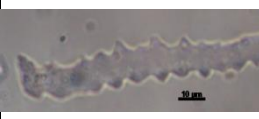
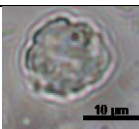
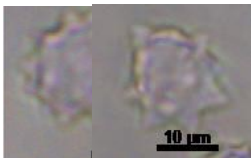
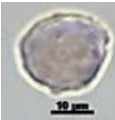

IV) **Fase de Aplicação Arqueológica e Paleoambiental** – (a partir de 1978). Para reconstituir sequências de plantas nas terras baixas tropicais e outras regiões das Américas, paleobotânicos começaram a comparar a produção e morfologia dos fitólitos em diversos táxons. Começaram também a utilizar os fitólitos como *proxies* independentes para avaliar o uso e domesticação de plantas (Bozarth, 1986, 1987, 1990; Pearsall, 1978, 1982; Piperno, 1984, 1985, 1989; Piperno *et al.* 1985).

1.6.2 Morfotipos, Nomenclatura e Interpretações Possíveis

Com o fim de uniformização da nomenclatura e descrição dos fitólitos, foi desenvolvido o ICPN 1.0 (*International Code for Phytolith Nomenclature* – Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos) (Madella *et al.*, 2005). Esse código recomenda evitar generalizações, embora alguns fitólitos possam ser considerados diagnósticos de determinados táxons ou de determinado ambiente. O Quadro 1 elenca os principais tipos de fitólitos e as interpretações taxonômicas e ambientais que podem ser feitas com base na literatura (Twiss *et al.*, 1969; Twiss, 1992; Bremond, 2003).

Quadro 1 - Principais morfotipos de fitólitos e suas interpretações taxônomicas e ambientais. Fotos Salgado & Chueng (2018).

	Morfotipo	Foto	Interpretação Taxonômica	Interpretação Ambiental
<i>Bulliform</i>	<i>Cuneiform</i>		GRAMÍNEAS Células buliformes de todas as epidermes	Indicam estresse hídrico
	<i>Parallepipedal</i>		GRAMÍNEAS Células buliformes de todas as epidermes	Indicam estresse hídrico
<i>Short-Cells</i>	<i>Bilobate</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Panicoideae C4 Também produzido por: Panicoideae C3, Cloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	Quente úmido
	<i>Polylobate</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Panicoideae C3 e C4	Regiões temperadas, frias e/ou de altitude
	<i>Rondel</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Pooideae C3 Também produzido por: Bambusoideae	Regiões temperadas, frias e/ou de altitude
	<i>Cross</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Panicoideae C4 Também produzido por: Panicoideae C3, Cloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	Quente úmido
	<i>Saddle</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Cloridoideae baixa C4 Também produzido por: Bambusoideae C3, Arundinoideae C3	Seco De baixa latitude e altitude Ou condições edáficas

	<i>Trapeziform</i>		GRAMÍNEAS Principais produtores: Pooideae	Regiões temperadas e frias, altas elevações intertropicais
	<i>Acicular</i>		GRAMÍNEAS Pelos Também produzido por: Arecaceae , e sementes de outras plantas	
	<i>Elongate</i>		GRAMÍNEAS <i>Long cells</i> de todas as gramíneas e algumas lenhosas	
Lenhosas	<i>Globular Granulate</i>		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS Troncos e galhos de árvores e arbustos tropicais	
	<i>Globular Echinata</i>		Arecaceae e Bromeliaceae	
	<i>Globular Psilate</i>	 (Foto Chueng, 2017)	DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (epiderme de folhas e parênquima) GRAMÍNEAS (raízes e sementes)	
	Traqueídeos		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (vasos condutores)	

2 MÉTODOS

A obtenção de dados pode ser dividida em três etapas: pré-coleta, coleta e análises laboratoriais. Na etapa pré-coleta foi feita uma avaliação, através de imagens de satélite e visita a propriedade Fazenda São Miguel (Tapes – RS), com o objetivo de escolher o ponto de coleta de dados (Fig. 3). Foi escolhido um ponto em uma turfeira com as coordenadas UTM: 0465208m W/662314m N, por apresentar granulometrias relativamente finas e alto teor de matéria orgânica, situação essa mais propicia para

as técnicas empregadas no presente estudo (Costa, et al., 2010; Coe, et al., 2017). Nesse ponto concentram-se grandes quantidades de Poaceae e Cyperaceae (Fig.3a), e numa porção um pouco mais alto a poucos metros a oeste do ponto de coleta aparecem lenhosas como a *Myrsine* sp.(Fig.3b), enquanto que, nas outras direções, também a poucos metros, encontramos grandes concentrações de *Butia odorata* (Fig.2).

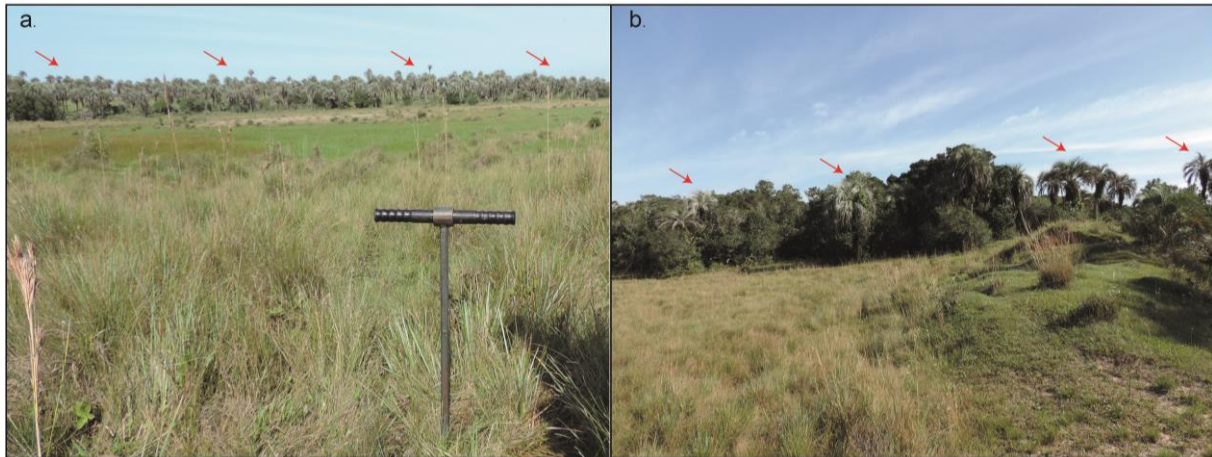


Figura 3 - Ponto de Coleta: a) turfeira, amostrador "Russian". Butias e dicotiledôneas lenhosas ao fundo. b) dicotiledôneas lenhosas e butiás próximo ao ponto de coleta. Seta vermelha: *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick (fotografia de Salgado, 2018).

A etapa subsequente foi a de campo, em que foi realizada uma coleta de um testemunho de sondagem na turfeira, no ponto escolhido na etapa anterior. Foi utilizado um amostrador "*Russian*" (Fig.4) do Centro de Estudos Costeiros e Oceanos (CECO) da UFRGS, de acordo com a metodologia proposta por Moore *et al.* (1998). Cada amostra recém retirada da turfeira foi dividida em três partes, que foram preservadas em saco plástico, da seguinte forma: 1- parte mais interna da amostra (com menor contato com o ar) foi retirada utilizando-se luvas sem talco, com o objetivo de realização de datações pelo método ^{14}C (AMS) (figura 5); 2 e 3 – o restante de cada amostra foi dividido em dois sacos plásticos afim de obter amostras o suficiente para o restante das análises. O testemunho atingiu uma profundidade de 2 metros com um total de 20 amostras, (subdivididas chegando-se a 60 amostras).



Figura 4 - Amostra de sedimentos úmidos recém retirada. (fotografia de Salgado, 2018).

Posteriormente foram realizadas análises de fitólitos, palinomorfos, granulometria, descrição de solo, datação por C14 e análise de isótopos estáveis de carbono ($\Delta 13C$). Esses dados então foram integrados e interpretados.



Figura 5 - Porção central da amostra, retirada com luvas sem talco, para a datação pelo método ^{14}C (AMS) (fotografia de Salgado, 2018).

2.1 Fitólitos

Conforme podemos observar no Quadro 1, a família *Arecaceae* responde muito bem à técnica de fitólitos já que apresentam um morfotipo típico, que pode servir como diagnóstico, chamado *globular echinate* (Tomlinson, 1961; Barboni *et al.*, 2010; Coe *et al.*, 2013; Aleman *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2015) que em alguns trabalhos são inclusive chamados de “fitólitos de palmeiras” ou “morfotipo de *Arecaceae*” (Calegari *et al.*, 2013; Benvenuto *et al.*, 2015). A família *Bromeliaceae* também produz esse morfotipo (Piperno, 1985), mas é possível diferenciar entre os *globular echinate* dessa família e o da família das palmeiras (*Arecaceae*) (Piperno, 2006).

Rasbold *et al.* (2011) fizeram análises em diferentes partes de espécimes de *Butia paraguayensis* (que pertence ao gênero *Butia*, mesmo da *Butia odorata*) a fim de determinar as diferentes abundâncias de morfotipos de fitólitos. Em todas as partes da planta os *globulares echinate* representam pelo menos 50% das formas (com exceção da raiz, onde representam aproximadamente 30%), sendo que as outras formas representam, individualmente, menos de 10 %, com algumas exceções como na ráquila e na bráctea onde os *Cylindric slucate tracheid* representam mais de 35%. Pereira *et al.* (2013) fizeram um estudo similar com o *Butia microspadix* Burret e os resultados foram mais marcantes ainda: Os *globulares echinates* representam mais de 98 % em todas as partes da planta.

2.1.1 Protocolo de Extração de Fitólitos

A primeira etapa é correspondente à preparação da amostra. Primeiramente as amostras são secas em estufa a 60°C e posteriormente maceradas e peneiradas até obter-se aproximadamente 10g de solo seco menor que 2mm. O restante da amostra que foi seca e não peneirada foi reservada para outras análises nesse estudo. Essa etapa inicial foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do CECO, UFRGS. As etapas subsequentes foram realizadas no laboratório de Microscopia Óptica e Morfoscopia (LAMON) da FFP-UERJ, quais sejam:

1. Descarbonatação - utilizando-se ácido clorídrico e cloreto de cálcio;
2. Queima de matéria orgânica - utilizando-se peróxido de hidrogênio, uma solução de ácido nítrico e ácido sulfúrico;
3. Branqueamento - com hipoclorito de sódio;

4. Remoção de argilas - com hexametáfosfato e EDTA (Defloculante);
5. Solubilização de ferro - com citrato de sódio e ditionito de sódio;
6. Peneiração e secagem;
7. Separação dessimétrica- com SPT (politungstato de sódio em pó);
8. Confecção de lâminas para a microscopia.

2.1.2 Contagem dos Fitólitos e Índices fitolíticos

O procedimento de contagem consiste na leitura de três transectos para cada lâmina, enquanto os fitólitos vão sendo identificados segundo seus morfotipos como estão expostos no Quadro 1, de acordo com o ICPN (Madella *et al.*, 2005). Os que, devido ao alto grau de alteração, não se encontram em condições de identificação são contados como “não classificáveis”. Foram contadas também as partículas de carvão e as espículas de esponjas.

No presente trabalho foram utilizados índices fitolíticos, onde são considerados apenas os morfotipos com mais de 5% de representatividade na amostra em questão. Por exemplo, o índice Pa/P (que indica a abundância de palmeiras no ambiente) é dado pela relação entre o morfotipo *globular echinate*, tipicamente produzido pela família Arecaceae (Madella *et al.*, 2005), e os fitólitos produzidos por gramíneas, isto é, dá a proporção entre Arecaceae e Poaceae. Os índices fitolíticos dão um teor mais significativo às interpretações paleoambientais como marcadores das vegetações intertropicais (Bremond, 2003). As seguintes equações foram usadas (Coe *et al.*, 2009):

1) Índice D/P (Dicotiledôneas lenhosas/ Poaceae): é um indicativo da densidade de cobertura arbórea e é dado pela relação entre os fitólitos típicos de dicotiledôneas lenhosas e os de gramíneas, como mostra a equação abaixo:

$$D/P = \frac{\textit{globular granulate}}{\textit{short cells+acicular+bulliform}}$$

2) Índice Pa/P: esse índice indica a abundância de Arecaceae (Coe, 2009), sendo, portanto, de grande interesse para o presente estudo, já que o Butiá (principal gênero no ecossistema do Butiazal) pertence a essa família:

$$Pa/P = \frac{\textit{globular echinate}}{\textit{short cells + acicular + bulliform}}$$

3) Índice Bi: indica o quanto a vegetação é submetida ao estresse hídrico, em locais onde há uma grande variação do freático e da quantidade de chuvas. Seu valor é obtido pela equação:

$$Bi (\%) = 100x \left(\frac{bulliform}{short\ cells + acicular + bulliform} \right)$$

As células buliformes são células que têm a capacidade de se contraírem quando a folha está desidratada e se inflarem quando a folha volta a receber umidade. A alta temperatura e o estresse hídrico provocam mais transpiração e/ou um aumento da duração do estresse hídrico, o que leva a uma saturação e precipitação de sílica na epiderme da planta, gerando mais fitólitos do tipo *bulliform* (Bremond, 2003; Coe, 2009). Áreas úmidas, como brejos ou banhados, também são propensas a induzirem a formação de muitos fitólitos *bulliform* devido às variações do lençol freático.

4) Índice Ic: indica a adaptação a uma temperatura mínima e/ou a pressões parciais de dióxido de Carbono (pCO₂) fortes e foi definido por Twiss (1992). É calculado a partir da equação abaixo:

$$Ic (\%) = 100x \left(\frac{rondel + polylobate + trapeziform}{short\ cells} \right)$$

2.2 Palinologia

Embora a família *Arecaceae* tenha um morfotipo característico de fitólito (Tomlinson, 1961; Barboni *et al.*, 2010; Coe *et al.*, 2013; Aleman *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2015), essa técnica apresenta a limitação de não identificar qual gênero ou espécie de planta produziu determinado *globular echinate*. Por essa razão utilizou-se a técnica de palinologia, já que com ela é possível identificar até o nível taxonômico de espécie (Bauermann, *et al.*, 2010).

As amostras foram tratadas no Laboratório de Palinologia da Universidade Luterana do Brasil, seguindo a metodologia proposta por Faegri & Iversen (1975). A metodologia utiliza uma sequência de reagentes químicos a fim de concentrar os palinomorfos, possibilitando a subsequente leitura. Para retirar os silicatos utilizou-se ácido fluorídrico (HF); ácido clorídrico (HCl), para remoção dos carbonatos, e por fim

eliminou-se os ácidos húmicos com hidróxido de potássio (KOH). Posteriormente, desidratou-se o material com ácido acético glacial e, para clarificar a exina – o que facilita a identificação taxonômica dos palinomorfos – procedeu-se a acetólise (anidro acético $(\text{CH}_3\text{CO})_2$ + ácido sulfúrico (H_2SO_4)). Por fim, foram confeccionadas quatro lâminas de cada uma das 20 amostras utilizando-se gelatina-glicerinada.

Para o presente trabalho foram identificados apenas os pólenes do gênero *Butia*, a fim de avaliar a variação de sua abundância no decorrer do perfil. Para tanto, foram adicionados em cada unidade amostral dois tabletes de *Lycopodium* (Stockmarr, 1971) conseguindo assim determinar a concentração polínica (n° de grãos/cm³).

2.3 Granulometria

As análises de granulometria foram realizadas com um Horiba Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950[®] no Laboratório de Sedimentologia do CECO da UFRGS. Para a análise de fitólitos é importante conhecer-se a porcentagem de silte e argila, já que os fitólitos ficam retidos em sedimentos que possuem teores mais altos dessa granulometria. Por esse motivo, os dados foram expressos em porcentagem de finos, somando-se o teor de silte mais o teor de argila (Ronver, 1971; Li, 2018).

2.4 Teor de Matéria Orgânica

A análise de Carbono Orgânico Total (COT) foi realizada no Instituto Tecnológico de Micropaleontologia (ITT Fossil) da Unisinos. Primeiramente foi moída e homogeneizada parte das amostras que haviam sido secas para o estudo de fitólitos e foram pesados 260 mg de cada amostra. Posteriormente se acidificou com o uso de HCl 6N (1:1) e foi deixado em repouso por 24 horas. As amostras foram então lavadas com H₂O destilada quente, a fim de tirar o excesso de cloreto, repetiu-se o processo depois de uma hora. Depois disso passou-se a lavar a amostra com H₂O destilada em temperatura ambiente até que desaparecesse a coloração amarelada deixada pelo HCl, e então lavou-se mais duas vezes. Por fim as amostras foram secas em estufa por 3 horas a 70° C, resfriadas em um dessecador e novamente pesadas.

2.5 Difração de Raios X

A identificação e o estudo da fração fina das rochas, onde se concentram os argilominerais, é uma das aplicações da técnica da difração de raios X. A caracterização dos argilominerais é feita com base na estrutura cristalina e na composição química destes minerais.

Neste trabalho esta técnica foi utilizada para auxiliar na identificação da mineralogia das amostras caracterizadas por uma granulometria fina. As análises foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios X do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências da UFRGS. O equipamento utilizado para as análises foi um difratômetro, modelo *Diffraktometer Siemens Bruker* XS D5000, equipado com ânodo de cobre, filtro de níquel, fendas de 1°, 40 mA de corrente e 30 KV de tensão do feixe.

Primeiramente as amostras foram desagregadas em gral de ágata, e em seguida diluídas em água deionizada com a adição de defloculante (utilizado para a solução não flocular devido à possível presença de sais na amostra). Logo em seguida, as amostras foram deixadas em um processo de agitação por aproximadamente 24 horas para a obtenção de uma solução homogênea. Após este processo as amostras permanecem em repouso por cerca de 3 horas para que a fração inferior a 2 μ m possa ser separada com o auxílio de sifonagem e extraída com uma pipeta para as lâminas de vidro. O líquido restante é preservado caso seja necessário repetir a análise. A fração menor que 2 μ m é então distribuída homogeneamente com espátula em movimentos na mesma direção e sentido nas lâminas de vidro. Esta técnica é denominada Técnica do Esfregaço e produz uma boa orientação dos argilominerais, tendo a vantagem de não produzir segregação mineralógica. Em seguida, as lâminas são secas à temperatura ambiente e após, analisadas no difratômetro.

A preparação das amostras seguiu os procedimentos descritos por Brown & Brindley (1980) e Alves (1987), sendo que as lâminas foram submetidas a três preparações onde se obtêm três resultados (normal, glicolado e calcinado), cuja interpretação conjunta irá identificar os argilominerais presentes, já que suas características físico-químicas têm respostas diferentes aos tratamentos efetuados. Por exemplo, a glicolagem é fundamental para a identificação de argilominerais expansivos, como a esmectita. A calcinação tem a finalidade de determinar os argilominerais sensíveis ao aquecimento como a caulinita. As três sequências de análises foram as seguintes:

1. Amostra natural: o material depositado na lâmina com a pipeta e submetido à técnica do esfregaço é seco naturalmente e analisado no difratômetro;

2. Amostra glicolada: a lâmina, após ser analisada ao natural, é colocada em um dessecador recoberto com etileno glicol ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$) até o momento de a amostra ser analisada novamente no difratômetro;

3. Amostra calcinada: a lâmina é colocada em um forno a 500°C durante 2 horas. Depois de esfriar naturalmente, também é analisada no difratômetro.

Finalmente, após todos estes processos, são feitas as análises, as comparações dos difratogramas e a identificação dos argilominerais que é obtida através do procedimento padrão segundo Brown & Brindley (1980) a partir da medida da altura dos picos principais.

2.5 Carbono 14 e Isótopos Estáveis de Carbono

As datações foram realizadas pela metodologia AMS no laboratório Beta Analytic, Inc. (Florida, EUA). A preparação consiste em primeiramente encharcar o sedimento e separar a porção menor que 180 micrometros (com uma peneira) e são tratados com 1.25 N HCl (10% HCl) para eliminar os carbonatos. Esse tratamento, que é realizado em uma placa quente a 80°C , é repetido até que todo o carbonato tenha sido removido. O sedimento é então lavado com água deionizada e seco em uma estufa a 80°C e segue para a datação e a análise de isótopos estáveis de carbono.

3 CONCLUSÕES

Os resultados apontam que as variações no clima não foram muito expressivas nos últimos 10.000 anos, não obstante foi possível observar variações em menor escala na umidade e temperatura para região, influenciadas, muitas vezes, pela variação do nível do mar. Os bioindicadores utilizados nesse trabalho mostraram-se muito eficientes para detectar essas variações, evidenciando que o ecossistema butiazal é muito sensível a mudanças sutis no clima e, portanto, muito útil para estudos desse tipo na costa.

Os dados dos bioindicadores e das datações apontam que o butiazal se encontra na região de estudo há pelo menos 4.154 – 3.960 anos cal BP, entretanto é possível inferir que o *Butia odorata* está presente desde o início do Holoceno (1125 – 10751

anos cal BP). Essa informação é de grande relevância, dado o interesse ambiental sobre esse ecossistema.

Foi possível observar também indícios de manejo humano sobre o paleoambiente, chamando atenção para a importância do fator antrópico nas interpretações paleoambientais, tanto enquanto agente e resultado de mudanças, quanto como indicador de ‘mudanças naturais’. Se chegar-se à caracterização do início da influência da atividade antrópica em dada região, seria possível utilizar tal evento como um marcador estratigráfico.

O presente trabalho se prestou a um esforço interdisciplinar, conversando com áreas como a Biologia e a Geografia, com discussões entre profissionais das áreas de maneira a fazer pontes entre os conhecimentos. É importante diferenciar a multidisciplinaridade da interdisciplinaridade. A primeira utiliza o conhecimento de diferentes disciplinas, mas mantendo-as dentro de seus limites; e a segunda analisando, sintetizando e harmonizando conexões entre as disciplinas de uma maneira coordenada e eficiente (Choi & Pak, 2006). Como defendido por Max-Neef (2005), os programas de pós-graduação são os ambientes mais propícios para o começo da aplicação da interdisciplinaridade.

4 REFERENCIAS

- Aleman, J. C., Canal-Subitani, S., Favier, C., Bremond, L., 2014. Influence of the local environment on lacustrine sedimentary phytolith records. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 414, 273-283.
- Alexandre, A., Meunier, J.D., Lézine, A.M., Vincens, A., Schwartz, D., 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136(1-4), pp.213-229.
- Alexandre, A., Meunier, J.D., Mariotti, A., Soubies, F., 1999. Late Holocene phytolith and carbon-isotope record from a latosol at Salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research*, 51(2), pp.187-194.
- Alves, D.B. 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no centro de pesquisas da PETROBRAS. B. Geoci. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 1.
- Araújo, B.E.O.D., 2018. Análise paleoambiental e diagenética dos arenitos carboníferos da Formação Poti da Bacia do Parnaíba, região de Nazaré do Piauí-PI.

Asmus, H.E., Porto, R., 1972. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26: 1972, Belém. Anais...Belém: SBG, 2:67-90

Baitelli, R., 2012. Evolução Paleogeográfica do Sistema de Paleodrenagem do Rio Jacuí na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. 2012. 148 p (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre).

Barboni, D., Ashley, G. M., Dominguez-Rodrigo, M., Bunn, H. T., Mabulla, A. Z., Baquedano, E., 2010. Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania. *Quaternary Research*, 74(3), 344-354.

Batty, M., Torrens, P. M., 2001. Modeling Complexity: The Limits to Prediction. *Cybergeo: European Journal of Geography, Dossiers, 12ème Colloque Européen de Géographie Théorique et Quantitative, St-Valéry-en-Caux, France, 7-11 septembre 2001, document 201.*

Bauermann, S. G., Evaldt, A. C. P., Zanchin, J. R., de Loreto Bordignon, S. A., 2010. Diferenciação polínica de *Butia*, *Euterpe*, *Geonoma*, *Syagrus* e *Thritrinax* e implicações paleoecológicas de *Arecaceae* para o Rio Grande do Sul. *Iheringia. Série Botânica.*, 65(1), 35-47.

Behling, H., 1995. Investigations into the late Pleistocene and Holocene history of Vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). *Vegetation History and Archaeobotany* 4, 127–152.

Behling, H., Bauermann, S. G., Neves, P. C. P., 2001. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(6), 631-639.

Benvenuto, M. L., Fernández Honaine, M., Osterrieth, M. L., Morel, E., 2015. Differentiation of globular phytoliths in *Arecaceae* and other monocotyledons: morphological description for paleobotanical application. *Turkish Journal of Botany*, 39(2).

Bexiga, G. M. S., 2016. Estudo geoacústico para mapeamento de eco-caráter em registros sísmicos de alta resolução do interior da Lagoa Dos Patos, RS, Brasil.

Blecker, S.W., Yonker, C.M., Olson, C.G., Kelly, E.F., 1997. Paleopedologic and geomorphic evidence for Holocene climate variation, Shortgrass Steppe, Colorado, USA. *Geoderma*, 76(1-2), pp.113-130.

Boldrini, I. L.B., 2010. Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica. Editora Pallotti.

Boyd, M., 2005. Phytoliths as paleoenvironmental indicators in a dune field on the northern Great Plains. *Journal of Arid Environments*, 61(3), pp.357-375.

Bozarth, S., 1986. Morphologically distinctive *Phaseolus*, *Cucurbita*, and *Helianthus annuus* phytoliths. Plant opal phytolith analysis in archaeology and paleoecology. *Occ. Pap*, (1), pp.55-66.

Bozarth, S.R., 1987. Diagnostic opal phytoliths from rinds of selected *Cucurbita* species. *American Antiquity*, 52(3), pp.607-615.

Bozarth, S.R., 1990. Diagnostic opal phytoliths from pods of selected varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *American Antiquity*, 55(1), pp.98-104.

Bremond, L., 2003 Calibration des fonctions de transfert entre assemblages phytolithiques, structures des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation. Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT, Université Aix-Marseille III, 2003.

Bremond, L., Alexandre, A., Peyron, O., Guiot, J., 2005. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32(2), pp.311-327.

Brown, G. & Brindley, G.W. 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brown, G. & Brindley, G.W. (Eds). *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineral Society of London, 5: 305-359.

Bueno, G.V., Zacharias, A.A., Oreiro, S.G., Cupertino, J.A., Falkenhein, F.U.H. and Neto, M.M., 2007. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), pp.551-559.

Calegari, M.R., Madella, M., Vidal-Torrado, P., Pessenda, L.C.R., Marques, F.A., 2013. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: an example of an Oxisol in Brazil. *Quaternary International*, 287, 47-55.

Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., Blum, M.D., Dalrymple, R.W., Eriksson, P.G., Fielding, C.R., Fisher, W.L., Galloway, W.E., Gibling, M.R., Giles, K.A., 2009. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92(1-2), pp.1-33.

Coe, H.H., Alexandre, A., Carvalho, C.N., Santos, G.M., da Silva, A.S., Sousa, L.O., Lepsch, I.F. 2013. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): evidence from soil phytolith assemblages. *Quaternary International*, 287, 63-72.

Coe, H.H.G., 2009. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense. 340p. (Programa Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Tese de Doutorado).

Coe, H.H.G., Ricardo, S.F., de Sousa, L.D.O.F., Dias, R.R., 2017. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8(2).

Costa, L.M.D., Santos, R.F.D., Schaefer, C.E.G., Moreau, M.S.D.S., Moreau, M.S. 2010. Occurrence of silica bodies in surface horizons of soils in different ecosystems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3), 871-879.

Darwin, C., 1909. *The voyage of the Beagle*. New York: PF Collier and Son.

de Lourdes, M., de Oliveira, A.A., Senna, R.M., Barreto, M.T.M., & das Neves, M., 2007. Flora e vegetação. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, 84.

Evaldt, A. C. P., 2013. Reconstituição paleoambiental em remanescente de savana estépica parque no extremo oeste do Rio Grande do Sul (Barra do Quaraí), com base em palinórfos holocênicos. pp 154 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Dissertação de Mestrado)

Faegri, K., Iversen, J., 1989 *Textbook of Pollen Analysis*. New York, John Wiley & Sons Chichester, 328p.

Florenzano, T.G., 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo, Oficina de Textos. 318p.

Fredlund, G.G., Bousman, C.B., Boyd, D.K., 1998. The Holocene phytolith record from Morgan playa in the rolling plains of Texas. *Plains Anthropologist*, 43(164), pp.187-200.

- Fujimoto, N. S. V. M., Strohaecker, T. M., Gruber, N. L. S., Kunst, A. V., Ferreira, A. H., 2006. Litoral norte do estado do Rio Grande do Sul: indicadores socioeconômicos e principais problemas ambientais. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, 13.
- Gyllencreutz, R., Mahiques, M. M., Alves, D. V. P., Wainer, I. K. C., 2010. Mid- to late Holocene paleoceanographic changes on the southeastern Brazilian shelf based on grain size records. *The Holocene*, 20(6): 863-875.
- Hagemann, A., 2016. Contribuições do manejo conservativo à conservação in situ de *Butia odorata* (Arecaceae) no Bioma Pampa. pp.93 Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (Ph.D. Tese).
- Hoffman, G.R., Arend, L.M., Silveira, J.C.B., Bellomo, H.R., Nunes, J.L., 1992. Rio Grande do Sul: aspectos da geografia. Porto Alegre, Martins Livreiro, 104 p.
- Hughes, M.W., Almond, P.C., Roering, J.J., 2009. Increased sediment transport via bioturbation at the last glacial-interglacial transition. *Geology*, 37(10), pp.919-922.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Mapa de Biomas do Brasil. Disponível em. Acesso em 10 outubro 2016.
- IBGE, 2011. Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil: Rio de Janeiro.
- Imbrie, J., Hayes, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.g., Prell, W.L., Shackleton, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine δO^{18} record. In: Berger, A. et al. (eds). *Milankovitch and Climate. Part I*. Riedel. P. 269-305.
- IPCC, 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Acessado em http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf
- Jones, R. L., Beavers, A. H., 1963. Some mineralogical and chemical properties of plant opal. *Soil Science*, 96(6), 375-379.
- Köppen, W., 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin, Leipzig: Walter de Gruyter, p. 388
- Leal, M.G., Lorscheitter, M.L., 2007. Plant succession in a forest on the lower Northeast slope of Serra Geral, Rio Grande do Sul, and the Holocene palaeoenvironments, Southern Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 21, 1–10.
- Leonhardt, A., Lorscheitter, M. L., 2010. The last 25,000 years in the Eastern Plateau of Southern Brazil according to Alpes de São Francisco record. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 454-463.

Li, R., Fan, J., Vachula, R.S., Tan, S., Qing, X., 2018. Spatial distribution characteristics and environmental significance of phytoliths in surface sediments of Qingshitan Lake in Southwest China. *Journal of Paleolimnology*, pp.1-15.

Lopes, R. P., 2013. Reconstituição paleo-climática e paleo-ambiental do Pleistoceno Tardio no sul da planície costeira do Rio Grande do Sul.

Lopes, R. P., Ribeiro, A. M., Dillenburg, S. R., Schultz, C. L., 2013. Late middle to late Pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 385-394.

Lorenzi, H.J., 2010. Flora brasileira: 'Arecaceae' (palmeiras). Instituto Plantarum.

Lorscheitter, M.L., 1992. Pollen registers of the South and Southeast regions of Brazil during the last 40,000 years. Palaeoclimatic changes and the carbon cycle. *Serie Geoquímica Ambiental* 1, 55–61.

Lorscheitter, M.L., 2003. Contribution to the Holocene history of Atlantic rain forest in the Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 5, 261–271.

Lorscheitter, M.L., Romero, E.J., 1985. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 3(1), pp.55-92.

Lu, H., Liu, Z., Wu, N., Berne, S., Saito, Y., Liu, B., Wang, L.U.O., 2002. Rice domestication and climatic change: phytolith evidence from East China. *Boreas*, 31(4), pp.378-385.

Luz, L.D., Kalinovski, E. C. Z., Parolin, M., de Souza Filho, E. E., 2015. Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitóitos. *Terrae Didática* 11-1, 2015

Macedo, R.B., Souza, P.A., Bauermann, S.G., Bordignon, S.A., 2010. Palynological analysis of a late Holocene core from Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), pp.731-745.

Madella, M., Alexandre, A., Ball, T., 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, v.96, p.253-260.

- Marchi, M.M., Barbieri, R.L., Sallés, J.M., da Costa, F.A., 2018. Flora herbácea e subarbustiva associada a um ecossistema de butiazal no Bioma Pampa. *Rodriguésia* 69(2): 553-560. 2018.
- Marret, F., Scourse, J.D., Versteegh, G., Fred Jansen, J.H., Schneider, R., 2001. Integrated marine and terrestrial evidence for abrupt Congo River palaeodischarge fluctuations during the last deglaciation. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 16(8), pp.761-766.
- Martinho, C. T., Dillenburg, S. R., Hesp, P. A., 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*, 256(1-4), 49-64.
- Masson, V., Vimeux, F., Jouzel, J., Morgan, V., Delmotte, M., Ciais, P., Hammer, C., Johnsen, S., Lipenkov, V.Y., Mosley-Thompson, E., Petit, J.R., Steig, E.J., Stievenard, M., Vaikmae, R., 2000. Holocene Climate Variability in Antarctica Based on 11 Ice-Core Isotopic Records. *Quaternary Research*, 54(3): 348-358.
- Medeanic, S., Cordozzo, C. V., Corrêa, I. C. S., Mirlean, N., 2008. Os fitólitos em gramíneas de dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade morfológica e importância nas reconstruções paleoambientais costeiras.
- Melo, M. L. D., Marengo, J. A., 2008. Simulações do clima do Holoceno médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(2): 191-205.
- Meunier, D.J., Colin, F., Alarcon, C., 1999. Biogenic silica storage in soils. *Geology*, 27(9), pp.835-838.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização – Portaria MMA n. 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson, M.E., 1998. *Pollen Analysis*. England, Blackwell, 216p.
- Netolitzky, F., 1900. Mikroskopische Untersuchung gänzlich verkohlter vorgeschichtlicher Nahrungsmittel aus Tirol. *Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs-und Genußmittel, sowie der Gebrauchsgegenstände*, 3(6), pp.401-407.
- Nimer, E., 1977. Clima. In: IBGE – Geografia do Brasil, Região Sul. SERGRAF-IBGE. Rio de Janeiro, p. 35-79.

Parr, J.F., Sullivan, L.A., 2005. Soil carbon sequestration in phytoliths. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(1), pp.117-124.

Pearsall, D.M., 1978. Phytolith analysis of archeological soils: evidence for maize cultivation in formative Ecuador. *Science*, 199(4325), pp.177-178.

Pearsall, D.M., 1982. Phytolith analysis: applications of a new paleoethnobotanical technique in archeology. *American Anthropologist*, 84(4), pp.862-871.

Pedrosa, A.S., 2014. O Contributo da Geomorfologia para a Compreensão Da Construção do Espaço Geográfico: Breves Reflexões. *Boletim Goiano de Geografia*, 34(3), 423-441.

Pereira, J. S. R., Parolin, M., dos Reis Monteiro, M., Caxambu, M. G., Rasbold, G. G., 2013. Caracterização das morfologias de fitólitos de *Butia microspadix* burret (Arecaceae). *Revista de Ciências Ambientais*, 7(1), 59-66.

Piperno, D. R., 1991. The status of phytolith analysis in the American tropics. *Journal of World Prehistory*, 5(2), 155-191.

Piperno, D.R. and Clary, K.H., 1984. Early plant use and cultivation in the Santa Maria Basin, Panama: data from phytoliths and pollen. In *Recent Developments in Isthmian Archaeology* (Vol. 212, pp. 85-121). British Archaeology Reports Oxford.

Piperno, D.R., 1985. Phytolith analysis and tropical paleo-ecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in New World plant domesticates and wild species. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 45(3-4), pp.185-228.

Piperno, D.R., 1989. The occurrence of phytoliths in the reproductive structures of selected tropical angiosperms and their significance in tropical paleoecology, paleoethnobotany and systematics. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 61(1-2), pp.147-173.

Piperno, D.R., 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologist and paleoecologists*. Oxford: AltaMira Press, 238 p.

Piperno, D.R., Clary, K.H., Cooke, R.G., Ranere, A.J. and Weiland, D., 1985. Pre-ceramic maize in central Panama: phytolith and pollen evidence. *American Anthropologist*, 87(4), pp.871-878.

- Rabassa, J., Coronato, A. M., Salemme, M., 2005. Chronology of the Late Cenozoic Patagonian glaciations and their correlation with biostratigraphic units of the Pampean region (Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 81-103.
- Ramírez, A.I.A, Rasbold, G.G., Parolin, M., Stevaux, J.C., 2019. Phytoliths and seeds in fluvial island. Paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). *Journal of South American Earth Sciences* 89.30-38
- Rasbold, G. G., Monteiro, M. R., Parolin, M., Caxambú, M. G., Pessenda, L. C. R., 2011. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) LH Bailey (Arecaceae). *Iheringia. Série Botânica.*, 66(2), 265-270.
- Rosa, M.L.C.D.C., Barboza, E.G., Abreu, V.D.S., Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2), pp.183-207.
- Rossato, M., 2007. Recursos genéticos de palmeiras nativas do gênero *Butia* do Rio Grande do Sul. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.
- Rossato, M., Barbieri, R.L., 2007. Estudo etnobotânico de palmeiras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p.997-1000.
- Roth, L., Lorscheitter, M.L., 1993. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Península* 8, 39–69.
- Rovedder, A.P.M., 2013. Bioma Pampa: relações solo-vegetação e experiências de restauração. In *Congresso Nacional de Botânica* (Vol. 64, pp. 46-53).
- Rovner, I., 1971. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary research*, 1(3), pp.343-359.
- Santos, C.P.D., Coe, H.H.G., Borrelli, N., Silva, A.L.C.D., Sousa, L.D.O.F.D., Ramos, Y.B.M., Silvestre, C.P., Seixas, A.P., 2015. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63(3), pp.255-270.

Sayago, J. M., Collantes, M. M., Karlson, A., Sanabria, J., 2001. Genesis and distribution of the Late Pleistocene and Holocene loess of Argentina: a regional approximation. *Quaternary International*, 76/77: 247-257.

Schellenberg, HC 1908 The remains of plants from the North Kurgan, Anau. In Pumpelly, R, ed, *Explorations in Turkestan 2*: 271–474. Washington, DC, Carnegie Institute.

Shackleton, N.J. & Opdyke, N.D., 1973. Oxygen isotope and palaeo-magnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V23-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes in a 10^5 and 10^6 years scale. *Quaternary Research*. 3:39-55

Silva Dias, P. L., Silva Dias, M. A., Braconnot, P., Turc, B., 2002. Evaluation of Model Simulation of 6k and Present Climate in South America. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 12. Foz do Iguaçu. Anais. São Paulo: USP, 2002.

Soares, K. P., Longhi, S. J., Witeck Neto, L., & Assis, L.C.D., 2014. Palms (Arecaceae) from Rio Grande do Sul, Brazil. *Rodriguésia*, 65(1), 113-139.

Souto, D. D., Lessa, D. V. O., Albuquerque, A. L. S., Sifeddine, A., Turcq, B. J., Barbosa, C. F., 2011. Marine sediments from southeastern Brazilian continental shelf: A 1200 Year record of upwelling productivity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(1-2): 49-55.

Stockmarr, J., 1971. Tablets with Spores used in Absolute Pollen Analysis. *Pollen et Spores*, 13: 615-621

Strahler, A.N., 1977. *Geografia Física*, 2 ed. Barcelona, Omega. 767 p.

Struve, G.A., 1835. De silicia in plantis nonnullis. Berolini: Diss. 30pp.. *Equisetum hiemalis*, *E. limosum*, *E. arvense* stems. Figs. *Arundo*, (& *spongia*). Tr8vo. Ch. *Pteridophyta*, *Poaceae Gramineae*, *Silica* (PMBD, 185003039).

Stute, M., Forster, M., Frischkorn, H., Serejo, A., Clark, J. F., Schlosser, P., Broecker, W. S., Bonani, G., 1995. Cooling of Tropical Brazil (5 degrees C) during the Last Glacial Maximum. *Science*, 269: 379-383.

Tomazelli, L.J., 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do RS, Brasil. *Pesquisas*, 20:18 – 26.

Tomazelli, L.J., Villwock, J.A., 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holtz, M., De Ros, L.F. (eds) Geologia do Rio Grande do Sul. Edições CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p.375-406

Tomazelli, L.J., Villwock, J.A., Rebello Dillenburg, S., Bachi, F.A., Appel Dehnhardt, B., 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. ANAIS-ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS, 70, pp.221-230.

Tomlinson, P. B., 1961. Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae. Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae.

Twiss, C., 1969. Dust deposition and opal phytoliths in the Great Plains. Transactions of the Nebraska Academy of Sciences, v.XI, n.special issue, p.73-82.

Twiss, C., 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: G. RAPP, J., MULHOLAND, S. C. (Ed.). Phytolith Systematics. New York: Plenum Press.

Villwock, J. A., Tomazelli, L. J., 2007. Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, 20.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas. CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, n 8, 45 p.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn F.N.O., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In International symposium on sea-level changes and quaternary shorelines (pp. 79-97).

5 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos no artigo intitulado “Holocene Paleoenvironmental and Paleoclimatic reconstruction of a native ecosystem in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, South Brazil, through multi proxy phytolith analysis”, submetido à revista Marine Geoscience

20/01/2019 Gmail - Successfully received: submission Holocene Paleoenvironmental reconstruction of a native ecosystem in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, South Brazil, through multi-proxy analysis for M...



Eduardo Trein Salgado <eduardotsalgado@gmail.com>

Successfully received: submission Holocene Paleoenvironmental reconstruction of a native ecosystem in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, South Brazil, through multi-proxy analysis for Marine Geology

1 mensagem

Marine Geology <Evisesupport@elsevier.com>
Responder a: margo-ee@elsevier.com
Para: eduardotsalgado@gmail.com

20 de janeiro de 2019 21:25

This message was sent automatically.

Ref: MARGO_2019_39

Title: Holocene Paleoenvironmental reconstruction of a native ecosystem in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, South Brazil, through multi-proxy analysis
Journal: Marine Geology

Dear Mr. Trein Salgado,

Thank you for submitting your manuscript for consideration for publication in Marine Geology. Your submission was received in good order.

To track the status of your manuscript, please log into EVISE® at: http://www.evise.com/evise/faces/pages/navigation/NavController.jspx?JRNL_ACR=MARGO and locate your submission under the header 'My Submissions with Journal' on your 'My Author Tasks' view.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Marine Geology

Have questions or need assistance?

For further assistance, please visit our [Customer Support](#) site. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about EVISE® via interactive tutorials. You can also talk 24/5 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

Copyright © 2018 Elsevier B.V. | [Privacy Policy](#)

Elsevier B.V., Radarweg 29, 1043 NX Amsterdam, The Netherlands, Reg. No. 33156677.

Holocene Paleoenvironmental reconstruction of a native ecosystem in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, South Brazil, through multi-proxy analysis

Eduardo Trein Salgado ^{a*}, Ana Maria Pimentel Mizusaki ^{a**}, Karina Ferreira Chueng^b, Heloisa Helena Gomes Coe^{b,c}, Andreia Cardoso Pacheco Evaldt ^d, Soraia Girardi Bauermann ^d

^a Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) - Instituto de Geociências, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

^b Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense, Av. Gen. Milton Tavares de Souza s/nº, Niterói, Rio de Janeiro, 24210-346, Brazil

^c Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rua Dr. Francisco Portela, 1470, São Gonçalo, Rio de Janeiro, 24435-005, Brazil.

^dLaboratório de Palinologia, Universidade Luterana do Brasil, Av. Farroupilha, 8001, Canoas, Rio Grande do Sul, Brazil.

* corresponding author Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) - Instituto de Geociências, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. eduardotsalgado@gmail.com

** CNPq researcher

Declarations of interest: none

Abstract

The “Butiazal de Tapes” region is located in the west shore of Patos Lagoon, south Brazil and presents a remnant of a native ecosystem known as “butiazal”. It is characterized as a savanna dominated by a palm tree from the genus *Butia*, and it is spread throughout south Brazil, Uruguay and Argentina. Species from this genus are threatened by monoculture and livestock. In this region there are Pleistocene coastal deposits outcrop, which have been exposed to Holocene climate under the influence of Patos Lagoon, so it is an excellent place for a paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction of the past 11,000 years. In order to do this reconstruction – and to understand how such a unique ecosystem has been formed – tools such as bioindicators (phytoliths and palynomorphs), X-ray diffractometry analysis, particle size analysis, carbon 14 AMS dating and stable carbon isotope analysis were used. It has been identified indications of the presence of *Butia* in the region at least from 11,125 – 10,751 yr cal BP, and the importance of the climate over its formation and expansion. Although the climate changes in the analyzed interval were not expressive, it was possible to divide the profile into 6 zones according to their plant cover and see the influence of sea level shifts during the Holocene on the evolution of the paleoenvironment of this region, apart from some evidences of human influence over the vegetation evolution.

Key words

Patos Lagoon, Phytoliths, *Butia*, Pollen, Anthropic Management, Quaternary

1. INTRODUCTION

Quaternary climatic evolution in Brazil has been the target of a significant amount of studies in recent years (Martinho et al., 2008; Medeanic et al., 2008; Lopes, 2013; Lopes et al., 2013; Coe

et al., 2017), since this type of information is important in the planning of land use and occupation, environmental management, understanding of paleoenvironmental evolution and of the first human settlements. In Brazil, a quarter of the population and most part of the densest populated cities are in the coastal region (IBGE, 2011), so these areas are the most studied to this matter (see references above).

The objective of this work is to make a paleoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of the “Butiazal de Tapes”, located in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) in southernmost Brazil (Fig. 1). In this place there is a remnant of a native ecosystem known as “butiazal”, which is characterized as a tree savanna dominated by a species of the genus *Butia*, which is part of the Arecaceae family (in “Butiazal de Tapes” the species is *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick palm, figure 2a) and it is commonly invaded by forest communities when the climate becomes warmer and wetter, and is, therefore, a very favorable environment for evaluating subtle changes in the climate (de Lourdes et al., 2007).

This area is of great interest since it's very close to the Patos Lagoon (Fig. 2a), which is one of the biggest lagoons in the world (Kjerfve, 1986) and because *Butia* palm is threatened by monoculture and livestock (Rossato, 2007; Rossato and Barbieri, 2007). There is also an archaeological interest, since localities of occurrence of the "butiazal" ecosystem in the south of Brazil and Uruguay have been considered archeological sites. The cultural importance of this plant for the native people of South America is evidenced by some archaeological tools found from time to time that were used to eat parts of the palm's fruit and some *Butia* nuts were found burned on archaeological sites (Mazz, 2001; Iriarte and Paz, 2009; Iriarte et al.2016; Mazz et al., 2014).

2 REGIONAL SETTING

2.1 Geological background

The “Butiazal de Tapes” is located in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) which is the emerging portion of Pelotas Basin in the State of Rio Grande do Sul, South Brazil (Rosa, 2012) (Fig. 1). The Pelotas Basin is a subdivision of the South American continental margin. Its basement is formed by rocks that belong to the Uruguayan-Sul-Rio-Grandense Shield, to the Santa Catarina Shield and to Paraná Basin sedimentary and volcanic sequences (Rosa et al., 2017).

The sedimentary deposits of the CPRS are constituted by a system of alluvial fans – in its westernmost portion, near the basement – and by sediments of four depositional lagoon-barrier systems (Holocene Barrier IV, Pleistocene Barriers I, II and III in figure 1), which have transgressive-regressive cycles with predominantly glacioeustatic control (Villwock et al., 1986). The “Butiazal de Tapes” substrate is the Pleistocenian Barrier I. Using the oxygen isotope stages curve of Shackleton and Opdyke (1973) and Imbrie et al. (1984), ages were suggested for the four lagoon-barrier systems, as can be seen below (Rosa et al., 2017):

- Pleistocene Barrier I: 325,000 yr BP
- Pleistocene Barrier II: 230,000 yr BP
- Pleistocene Barrier III: 125,000 yr BP
- Holocene Barrier IV: 8,000 yr BP

2.2 Climate in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) during the Holocene and Late Pleistocene

At 18,000 years BP the Last Glacial Maximum (LGM) was at its peak and the CPRS was at its maximum regression, with the sea level 110 m below the present, which contributed to a lower humidity in the region (Villwock et al., 1986). At the end of the Pleistocene, more exactly between 16,000 and 12,500 years BP, the CPRS was under a semi-arid climate (Lorscheitter and Romero, 1985; Lorscheitter, 1992, 2003; Leal and Lorscheitter, 2007). At 16,000 years a

cooler and drier climate began to prevail over Rio Grande do Sul, and the influence of the LGM became more pronounced after 14,000 years BP (Leonhardt and Lorscheitter, 2010).

From 12,500 years BP a warmer and humid climate began to predominate on CPRS, a tendency that was more remarkable between 11,000 and 9,700 BP (Leonhardt and Lorscheitter, 2010). This pattern could be seen in palynological studies in Cambará do Sul, South Brazil (Roth and Lorscheitter, 1993), CPRS (Lorscheitter, 1992, 2003; Leal and Lorscheitter, 2007) and Serra de Santa Catarina, in the state next to Rio Grande do Sul (Behling, 1995). Between 9,700 and 6,500 years BP there was a decrease in humidity, although the weather remained warm, especially from 7,500 years BP. Between 8,000 and 4,000 BP there was a significant decrease in palynological records in the CPRS due to the Holocene marine transgression event that happened in CPRS (Leonhardt and Lorscheitter, 2010).

2.3 Ecological background: The “Pampa” Biome

The “Pampa” Biome, in which “Butiazal de Tapes” is inserted, presents a great variety of plant formations, such as fields, seasonal forests and pioneer formations (Heiden and Iganci, 2009). In Brazil this biome occupies a surface of 178,243 km², 2.07% of the country’s territory (MMA, 2007), and extends through Uruguay and Argentina. The climate of the region occupied by the “Pampa” Biome is Cfa, according to the classification of Köppen (1931), which corresponds to a humid temperate climate with hot summer. This setting is favorable to the expansion of forest formations, which are restricted to fluvial channels, rock outcrops and elevations. A theory for the control of the field-forest transition is the anthropic activity, both livestock - dominant economic activity in the area where the “Pampa” Biome dominates - and fire management (activity developed since pre-Columbian periods) (Müller, 2005).

“Butiazal de Tapes” is an interesting location for studying this Biome since it shows its interaction with the coastal plain. Marchi et al. (2018) recorded 261 herbaceous and sub-shrub species in “Butiazal de Tapes”, equivalent to 10% of the total species of this type for the

“Pampa” Biome (Boldrini et al., 2011), making this place a hotspot for paleoenvironmental studies and native ecosystem conservation.

3. METHODS

In order to fulfil the objectives of this study, a 2 m depth sediment core was sampled through a Russian Sampler (Fig. 2b), following the methodology proposed by Moore et al. (1998). The collect point was a wet land dominated by Poaceae e Cyperaceae (Fig. 2b), but surrounded in all directions by woody dicotyledons and *Butia* (Fig. 2a). This setting was taken into account when doing the interpretation of the bioindicators. The core was divided into 20 samples, and they were analyzed for: the content of phytoliths and palynomorphs, granulometry, X-Ray diffraction (XRD) to identify the fine fraction mineralogy, organic matter content and two samples were dated by C14 method and had they carbon stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) analyzed.

3.1 Phytolith Analysis

Phytoliths are biomineralizations of silica or calcium (in this work it has been used only the silica ones) that work as an excellent proxy for paleoenvironmental and paleoclimatic reconstitutions (Fredlund et al., 1998; Alexandré et al., 1999; Lu et al., 2002; Bremond et al., 2005; Coe, 2009; Coe et al., 2013, 2017). Phytoliths assume the shape of the cell in which they are formed and it is possible to identify different morphologies called morphotypes (Coe et al., 2013).

Arecaceae family, which *Butia* is part of, is very suitable for this technique since it produces a typical phytolith morphotype: globular echinate (Fig. 3h), which can be used as a diagnostic proxy (Tomlinson, 1961; Barboni et al., 2010; Coe et al., 2013; Aleman et al., 2014; Santos et al., 2015). Bromeliaceae family also produces this kind of phytolith (Piperno, 1985), but it is possible to differentiate between the globular echinate of this family and that of the Arecaceae one (Piperno, 2006). There are studies that proceeded phytolith extraction on species of the

Butia genus and found globular echinate as the major component of the assemblage (Rasbold et al., 2011), representing up to 98 % of the phytoliths produced in all parts of the plant (Pereira et al., 2013).

For the phytolith extraction, approximately 50 g of each of the 20 sample are oven dried at 60° C, macerated and sieved until approximately 10 g of dry sediment less than 2 mm is obtained. Subsequently the carbonates, if present, are dissolved with hydrochloric acid and calcium chloride and the organic matter is burned with hydrogen peroxide, a solution of nitric acid and sulfuric acid; then the samples are bleached with sodium hypochlorite, the iron is solubilized with sodium citrate and sodium dithionite and finally the clays are removed using hexametaphosphate and EDTA (deflocculant). Then the slides are prepared with Entellan[®], one for each sample, and the phytoliths are identified and counted. This procedure was performed at Laboratório de Microscopia Óptica e Morfoscopia (LAMON) at Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ).

3.1.1 Phytoliths counting and Phytolith Indices

The counting procedure consists of the reading of three transects for each slide in an optical microscope with a 630 x magnification level, phytoliths are identified according to the International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) (Madella et al., 2005). Those that, due to their degree of alteration, were not in conditions of identification were counted as unclassified. Charcoal particles and megascleres of sponge spicules were also counted.

Phytolith indices were determined, using the percentage of each morphotype in each sample, but only if that kind of phytolith represents more than 5 % of the total in the analyzed sample. For instance, the Pa/P index (that indicates the abundance of palms in the environment) is given by the relation between globular echinate morphotype, typically produced by the *Arecaceae* family (Madella et al., 2005), and the phytoliths produced by grasses, that is, it gives the

proportion between Arecaceae e Poaceae. Phytolith indices give a more significant meaning to paleoenvironmental interpretations (Bremond, 2003). The following equations have been used (Coe et al., 2013):

1) D/P Index (woody dicotyledons / Poaceae): indicates the density of tree cover (Eq.1).

$$\text{Eq.1: } D/P = \text{globular granulate} / (\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform})$$

2) Pa/P Index (Arecaceae / Poaceae): indicates the Arecaceae abundance (Eq.2).

$$\text{Eq.2: } Pa/P = \text{globular echinate} / (\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform})$$

3) Bi% Index: indicates how much water stress the plants have been submitted to (Eq.3)

$$\text{Eq.3: } Bi (\%) = [(\text{bulliform} / (\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform}))]$$

4) Ic% Index: indicates adaptation to minimal temperature or to high Carbon dioxide partial pressures (pCO₂) (Eq.4).

$$\text{Eq.4: } Ic (\%) = [(\text{rondel} + \text{polylobate} + \text{trapeziform}) / \text{short cells}] \times 100$$

3.2 Palynology

In order to identify if the Arecaceae detected by the phytolith analysis is from the *Butia* genus, palynology has been used. It consists in identifying the palynomorphs in the sample and is widely used as a tool for paleoenvironmental reconstructions (Cordeiro and Lorscheitter 1994; Neves and Lorscheitter 1995; Lorscheitter and Dillenburg 1998; Prieto et al., 1999; Grala and Lorscheitter 2001; Lorscheitter 1997, 2003; Bauermann et al. 2010; Radaeski et al., 2014). The samples were treated through the methodology proposed by Faegri and Iversen (1989), following a sequence of chemical reagents that are used in order to concentrate the

palynomorphs. At first HF and HCL were used to remove the silicates, then the carbonates were removed with humic acids and KOH. The material was then dehydrated with glacial acetic acid, and an acetolysis (anhydrous acetic acid (CH₃CO)₂ + sulfuric acid (H₂SO₄)) was proceeded in order to clarify the exine. Finally, four slides of each of the 20 samples were made using gelatin-glycerine.

For the present work only pollens of the genus *Butia* were identified, so the variation of its abundance throughout the profile could be evaluated. In order to do so, two tablets of Lycopodium were added to each sample unit, thus obtaining the pollen concentration (number of grains / cm³) (Stockmarr, 1971). The analysis was performed in the Laboratório de Palinologia at Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

3.3 Total Organic Carbon and Granulometry

For both analyses the dried samples were macerated, homogenized and sieved. The granulometric analysis was proceeded with a Horiba Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer LA-950[®] in the Laboratório de Sedimentologia at Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) and the results are presented as percentage of silt and mud because these fine grain sizes are important for phytolith concentration (Rovner, 1971; Li et al., 2018) and to pollen concentration (Evaldt et al., 2012). In order to determine the total organic carbon (TOC), first the samples are weighted, then treated with HCl 6N (1:1) and left resting for 24 hours. They were then repeatedly washed with distilled water until the yellowish color from the HCl was gone, and then they were dried in an oven at 70°C for 3 hours, cooled down and weighted again. The TOC analysis has been performed in the ITT Fóssil at Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos).

3.4 Radiocarbon Dating and Carbon Stable Isotopes Analysis

The dating of samples 15 and 20 was performed by the AMS methodology in the laboratory Beta Analytic, Inc. (Florida, USA). The preparation consists of first soaking the sediment and separating, with a sieve, the portion smaller than 180 micrometers and treat it with 1.25 N HCL (10% HCl) to remove the carbonates. This treatment, which is carried out in a hot plate at 80°C, is repeated until all carbonates have been removed. The resultant material is then washed with deionized water, dried in an oven at 80°C and then is ready for the dating and stable isotopes analysis following conventional procedures.

3.5 X-Ray Diffraction

The preparation of the samples followed the procedures described by Brown and Brindley (1980) and Alves (1987), and the slides were submitted to three preparations where three results are obtained (normal, gliocolated and calcinated), in order to identify the clay minerals, since their physicochemical properties have different responses to the treatments performed. The equipment used for the analyzes was a diffractometer, model Diffraktometer Siemens BrukerXS D5000, equipped with copper anode, nickel filter, slits of 1°, 40 mA of current and 30 KV of tension of the beam.

4. RESULTS

4.1 Organic Matter Content and Granulometry

As expected, the most superficial sample has the highest organic matter content (1.19%). The values range from 1.19% (sample 1) to 0.23% (sample 20) (Tab. 1 and Fig. 4). Concerning granulometry, the percentage of fine particles varies through the profile, but never goes beyond 36%, so the profile tends to be sandy (Tab. 1 and Fig. 4). This percentage of finer granulometry

is similar to that of the Pleistocenic Barrier I, which is sometimes greater than 15%, being characteristic of those deposits in relation to the other barriers in the CPRS. Its origin is from pedogenetic alteration and infiltration of clay (Arienti, 1986).

4.2 Palynology

The pollens were very weathered and there were not much *Butia* pollens preserved. They could be found in five out of twenty samples (Tab. 1 and Fig. 4), that is mainly due to the percentage of sand in the samples (Evaldt et al., 2012). The interval between samples 20 and 16 was under the influence of the Holocene marine transgression (Lorscheitter, 2003), so there was no pollen data preserved. At sample 15, when the Holocene transgression has diminished its influence (see discussions), there was the only *Butia* pollens found in depth, so we can affirm that there was *Butia* in the region at least since the period of deposition of this sample (4,154 – 3,960 yr cal BP).

Between samples 14 to 5 there was no *Butia* pollen, and this can be due to sediment grain size, since samples in this interval have – with a few exceptions – more arenaceous granulometry, which is not favorable for pollen preservation (Stukins et al., 2017). Besides, Pa/P values (which indicates the abundancy of Arecaceae) are in general lower in this interval (Tab. 1 and Fig. 4), so there was less *Butia* in the environment. Sample 12 draws attention for having a relatively greater percentage of silt and mud and a high value for the Pa/P index. However, it has the highest proportion of unclassified phytoliths, indicating a low preservation rate for phytolith (see section 3.4), condition that may have act in the palynomorphs preservation as well. In the intervals where *Butia* pollen could not be identified, there was little palynological data from all taxa, so this absence does not mean there was no *Butia* in the environment.

As expected, the most superficial sample was the one where more pollen was found, since it is the youngest one and have been little exposed to weathering. Sample 4 have the second biggest

percentage of *Butia* pollen, and it has the highest value for Pa/P index, so this sample can be interpreted as a significant expansion of the “butiazal”.

4.3 Charcoals, Phytoliths and Sponge Spicules Stock

Charcoals were found in almost all but the most superficial sample, ranging from more than 100 (in samples 2, 6, 12, 18 and 20) to only 4 fragments in sample 5 (Tab. 1 and Fig. 4). In all the samples megascleres of sponge spicules were observed, indicating the presence of water all through the analyzed period, with a remarkable peak in sample 7 (89 pieces were counted).

The quantity of phytoliths observed was elevated throughout the profile, with some deeper samples having more phytoliths than some nearer the surface, different from the typical tendency of a phytolith sequence, which is an exponential decrease towards the bottom of the profile (Alexandré et al., 1997). The maximum stock was observed in samples 9 and 2 and the minimum in samples 7, 5 and in the most superficial. From sample 1 to 2, there is a decrease in the quantity of fine grains and a rise in the depth, what would lead to a decrease in the stock of phytoliths. Nevertheless, is not what happened: the amount of phytoliths more than doubles. The hypothesis raised in this study for this abnormality is that there was an increase in the area of the wet land, significantly increasing the coverage by Poaceae and Cyperaceae, which are great phytolith producers (Coe, 2017). This hypothesis is supported by the fact that there is a significant increase in the number of spicules (Tab. 1 and Fig. 4), which is an indicator of the presence of water (Long et al., 2014).

This concomitant increase in total phytoliths and number of spicules also occurs in samples 12 and 9. However, another factor may have contributed to the growth of the phytolith stock in these points: the percentage of fines. Because phytoliths sizes are generally between silt to fine sand, coarser granulometry tends to let phytoliths percolate to deeper layers (Rovner, 1971; Li et al., 2018). Both samples 12 and 9 have a relatively high percentage of fine grains and are

underlying layers with a significantly lower percentage of fines, acting as "barriers" for percolating phytoliths.

As discussed at the beginning of this section, an exponential decrease of phytolith stock with depth is expected. However, in the interval between samples 15 and 20, there is a maintenance and even increments of the amount of phytoliths, although the number of spicules shows a decrease almost constant from sample 12 down. This anomaly in the quantity of phytoliths can be explained by the granulometry, since from the sample 15 there is a significant increase in the percentage of fines, all the six deepest samples being the only ones that have more than 26% of fine grains. This increase in fine sediments can be correlated to the marine transgression of the Holocene, since sample 15 is dated at 4,154 – 3,960 yr cal BP which is synchronous with the end of the transgressive period (Lorscheitter, 2003).

4.4 Phytolith Preservation

In general, the phytoliths were well preserved, even in depth. Some phytoliths were found weathered or broken, thus the identification of their morphotypes was not possible, so they were categorized as unclassified. The relationship between classified and unclassified phytoliths is an indication of the preservation rate of a phytolith assemblage. In the samples analyzed the percentage of classified is variable: ranging from 48 % in sample 12, to 84 % in sample 2 (Tab. 1 and Fig. 4).

4.5 Phytolith Types

The phytolith assemblage was deeply dominated by Bulliforms and the presence of short cells phytoliths is constant, what would be expected about a wet land with Poaceae and Cyperaceae coverage. Some globular echinate and granulate, respectively typical of Arecaceae and woody dicotyledons, were found in all samples, suggesting the existence of the bush of dicotyledons and *Butia* trees around the wet land through the whole period covered by the profile (Fig. 2b).

4.6 Phytolith Indices

The Pa/P index expresses the density of palms in relation to that of grasses (Coe et al., 2013). In spite of being a “butiazal”, as the collecting point was a wet land dominated by Poaceae and Cyperaceae, the Pa/P index was low throughout the profile (0.19 to 0.05). The same happened with D/P index, which presented low values (between 0.04 and 0.2).

The Bi% index (water stress) was medium to high all through the profile (between 50 and 82%), which was expected in a flooded region. This is further evidence to support the constant presence of water at the collection point during the time covered by the profile. Variations in Bi% values may indicate changes in the extent of the flooded area (Tab. 1 and Fig. 4).

The Ic% index indicates low temperatures, that is, the higher the value of the Ic%, the lower the temperature (Twiss, 1992). The values of this index show a decrease from base (63-89%) to top (40%), which points to a rise in temperature. (Tab. 1 and Fig. 4).

4.7 X Ray Diffraction, ^{14}C Dating and $\delta^{13}\text{C}$

The XRD was performed on samples 04, 12, 15 and 20, and show clear peaks of quartz, what would be expected, since the studied area is on a quartz-rich Pleistocene barrier. There are also peaks indicating the presence of kaolinite in the four samples, suggesting that the sediment has been undergoing lixiviation under a humid condition, one more evidence for the continuity of the flooding situation in the collecting point. There are also, on the four analyzed samples, indications of trace illite. This composition is similar to that of the Pleistocene Barrier I, which has as the main clay minerals those from the kaolinite family and a quartzofeldspathic composition (Arienti, 1986).

Two dates were obtained through ^{14}C AMS for samples 15 (4,154 – 3,960 yr cal BP) and the most basal one, sample 20 (11,125 – 10,751 yr cal BP). The $\delta^{13}\text{C}$ of those samples was also obtained and the results were -19.0 ‰ for sample 20 and -18.6 ‰ for sample 15 indicating, in both cases, a mixture of plants C3 and C4 (Rabenhorst et al., 1984).

5. DISCUSSIONS

Although there were no significant variations in the phytolith analysis along the profile, it was possible to delimit some areas where changes stood out. The divisions took into account general trends and had as its guideline the D/P index, almost always associated with the Pa/P index. In addition, in each of the zones the results of the other analyzes were observed.

As the collection area is a wet land covered by Poaceae and Cyperaceae, low values of D/P were expected, since this index measures the relationship between the diagnostic phytolith of woody dicotyledons (globular granulate) and grass phytoliths (Coe et al., 2013). The results confirmed the expectation, showing, together with the constant presence of spicules and kaolinite, that the collection point during the entire analysis time was always flooded.

Zone 1: 200 to 190 cm depth (samples 20 and 19):

The most basal zone presents the highest values for the D/P index, and a value among the highest for the Pa/P index in sample 20. Bi is moderate (60-65%) and Ic is relatively high (almost 89%), indicating a more humid and colder environment than the current one for the region. The stock of phytoliths is elevated, being even higher than in the surface, which can be attributed to the finer grain size, as explained above, as well as to the higher humidity. The base of this zone was dated at 11,125 – 10,751 yr cal BP, agreeing studies in the region (Lorscheitter, 1992, 2003; Leal and Lorscheitter, 2007; Leonhardt and Lorscheitter, 2010) which indicate an expansion of forests in a region close to the “Butiazal de Tapes” between 11,000 and 9,700 years BP.

Although there was no *Butia* pollen in this zone, we can raise the hypothesis, through the continuous Arecaceae family phytolith indicators, that the *Butia* has been in this region at least from the Early Holocene. The poor preservation of all pollen taxa below sample 15 is evidence

that all palynomorphs were eroded, including those of *Butia*, hence the absence. Nevertheless, more studies are needed to elucidate this issue.

Zone 2: 190 to 182 cm depth (sample 18):

Although D/P values remain consistently low throughout the profile, a diminish trend from bottom to top can be observed. In this zone a significant reduction in the D/P ratio (0.08) and a less expressive reduction for the Pa/P could be observed. Bi index indicates more water stress and temperature seems to have risen, since there was a decrease in the Ic index. In addition, there is an increase in the amount of charcoals, which may be the result of a drier environment (Lenihan et al., 2003; Müller, 2005). These results are similar to those found by Leonhardt and Lorscheitter (2010), who defended that the diminish of taxa on the coast is a result of the last transgression, so Zone 2 can be correlated to this event.

Zone 3: 182 to 102 cm depth (samples 17 to 11):

The D/P index (which is invariably greater than in the previous zone) can be used to subdivide this zone into two moments. The first one, which goes from sample 17 to 15 (the latter having been dated as 4,154 – 3,960 yr cal BP), presents regular values for this index (0.13 and 0.14) and also presents a greater amount of spicules than Zone 2, indicating an increase in moisture. In a second moment (between samples 14 and 11) a deepening of these changes occurs, with the D/P index and the spicules stock increasing relative to the base of Zone 3, showing an even moister environment. Macedo et al. (2010) and Leal and Lorscheitter (2007) argue that after 4,000 yr BP there was a desalination of the soil in the CPRS, due to the Holocene regression, allowing the advance of the forest.

The increase in data indicating a more humid environment (spicules and D/P index) was accompanied by an increment in the quantity of charcoal particles. Sample 12 is the third richer in spicules, but it has the biggest amount of charcoal particles, that are generally linked to dry climate (Lenihan, 2003; Müller, 2005). The hypothesis raised in this work is that the increase

in charcoal is not related to climate change but to human activity. Increases in charcoal not linked to dry climate are often associated to human activity (Behling and Safford, 2010).

The values of Bi% show a decreasing trend towards the top, reaching the lowest value in the whole profile: 47.7% in sample 11. The Ic% index has variations, but maintaining values relatively high, indicating a colder period. As defended by Hays and Pitman (1973) the biggest ocean surface caused by transgressions tends to maintain locally the heat better than the lithosphere or the atmosphere. So, after the marine transgression of the Holocene described by Villwock et al., (1986) (which is being correlated to Zone 2 in this study) diminishes its influence, more continental surface was exposed leading to a decay of the temperatures towards the top of Zone 3.

It is worth mentioning that, in sample 15 (4,154 – 3,960 yr cal BP) some *Butia* pollens were found, coinciding with one of the highest Pa/P indexes of the profile (0.16), suggesting that there was *Butia* in the region at least from this age. The preservation of these palynomorphs (the only ones found in depth) coincides with one of the highest percentages of fine sediments in the profile. From this depth to the top the particle size tends to become coarser and the pollen will only be observed again close to the surface.

Lorscheitter (2003) did a synthesis of studies in the CPRS focused on vegetation and climate history in the Holocene, which have found conclusions similar to those in the zones explained above. These studies (Cordeiro and Lorscheitter 1994; Neves and Lorscheitter 1995; 1997; Lorscheitter and Dillenburg 1998; Prieto et al. 1999; Grala and Lorscheitter, 2001; Lorscheitter ,1997, 2003) basically identified 3 moments:

1 – Early Holocene (10,000 – 8,000 yrs BP): presence of Atlantic rain forest (*stricto sensu*) components throughout the CPRS. It is possible to correlate this stage with Zone 1 in the present study.

2 – Holocene Transgression (8,000 – 4,000 yrs BP) a negative influence of the transgression upon the coastal vegetation. This moment can be linked to Zone 2 of this study.

3 – After the Last Marine Regression (4,000 – 2,000 yrs BP): there was an important hole of the lowland plants in the recolonization of the coast. This can be correlated to Zone 3, specially between samples 14 and 11.

Zone 4: 102 to 55 cm depth (samples 17 to 11):

The values of D/P and Pa/P are relatively lower at the base, with higher values at the top of the zone. The Bi% index shows higher values than in the zone below and remains relatively stable, indicating a period of greater water stress. In sample 7 a significantly larger amount of spicules (89) was observed than at any other point in the profile, indicating an increase in the water depth of the wet land, and may have caused a retreat of the “butiazal”. In this same sample the value of Bi% index is the highest in Zone 4, indicating a big water stress caused by the raise of the water depth. The raise of humidity is signaled in this sample by the spicules, the D/P index (which is the biggest in this zone) and the small amount of charcoal particles. This remarkable variation in humidity can be correlated to the El Niño events, that started to act over South America in the last 5,000 years and are responsible for this kind of fluctuation in the climate (Martinho et al., 2008; Ybert et al., 2001) which caused strong storms in South Brazil (Macedo et al., 2010).

Zone 5: 55 to 44 cm depth (sample 5):

Zone 5 points again to an even drier environment, with a great reduction in the D/P and Pa/P indices (the lowest in the profile), an increase in water stress (highest Bi in the profile), a decrease in the stock of phytoliths and spicules of sponges (Tab. 1 and Fig. 4). Of note is the fact that in the above zone there is an increase in D/P and an even more significant increase in the Pa/P index, going from the lowest value in sample 5 to the highest value in sample 4, leading to the formulation of two hypotheses to explain this striking variation. The first one points to an increase in moisture in Zone 5, expanding the wet land area, which increases the amount of

grass phytoliths reducing both D/P and Pa/P values. This increase in moisture is described in the literature for the region over the last four thousand years (Leonhardt and Lorscheitter, 2010), which would, besides causing the increase of the flooded area, favor the advance of forests on ecosystems such as the “butiazal”, explaining why the D/P index was less affected than the Pa/P in sample 5 (Hagemann, 2016).

Another hypothesis points to anthropic intervention. In samples 6, 5 and 4 (Tab. 1 and Fig. 4) it is possible to see a charcoal peak, followed by an important decrease in the Pa/P and D/P index, succeeded by an expressive increase of the Pa/P value, respectively interpreted as a fire, then a vegetation clearance and finally a palm tree peak. A pattern similar to this has been linked to human intervention (Watling et al., 2017). Further studies are needed to address this issue.

Fire is described as a very important factor in the maintenance of field vegetation, which is the case of the “butiazal”, and in the absence of this factor - along with grazing which is another essential factor - there is a thickening of shrubs in the fields, when they are close to forest vegetation (Müller, 2005). In other words, according to this second hypothesis, the palm trees would tend to develop more (high Pa/P index and *Butia* pollen in sample 4) after a fire than the woody ones. Although there was an increase in the D/P ratio from sample 5 to 4, it was less expressive than the increase in the Pa/P index. This pattern is not, however, observed in any of the other charcoal accumulations throughout the profile.

Zone 6: 44 to 0 cm depth (sample 4 to 1)

In this zone the environment becomes more humid, although still maintaining the tendency of tree cover decrease in relation to the base. From sample 4 up there seems to have been an expansion of the “butiazal”, since *Butia* palynomorphs were found as well as there was the highest Pa/P index of the profile. The Ic% index shows that the temperature raised consistently during the period covered by this zone, reaching the smallest value of this index in sample 1 (40).

Sample 2 have a pattern similar to sample 12. There was an increase in the number of spicules (indicating a moister environment) and in the quantity of charcoal particles, typical of dry climate. The hypothesis raised to both samples is that anthropic management have been responsible for this expressive amount of charcoal particles, since natural fires are not common in humid settings.

6. CONCLUSIONS

Although the climate changes have not been expressive during the last 10,000 years for the region, through the analysis we can observe some variations that can be correlated to the Holocene eustatic shifts. The possibility of evaluate the variations in sea and freshwater bodies level through bioindicators is explored in different settings (Laborel, 1986; Laborel and Laborel-Deguen, 1994; Bracco et al., 2005; Stutz et al., 2010).

The objectives of the present work were fulfilled with the tools that have been applied. It was possible to do a paleoenvironmental reconstruction of the “Butiazal de Tapes”, and we could see that the climate influences significantly in this ecosystem, which makes it an excellent study object to understand the Holocene climate in the coast. Some other paleoenvironmental researches have been lead in other places of occurrence of the “butiazal” ecosystem (Iriarte and Paz, 2009; Iriarte, 2006; García-Rodríguez et al., 2010; Mourelle and Prieto, 2016; Patterer et al., 2017).

Through the pollen data obtained in this work it is possible to affirm that the “butiazal” ecosystem has been at least since 4,154 – 3,960 yr cal BP in the region. The Pa/P index, however, indicates that the “butiazal” ecosystem that exists in “Butiazal de Tapes” today may have been there since the Early Holocene (11,125 – 10,751 yr cal BP) as there is a continuity of the presence of *Arecaceae* family in the environment through all the profile. This

information, which is unprecedented for the paleoenvironmental reconstructions in Rio Grande do Sul, has a big relevance due to the environment interest in the “butiazal” ecosystem.

It is important to emphasize the impact of the anthropic factor in paleoclimatic and paleoenvironmental interpretations, and it is necessary to separate them from the so-called "natural causes" (Macedo et al., 2010). But it is also important to remember human activity as a result of the evolution of the paleoenvironment (Compton, 2011) and its importance as an agent of this evolution (Price et al., 2011, Anthony et al., 2014). In the present work we found evidences that raised the hypothesis of human intervention in two moments: first when the amount of charcoal increased coupled with an increase in wetness. This indicates that fires may not have occurred due to the climate, since they occur more in dry climates (Lenihan, 2003; Müller, 2005). The second moment was when there was evidences of a fire, followed by a vegetation clearance and succeeded by a *Arecaceae* peak, which have a pattern similar to that Watling et al. (2017) have interpreted as human intervention. Further studies are needed to elucidate this issue. The present work was a pioneer in the region and hopefully can aid future research.

ACKNOWLEDGMENTS

The first author is grateful to all who contributed to this work, in particular thanks to Carmen Heller Barros for all the tireless support and to Sarah Domingues Fricks Ricardo for helping with the figures. Special thanks are due to Capes for grant awarded at the period of the master degree.

REFERENCES

1. Aleman, J. C., Canal-Subitani, S., Favier, C., Bremond, L., 2014. Influence of the local environment on lacustrine sedimentary phytolith records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 414, 273-283.

2. Alexandré, A., Meunier, J.D., Lézine, A.M., Vincens, A., Schwartz, D., 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136(1-4), pp.213-229.
3. Alexandré, A., Meunier, J.D., Mariotti, A., Soubies, F., 1999. Late Holocene phytolith and carbon-isotope record from a latosol at Salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research*, 51(2), pp.187-194.
4. Alves, D.B., 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no centro de pesquisas da PETROBRAS. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 1.
5. Anthony, E.J., Marriner, N., Morhange, C., 2014. Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase?. *Earth-Science Reviews*, 139, pp.336-361.
6. Arienti, L.M., 1986. Evolução Paleogeográfica da Bacia do Rio Gravataí. 182p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Master's Dissertation).
7. Barboni, D., Ashley, G. M., Dominguez-Rodrigo, M., Bunn, H. T., Mabulla, A. Z., Baquedano, E., 2010. Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania. *Quaternary Research*, 74(3), 344-354.
8. Bauermann, S.G., Evaldt, A.C.P., Zanchin, J.R., de Loreto Bordignon, S.A., 2010. Diferenciação polínica de *Butia*, *Euterpe*, *Geonoma*, *Syagrus* e *Thrinax* e implicações paleoecológicas de *Arecaceae* para o Rio Grande do Sul. *Iheringia. Série Botânica.*, 65(1), pp.35-47.
9. Behling, H., 1995. Investigations into the late Pleistocene and Holocene history of Vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). *Vegetation History and Archaeobotany* 4, 127–152.

10. Behling, H., Safford, H.D., 2010. Late-glacial and Holocene vegetation, climate and fire dynamics in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *Global Change Biology*, 16(6), pp.1661-1671.
11. Boldrini, I.I., Schneider, A.A., Trevisan, R. and Setubal, R.B., 2011. Checklist das angiospermas campestres do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Congresso Nacional De Botânica. Vol. 62.
12. Bracco, R., Inda, H., Del Puerto, L., Castiñeira, C., Sprechmann, P., García-Rodríguez, F., 2005. Relationships between Holocene sea-level variations, trophic development, and climatic change in Negra Lagoon, Southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, 33(3), pp.253-263.
13. Bremond, L., 2003 Calibration des fonctions de transfert entre assemblages phytolithiques, structures des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation. Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT, Université Aix-Marseille III, Aix-Marseille (Ph.D. Thesis).
14. Bremond, L., Alexandre, A., Peyron, O. and Guiot, J., 2005. Grass water stress estimated from phytoliths in West African *Journal of Biogeography*, 32(2), pp.311-327.
15. Brown, G., Brindley, G.W. ,1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brown, G., Brindley, G.W. (Eds). *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineral Society of London, 5: 305-359.
16. Coe, H.H., Alexandre, A., Carvalho, C.N., Santos, G.M., da Silva, A.S., Sousa, L.O., Lepsch, I.F., 2013. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): evidence from soil phytolith assemblages. *Quaternary International*, 287, 63-72.

17. Coe, H.H.G., 2009. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. 340p. Universidade Federal Fluminense, Niterói. (Ph.D. Thesis).
18. Coe, H.H.G., Ricardo, S.F., de Sousa, L.D.O.F., Dias, R.R., 2017. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8(2).
19. Compton, J.S., 2011. Pleistocene sea-level fluctuations and human evolution on the southern coastal plain of South Africa. *Quaternary Science Reviews*, 30(5-6), pp.506-527.
20. Cordeiro, S.H., M.L. Lorscheitter., 1994. Palynology of Lagoa dos Patos sediments, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Paleolimnology* 10: 35-42.
21. de Lourdes, M., de Oliveira, A.A., Senna, R.M., Barreto, M.T.M., das Neves, M., 2007. Flora e vegetação. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, 84p Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
22. Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., Paz, F.R., Lima, G.L., Radaeski, J.N., 2012. Influence of Soil and Vegetation in the Pollen Spectrum Modeling from Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil. *Open Access Journal of Agricultural Research*. Volume 77, Issue 3 pp. 397-407
23. Faegri, K., Iversen, J., 1989. Textbook of pollen analysis. IV ed., New York John Wiley & Sons.
24. Fredlund, G.G., Bousman, C.B., Boyd, D.K., 1998. The Holocene phytolith record from Morgan playa in the rolling plains of Texas. *Plains Anthropologist*, 43(164), pp.187-200.
25. García-Rodríguez, F., Stutz, S., Inda, H., Del Puerto, L., Bracco, R., Panario, D., 2010. A multiproxy approach to inferring Holocene paleobotanical changes linked to sea-level

- variation, paleosalinity levels, and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. *Hydrobiologia*, 646(1), pp.5-20.
26. Grala, M.M., Lorscheitter, M.L., 2001. The Holocene paleoenvironment in the Serra Velha region, RS, Brazil through a study of plant succession. *Pesquisas* 28(2): 245-249.
27. Hagemann, A., 2016. Contribuições do manejo conservativo à conservação in situ de *Butia odorata* (Arecaceae) no Bioma Pampa. pp.93 Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (Ph.D. Thesis).
28. Hays, J.D., Pitman III, W.C., 1973. Lithospheric plate motion, sea level changes and climatic and ecological consequences. *Nature*, 246(5427), p.18.
29. Heiden G., Iganci J.R., 2009. Sobre a paisagem e a flora. In: Stumpf ERT, Barbieri R.L., Heiden G. (eds.) *Cores e formas no Bioma Pampa: plantas ornamentais nativas*. Embrapa Clima Temperado, Pelotas. pp. 23-35.
30. IBGE, 2011. *Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil: Rio de Janeiro*.
31. Imbrie, J., Hayes, J.D., Martinson, D.G., McIntyre, A., Mix, A.C., Morley, J.J., Pisias, N.G., Prell, W.L., Shackleton, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine δO^{18} record. In: Berger, A. et al. (eds). *Milankovitch and Climate. Part I*. Riedel. P. 269-305.
32. Iriarte, J., 2006. Vegetation and climate change since 14,810 14 C yr BP in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. *Quaternary Research*, 65(1), pp.20-32.
33. Iriarte, J., Corteletti, R., de Souza, J.G., De Blasis, P., 2016. Landscape dynamics in the La Plata Basin during the mid and late Holocene. *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)*, 13(25), pp.268-302.

34. Iriarte, J., Paz, E.A., 2009. Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archeological reconstruction. *Quaternary International*, 193(1-2), pp.99-123.
35. Kjerfve, B., 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: *Estuarine variability* (pp. 63-81).
36. Köppen, W., 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin, Leipzig: Walter de Gruyter, p. 388
37. Laborel, J., 1986. Vermetids. In: VAN DE PLASSCHE, O., (ed.), *Sea-Level Research, a Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Norwich: Geo Books, pp. 281-310.
38. Laborel, J., Laborel-Deguen, F., 1994. Biological indicators of relative sea-level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region. *Journal of Coastal Research*, pp.395-415.
39. Leal, M.G., Lorscheitter, M.L., 2007. Plant succession in a forest on the lower Northeast slope of Serra Geral, Rio Grande do Sul, and the Holocene palaeoenvironments, Southern Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 21, 1–10.
40. Lenihan, J.M., Drapek, R., Bachelet, D., Neilson, R.P., 2003. Climate change effects on vegetation distribution, carbon, and fire in California. *Ecological applications*, 13(6), pp.1667-1681.
41. Leonhardt, A., Lorscheitter, M. L., 2010. The last 25,000 years in the Eastern Plateau of Southern Brazil according to Alpes de São Francisco record. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 454-463.
42. Li, X., Vogeler, I., Schwendenmann, L., 2018. Conversion from tussock grassland to pine forest: effect on soil phytoliths and phytolith-occluded carbon (PhytOC). *Journal of Soils and Sediments*, pp.1-12.

43. Long, T., Qin, J., Atahan, P., Mooney, S., Taylor, D., 2014. Rising waters: New geoarchaeological evidence of inundation and early agriculture from former settlement sites on the southern Yangtze Delta, China. *The Holocene*, 24(5), pp.546-558.
44. Lopes, R. P., 2013. Reconstituição paleo-climática e paleo-ambiental do Pleistoceno Tardio no sul da planície costeira do Rio Grande do Sul. 239p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Ph.D. Thesis).
45. Lopes, R. P., Ribeiro, A. M., Dillenburger, S. R., Schultz, C. L., 2013. Late middle to late Pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 385-394.
46. Lorscheitter, M.L., 1992. Pollen registers of the South and Southeast regions of Brazil during the last 40,000 years. Palaeoclimatic changes and the carbon cycle. *Serie Geoquímica Ambiental* 1, 55–61.
47. Lorscheitter, M.L., 1997. Paleoambientes do sul do Brasil no Quaternário através da palinologia: revisão dos resultados obtidos. *Revista Universidade de Guarulhos, Geociências II* (especial number): 197-199.
48. Lorscheitter, M.L., 2003. Contribution to the Holocene history of Atlantic rain forest in the Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 5, 261–271.
49. Lorscheitter, M.L., Dillenburger, S.R. 1998. Holocene palaeoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 11: 73-97.
50. Lorscheitter, M.L., Romero, E.J., 1985. Palynology of Quaternary sediments of the core T15, Rio Grande Cone, South Atlantic, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 3(1), pp.55-92.

51. Lu, H., Liu, Z., Wu, N., Berne, S., Saito, Y., Liu, B., Wang, L.U.O., 2002. Rice domestication and climatic change: phytolith evidence from East China. *Boreas*, 31(4), pp.378-385.
52. Macedo, R.B., Souza, P.A., Bauermann, S.G., Bordignon, S.A., 2010. Palynological analysis of a late Holocene core from Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), pp.731-745.
53. Madella, M., Alexandré, A., Ball, T., 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, v.96, p.253-260.
54. Marchi, M.M., Barbieri, R.L., Sallés, J.M., da Costa, F.A., 2018. Flora herbácea e subarbusciva associada a um ecossistema de butiazal no Bioma Pampa. *Rodriguésia* 69(2): 553-560. 2018.
55. Martinho, C. T., Dillenburg, S. R., Hesp, P. A., 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*, 256(1-4), 49-64.
56. Mazz, J.M.L., 2001. Las estructuras tumulares (cerritos) del Litoral Atlántico uruguayo. *Latin American Antiquity*, 12(3), pp.231-255.
57. Mazz, J.M.L., Dabezies, J.M., Capdepon, I., 2014. La gestión de recursos vegetales en las poblaciones prehistóricas de las tierras bajas del sureste del Uruguay: un abordaje multidisciplinar. *Latin American Antiquity*, 25(3), pp.256-277.
58. Medeanic S., Cordazzo C.V., Corrêa I.C.S., Mirlean N., 2008. Os Fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. *Gravel* 6:1–14.
59. Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007. Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização – Portaria MMA n. 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.

60. Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E., 1998. Pollen Analysis. England, Blackwell, 216p.
61. Mourelle, D., Prieto, A.R., 2016. Pollen and spores from surface samples in the campos region of Uruguay and their paleoecological implications. *Acta Botanica Brasilica*, 30(3), pp.351-370.
62. Müller, S. C., 2005. Padrões de espécies e tipos funcionais de plantas lenhosas em bordas de floresta e campo sob influência do fogo. pp. 135. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Ph.D. Thesis).
63. Neves, P.C.P., Lorscheitter, M.L., 1995. Upper Quaternary palaeoenvironments in the Northern Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 9: 39-67.
64. Patterer, N.I., Zucol, A.F., Passeggi, E., 2017. Análisis fitolíticos en suelos formados sobre antiguas terrazas del río Uruguay (colón, entre ríos): primera evidencia de retracción de los palmares de *Butia yatay* (mart.). becc. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 17(1).
65. Pereira, J. S. R., Parolin, M., dos Reis Monteiro, M., Caxambu, M. G., Rasbold, G. G., 2013. Caracterização das morfologias de fitólitos de *Butia microspadix* burret (Arecaceae). *Revista de Ciências Ambientais*, 7(1), 59-66.
66. Piperno, D. R., 1985. Phytolith analysis and tropical paleo-ecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in New World plant domesticates and wild species. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 45(3-4), 185-228.
67. Piperno, D.R., 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologist and paleoecologists*. Oxford: Alta Mira Press, 238 p.
68. Price, S.J., Ford, J.R., Cooper, A.H., Neal, C., 2011. Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene: the significance of artificial ground in

- Great Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 369(1938), pp.1056-1084.
69. Prieto, A.R.; Lorscheitter, M.L., Stutz, S., 1999. Holocene vegetation changes in relation to the coastal evolution in Buenos Aires Province (Argentina) and Rio Grande do Sul (Brazil). viiabequa_zco999.pdf. In: Anais do VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Porto Seguro.
70. Rabenhorst, M.C., L.P. Wilding, L.T. West., 1984. Identification of pedogenic carbonates using stable carbon isotope and microfabric analyses. Soil Science Society of America Journal 48:125-132.
71. Radaeski, J.N., Evaldt, A.C.P., Bauermann, S.G., de Lima, G.L., 2014. Diversidade de grãos de pólen e esporos dos Campos do sul do Brasil: descrições morfológicas e implicações paleoecológicas. Iheringia. Série Botânica., 69(1), pp.107-132.
72. Rasbold, G. G., Monteiro, M. R., Parolin, M., Caxambú, M. G., Pessenda, L. C. R., 2011. Caracterização dos tipos morfológicos de fitólitos presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) LH Bailey (Arecaceae). Iheringia. Série Botânica., 66(2), 265-270.
73. Rosa, M.L.C.C., 2012. Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos sistemas Laguna Barreira do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Sul. 232 pp. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (Ph.D. Thesis).
74. Rosa, M.L.C.D.C., Barboza, E.G., Abreu, V.D.S., Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. Brazilian Journal of Geology, 47(2), pp.183-207.
75. Rossato, M., 2007. Recursos genéticos de palmeiras nativas do gênero *Butia* do Rio Grande do Sul. 136 pp. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (Ph.D. Thesis).

76. Rossato, M., Barbieri, R.L., 2007. Estudo etnobotânico de palmeiras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p.997-1000.
77. Roth, L., Lorscheitter, M.L., 1993. Palynology of a bog in Parque Nacional de Aparados da Serra, East Plateau of Rio Grande Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Península* 8, 39–69.
78. Rovner, I., 1971. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary research*, 1(3), pp.343-359.
79. Santos, C.P.D., Coe, H.H.G., Borrelli, N., Silva, A.L.C.D., Sousa, L.D.O.F.D., Ramos, Y.B.M., Silvestre, C.P., Seixas, A.P., 2015. Opal phytolith and isotopic studies of "Restinga" communities of Maricá, Brazil, as a modern reference for paleobiogeoclimatic reconstruction. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63(3), pp.255-270.
80. Shackleton, N.J., Opdyke, N.D., 1973. Oxygen isotope and palaeo-magnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V23-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes in a 105 and 106 years scale. *Quaternary Research*. 3:39-55
81. Stockmarr, J., 1971. Tablets with Spores used in Absolute Pollen Analysis. *Pollen et Spores*, 13: 615-621
82. Stukins, S., McIlroy, D., Jolley, D.W., 2017. Refining palaeoenvironmental analysis using integrated quantitative granulometry and palynology. *Petroleum Geoscience*, 23(4), pp.395-402.
83. Stutz, S., Borel, C.M., Fontana, S.L., Del Puerto, L., Inda, H., García-Rodríguez, F., Tonello, M.S., 2010. Late Holocene climate and environment of the SE Pampa grasslands, Argentina, inferred from biological indicators in shallow, freshwater Lake Nahuel Rucá. *Journal of Paleolimnology*, 44(3), pp.761-775.
84. Tomlinson, P. B., 1961. Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae. Anatomy of the monocotyledons. II. Palmae.

85. Twiss, P.C., 1992. Predicted world distribution of C 3 and C 4 grass phytoliths. In *Phytolith systematics* (pp. 113-128). Springer, Boston, MA.
86. Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn F.N.O., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In *International symposium on sea-level changes and quaternary shorelines* (pp. 79-97).
87. Watling, J., Iriarte, J., Mayle, F.E., Schaan, D., Pessenda, L.C., Loader, N.J., Street-Perrott, F.A., Dickau, R.E., Damasceno, A., Ranzi, A., 2017. Impact of pre-Columbian “geoglyph” builders on Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, p.201614359.
88. Ybert, J.P., Bissa, W.M., Kutner, M., 2001. Relative sea level variations and climatic evolution in southeastern and southern Brazil during the late Holocene. *Pesquisas* 28 (2), 75–83.

Figure 1 - Map of the geological context and evolution of the coastal barriers of the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRS) and location of the “Butiazal de Tapes” (Modified from Tomazelli & Villwock, 2000).

Figure 2 – Butiazal de Tapes: 1) a concentration of *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick (red arrows) and the Patos Lagoon in the background (black arrows). b) sampling point, showing the wetland and the Russian Sampler. *Butia odorata* (red arrows) and woody dicotyledons in the background;

Figure 3 - Main phytolith morphotypes observed, charcoal and sponge spicules. a) rondel; b) cross; c) tracheid; d) bilobate; e) trapeziform; f) acicular; g) globular granulate; h) globular echinate; i) collapsed saddle; j) elongate echinate both sides; k) polylobate; l) bulliform cuneiform; m) bulliform parallelepipedal; n) charcoal particle; o) megasclere of sponge spicule.

Figure 4 – Figure 4 – Diagram of the phytolith, sponge spicules, granulometry and dating analysis and the Phytolith Zones.

Table 1 - Results of granulometry, COT, Bioindicators and dating analysis

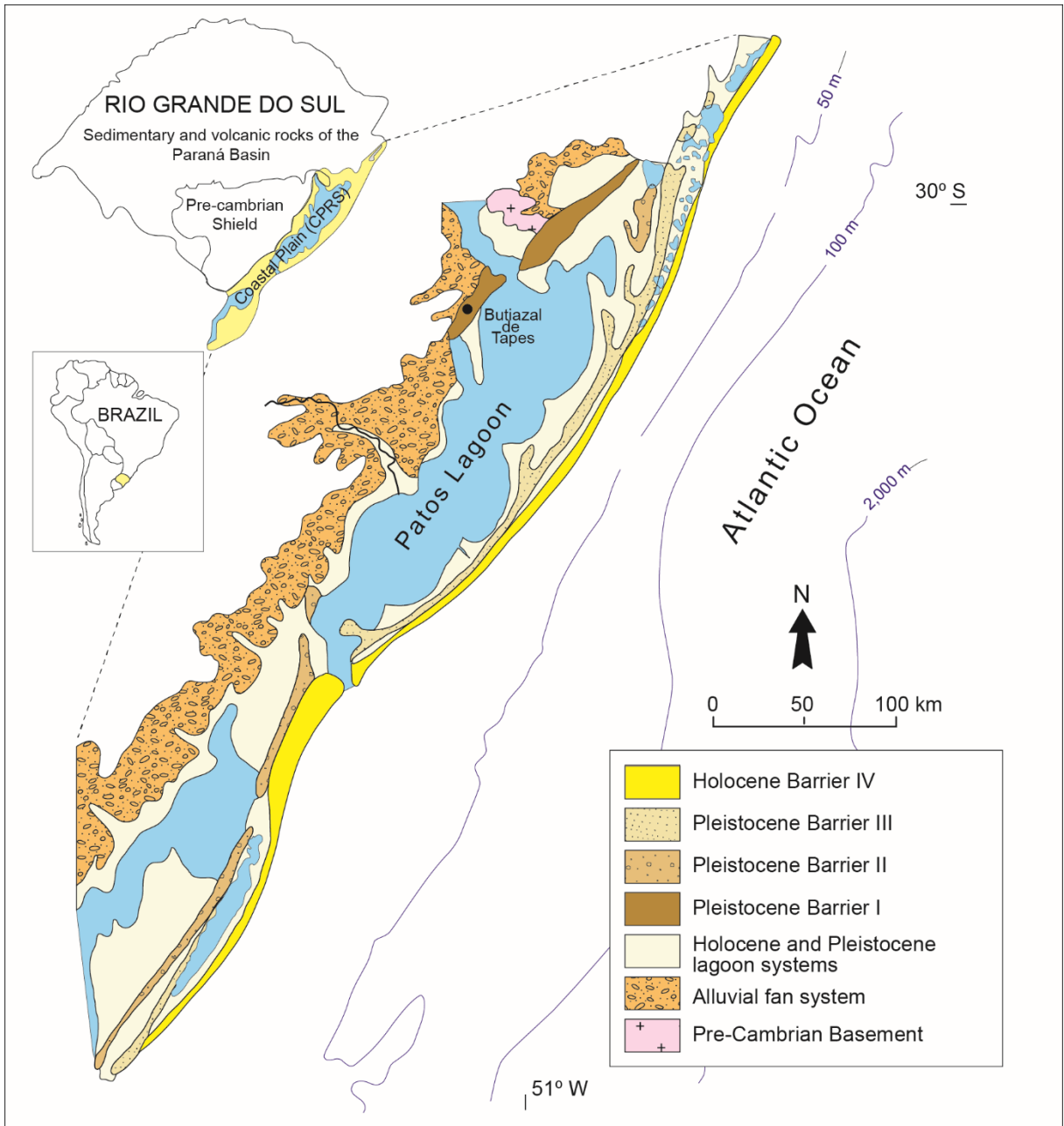


Figure 1

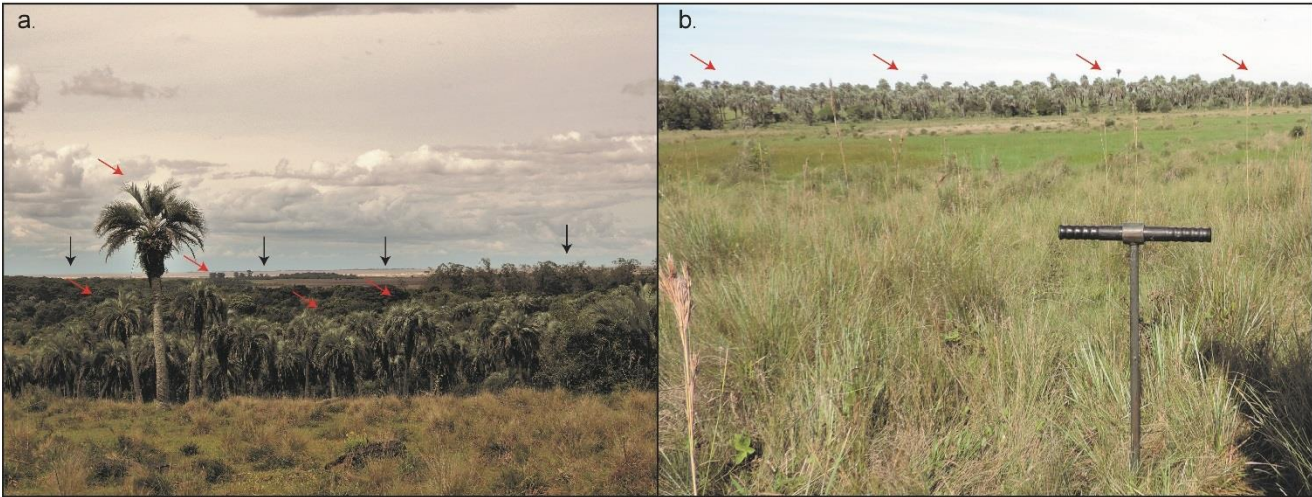


Figure 2

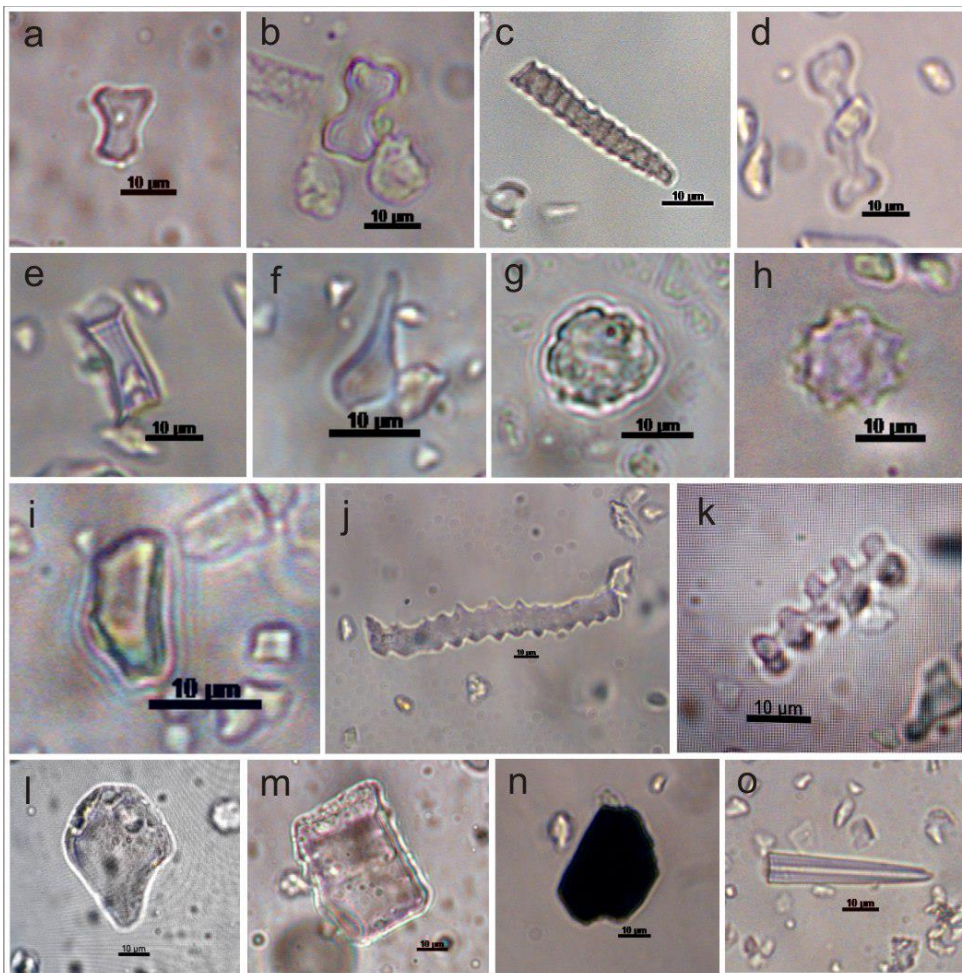


Figure 3

Figure 4

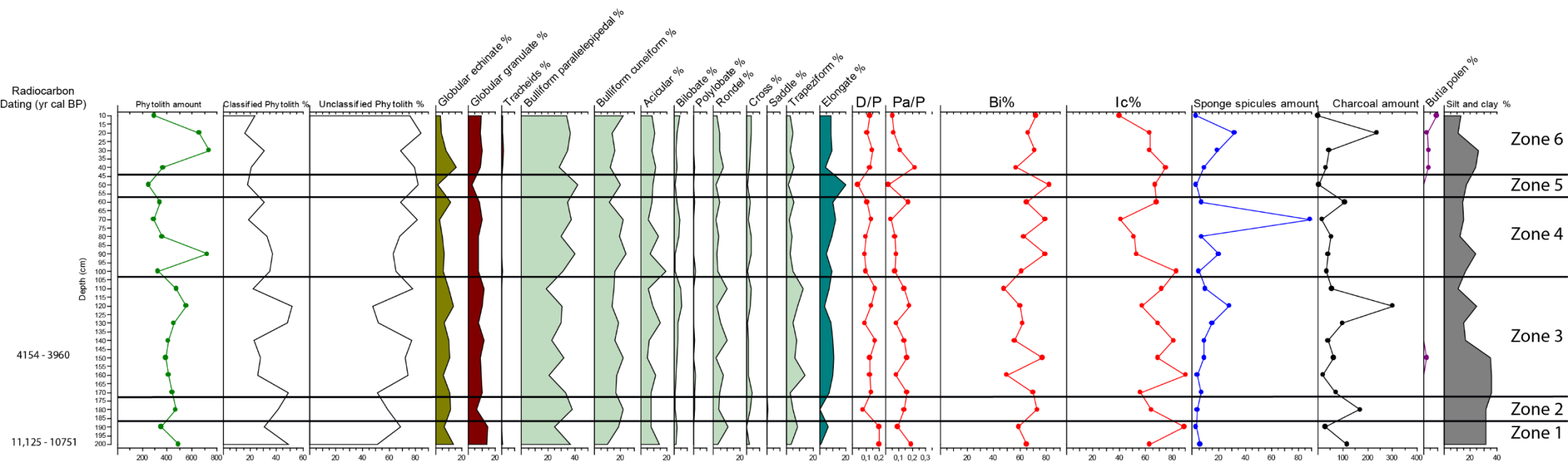


Table 1

Zones	Depth start - end ^a	Samples Names	Granulometry Silt + Clay ^b	TOC ^b	Palinology			Phytoliths				Sponge Spicules ^c	Charcoals ^c	Radiocarbon Dating ^h	
					<i>Butia</i> Pollen ^b	Unclassified ^b	Classified ^b	Total ^c	Phytolith Indices						
									D/P ^d	Pa/P ^e	Bi ^f				Ic ^g
Zone 6	0 - 16	1	13	1.186	9.5	23.6	76.4	297	0.13	0.05	71.6	40.0	3	0	
	16 - 26	2	11	0.945	2.4	15.7	84.3	658	0.11	0.06	65.6	62.6	32	236	
	26 - 35	3	26	0.705	3.4	31.1	68.9	739	0.15	0.11	70.8	62.9	19	45	
	35 - 44	4	24	0.351	3.5	21.2	78.8	368	0.13	0.22	57.1	74.5	9	32	
Zone 5	44 - 55	5	17	0.418		17.6	82.4	250	0.04	0.02	82.1	66.7	3	4	
Zone 4	55 - 65	6	14	0.313		30.6	69.4	343	0.11	0.17	64.9	68.4	7	108	
	65 - 73	7	15	0.252		19.2	80.8	291	0.14	0.04	79.4	40.9	89	16	
	73 - 83	8	12	0.26		32.5	67.5	360	0.10	0.07	63.0	51.4	7	53	
	83 - 94	9	24			37.3	62.7	723	0.09	0.08	78.8	53.3	20	41	
	94 - 102	10	16	0.323		35.1	64.9	328	0.10	0.07	61.0	83.3	5	35	
	102 - 114	11	11	0.236		21.7	78.3	474	0.17	0.14	47.7	71.8	10	55	
Zone 3	114 - 124	12	25	0.268		52.3	47.7	554	0.14	0.18	59.9	56.6	28	301	
	124 - 135	13	15	0.299		47.8	52.2	454	0.09	0.08	62.2	68.6	15	99	
	135 - 145	14	16	0.255		23.0	77.0	408	0.17	0.14	56.1	81.1	9	41	
	145 - 156	15	35	0.241	2.2	28.3	71.7	389	0.13	0.16	76.8	68.8	9	63	4154 - 3960
	156 - 169	16	36	0.242		25.8	74.2	411	0.13	0.08	50.4	89.7	4	20	
	169 - 182	17	36	0.292		48.8	51.2	441	0.14	0.16	69.6	56.3	7	72	
	182 - 190	18	32	0.294		41.5	58.5	468	0.08	0.14	73.3	64.1	4	169	
Zone 2	190 - 195	19	32	0.28		31.0	69.0	352	0.20	0.09	59.1	88.7	3	29	
	195 - 200	20	32	0.225		49.0	51.0	492	0.20	0.19	65.4	63.0	6	117	11125 - 10751

a- cm

b- %

c- unities in 3 lines

d- globular granulate / (short cells + acicular + bulliform)

e- globular echinate / (short cells + acicular + bulliform)

f- [(bulliform / (short cells + acicular + bulliform)] x 100

g- [(rondel + polylobate + trapeziform) / short cells] x 100

h- years cal BP



ATA Nº 843

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado do aluno **Eduardo Trein Salgado**, intitulada “**RECONSTRUÇÃO PELOAMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO HOLOCENO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM BASE NA EVOLUÇÃO DO BUTIAZAL DE TAPES – UMA APLICAÇÃO DE BIOINDICADORES**”, atribuem os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Rogério Roque Rubert (UFMT)
CONCEITO: "A" (EXCELENTE)

Prof. Dr. Anderson Maraschin (PUC-RS)
CONCEITO: "A" (EXCELENTE)

Profa. Dra. Cassiana Roberta Lizzoni Michelin (IGEO/UFRGS)
CONCEITO: "A" (EXCELENTE)

de de 2019.

Homologação pela Comissão de Pós-Graduação,	
Ata nº	Data:
Conceito Final:	
Rubrica:	

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"RECONSTRUÇÃO PELO AMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO HOLOCENO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM BASE NA EVOLUÇÃO DO BUTIAZAL DE TAPES – UMA APLICAÇÃO DE BIOINDICADORES"

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: Eduardo Trein Salgado

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Maria Pimentel Mizusaki

Examinador: Prof. Dr. Anderson Maraschin

Data: 01/02/2019

Conceito: A

PARECER:

A presente Dissertação é um exemplo da aplicação das Geociências muito além das áreas consagradas, como a Estratigrafia e a Tectônica, por exemplo. Ou como brilhantemente escreveu o tutor: "O presente trabalho se presta a um esforço interdisciplinar, convergendo com áreas como a Biologia e a Geografia". (Pg. 231).

Multidisciplinaridade e interdisciplinaridade. Tudo "CIÊNCIA"! Por se ler a todo momento, que o autor tem domínio sobre o tema e a harmonia com a escrita torna a leitura da Dissertação prazerosa e, ao final, o leitor anima, sem grandes esforços, o conteúdo. Raras são as erros de digitação e gramaticais.

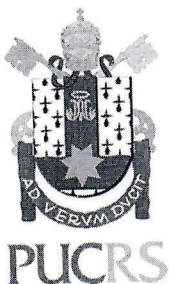
A Dissertação cumpriu satisfatoriamente o objetivo proposto, seus resultados contribuíram para um melhor entendimento do comportamento climático no Holoceno na Planície Costeira do RS, bem como a sua reconstrução paleoambiental.

Observações, sugestões e dúvidas serão enviadas em arquivos anexos. Ressalto que não comprometem a qualidade técnica e científica do estudo.

Assim, Parabéns o autor e sua orientadora pela excelência do tema praticamente desconhecido pelas Geociências brasileiras, porém extremamente importante para estudos paleoclimáticos/paleoambientais. Parabéns, também, pela excelente qualidade técnica e científica do estudo.

Dr. Anderson J. Maraschin

Porto Alegre, 01/02/2019



Avaliação- Dissertação-Eduardo Trein Salgado

01/02/2019

O estudo desenvolvido na Dissertação abrangeu técnicas para reconstituição paleoambiental e paleoclimática pouco aplicadas nas Geociências brasileira. Diversos são os estudos envolvendo as áreas consagradas da Geologia, tais como Tectônica, Estratigrafia e Hidrogeologia, por exemplo. Entretanto, novas técnicas analíticas e experimentais são amplamente usadas em trabalhos internacionais, visando a solução de questões geológicas ou simplesmente contribuindo com resultados obtidos por outras técnicas. Pela escolha do tema, a Dissertação já obtém o mérito.

A integração dos dados permitiu detalhar sutis mudanças climáticas ocorridas na área da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, durante o Holoceno. Por outras técnicas, dificilmente isto seria possível.

Entretanto, algumas observações foram feitas, porém não comprometem a qualidade técnica e científica do estudo.

Assim, na expectativa do artigo publicado, parabênizo o autor e sua orientadora pela excelente qualidade técnica e científica do trabalho.

Observações

Texto introdutório

- Referências: Macedo 2009 (pg. 1) ou Macedo et al. 2010 (pg. 28)? Fredlund 1998 (pg. 1) ou Fredlund et al. 1998 (pg. 26)? Blecker 1997 (pg. 1) ou Blecker et al. (1997) (pg. 25)? Li 2018 (pg. 1) ou Li et al. 2018 (pg. 28)? Marret (2001) (pg. 1) ou Marret et al. (2001) (pg. 29)? Parr (2005) ou Parr & Sullivan (2005) (pg. 30)? Fontana (1996) e Rosa (2012) não constam nas Referências Rosa (2017) (pg. 6) ou Rosa et al. (pg. 31)? Souto et al. (2010) (pg. 7) ou 2011 (pg. 32)? Strahler (1977) no clássico livro "Geografia Física" escreve sobre a PCRS?? Heiden & Iganci (2009) (pg. 8)? Marchi (2018) (pg. 9)? Boldrini et al (2011) (pg. 9) ou boldrini et al. (2010) (pg. 25)? Soares 2014 (pg. 90 ou Soares et al. (pg. 32)? Rossato & Barbieri 2015 (pg. 9)? Twiss et al. (1969) (pg. 12) ou somente Twiss (1969) (pg. 33)? Brindley (1980) não consta nas referências. Max-Neef (2005) (pg. 23) e Choi & Pak (2006) não constam nas referências. Baitelli (2012) e Asmus (1972) apenas nas referências e não no texto. Hughes (2009) (pg. 1) ou Hughes et al. (2009) (pg. 27)? Tomazelli & Villwock (1998) (pg 33) também não conta no texto.
- Pg. 13: Foto de Salgado & Chueng (2018) mas o conteúdo do quadro foi extraído de Twiss et al. (1969), Twiss (1992) e Bremond (2003)?
- Pg. 14: A partir do morfotipo Acicular não há interpretação ambiental?
- Alguns *et al.* não estão em itálico ao longo do texto.
- O que significa AMS (pg. 15 e figura 5).
- Sugiro inserir o subitem 1.6.2 (pg. 12) no texto do item 1.6 antes do subitem 1.6.1, assim como o subitem 2.1 (pg. 17), pois os textos são complementares.
- Arecaceae itálico e Poaceae não itálico?

- Pg. 22: não ficou muito claro como é possível inferir que o *Butia Odorata* está presente desde o início do Holoceno (1125-10751 a), porém no artigo está claro.
- Os dados de isótopos e de carbono ^{14}C foram obtidos do sedimento? Da matéria orgânica? De qual material? (Pg. 22/item 2.5: "...sedimento...lavado...e segue para a datação..." Poderia ter datado também a matéria orgânica.
- E por que da exclusão dos isótopos de C do artigo?
- Pg. 46: "The maximum stock was observed in samples 9 and 2..." Não seriam as 9 e 3?
- Pg. 55: Lenihan (2003) ou Lenihan et al. (2003)?

Artigo

Poucas observações

- Pgs. 40 e 48: inserir o símbolo do delta ^{14}C .
- Pg. 44: porquê da escolha das amostras 15 e 20 para datação?
- Coe et al. (2017) (pg. 58) ou Coe 2017 (pg. 46)?
- Pg. 47: mas o total de fitólitos parece constante ao longo do perfil, exceto pelas amostras 12, 9, 2 e 3, cujas valores totais são os maiores.
- O que significa exatamente o valor baixo do Bi% da amostra 11 (Zona 3)?
- Pg. 51: Neves & Lorscheitter (1997) não consta nas referências.

Anderson J. Maraschin

Dr. Anderson José Maraschin
LASEPE-IPR-PUCRS

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
"RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEOCLIMÁTICA DO HOLOCENO NA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL COM BASE NA EVOLUÇÃO DO BUTIAZAL DE TAPES – UMA APLICAÇÃO DE BIOINDICADORES "	
Área de Concentração: Estratigrafia	
Autor: Eduardo Trein Salgado	
Orientadora: Prof. ^a Dr. ^a Ana Maria Pimentel Mizusaki	
Examinador: Prof. Dr. Rogério Roque Rubert	
Data: 16/02/2019	
Conceito: A	
PARECER:	
<p>O tema de trabalho desenvolvido na presente dissertação é uma contribuição pioneira na utilização das ferramentas de análise de fitólitos e palinologia para estudo da evolução ambiental e paleoclimática da Planície Costeira do Rio Grande do sul e evolução geológica da Bacia de Pelotas durante o Holoceno.</p> <p>O trabalho utilizou como ponto de partida uma síntese abrangente da geologia e evolução da Bacia de Pelotas e da Planície Costeira do RS, além da contextualização da evolução climática do Holoceno na PCRS, caracterização do bioma onde ocorre as o objeto de estudo além de discorrer e apresentar uma evolução do conhecimento dos estudos acerca da ferramenta principal de trabalho: os fitólitos.</p> <p>A metodologia utilizada, bem como a interação das diferentes ferramentas se mostraram apropriadas para a abordagem do tema com o cumprimento do objetivo inicialmente proposto.</p> <p>No que se referem ao capítulo introdutório, algumas observações estão propostas abaixo. No que se referem ao artigo, da mesma forma, algumas sugestões acerca da forma e apresentação serão propostas, quanto ao conteúdo do artigo, porém, este será revisado de forma mais eficiente pelos revisores especializados designados pelo periódico.</p> <p>A título de contribuição alguns comentários são cabíveis acerca dos capítulos introdutórios. No que tange ao mapa de localização e geológico apresentado, sugere-se uma separação entre ambos, com uma para de localização apresentando com mais ênfase e detalhe a área de estudo e de forma separada um mapa geológico apresentando mais detalhe e algumas feições geológicas (Alto de Florianópolis, Lineamento Chui, etc...). Outro aspecto a ser sugerido seria a apresentação de um perfil com a descrição e uma apresentação fotográfica mais detalhadas do material estudado.</p> <p>Os fatores que chamam a atenção são a boa organização textual, a despeito da alguns parágrafos longos, que dificultam por vezes a manutenção do raciocínio e linha de leitura. Além disso, capítulos importantes como aspectos climáticos, metodologia e estado de arte trazem ao trabalho informações importantes de forma sintética e com boa organização.</p> <p>Em relação as referências bibliográficas, são observados algumas referencias citada no texto que estão faltantes nas referencias e vice-versa, além de problemas</p>	

pontuais de formatação.

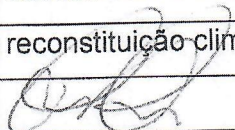
As mesmas considerações a respeito dos mapas, apresentação de perfis geológicos da área de amostragem, fotografias e descrições do material observados para os capítulos introdutórios são válidos para o artigo. Além disso, a carência de material fotográfico mais detalhado e área de estudo, escalas de fotos e detalhe e material coletado é passível de observação aqui.

Também se sugere uma revisão das referencias bibliográficas, pois algumas inconsistências foram observadas neste item.

As discussões finais são consistentes com boa argumentação e integração dos dados e ferramentas, destacando-se pelo pioneirismo no uso destas ferramentas na referida área, apresentando uma contribuição ao conhecimento da evolução climática e ambiental da PCRS no Holoceno, compatível e coerente com os dados coletados.

Assim, parabênizo o autor e orientadora pela escolha e bom desenvolvimento do tema, bem como pelos resultados obtidos, que contribuem consideravelmente na evolução dos conhecimentos acerca do tema, o qual tem espaço para o aprimoramento e detalhamento no que tange a evolução climática e ambiental de uma área utilizando-se as informações obtidas com a análise dos fitólitos integrada com palinologia e outras ferramentas de reconstituição climática e ambiental de uma área.

Assinatura:



Data: 16/02/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: