

Gênese de um Depósito de Turfa na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul-Brasil

The Genesis of a Peat Deposit in Rio Grande do Sul Continental Shelf-Brazil

^{ac}Iran Carlos Stalliviere Corrêa, ^{ad}Jair Weschenfelder, ^{ae}Elirio Ernestino Toldo Jr., ^{af}Ricardo Baitelli, ^{bg}Cristiane Bahi dos Santos-Fischer

^aCentro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências da UFRGS, ^bPrograma de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências da UFRGS

^ciran.correa@ufrgs.br, ^djair.weschenfelder@ufrgs.br, ^etoldo@ufrgs.br, ^fbaitelli@ufrgs.br, ^gcristianebahi@gmail.com

Resumo

O presente trabalho aborda a ocorrência de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul-Brasil a uma profundidade de 60 m abaixo do nível de mar atual. A amostra analisada faz parte do testemunho T-27 obtido na Operação Oceanográfica GEOMAR VII. Foram efetuadas análises granulométricas dos sedimentos do testemunho, análises palinológicas, datação de Carbono 14 e razão C^{13}/C^{12} ($\delta^{13}C$) na amostra de turfa. Os resultados obtidos classificam o material analisado como pertencente a uma antiga planície de inundação, provavelmente pertencente à antiga drenagem do rio Jaguarão ou Camaquã. A idade da amostra de turfa de 12.540-12.150 cal anos AP e a ocorrência deste depósito a 60 m de profundidade, permite interpretar uma longa estabilização do nível do mar durante a última transgressão do Holoceno, ou seja, uma condição ambiental costeira necessária para a gênese deste depósito.

Palavras Chave: Turfa; Plataforma Continental; Estabilização do nível do mar; Rio Grande do Sul.

Abstract

This work discusses the occurrence of peat on the continental shelf of Rio Grande do Sul-Brazil at depth of 60 m below the present sea-level. The sample is part of a deep drill hole sample obtained in T-27 from GEOMAR VII Oceanographic Research. Granulometric analyzes were made in core sediments, palynology analysis, radiocarbon dating and isotopic ratio C^{13}/C^{12} ($\delta^{13}C$) on the peat sample. The results characterize the material analyzed as belonging to an ancient flood plain, probably belonging to the ancient river drainage Jaguarão or Camaquã. The age of the peat sample of 12,540-12,150 cal years BP, and its presence at 60 m depth of actual water column, evidence sea level stabilization, during the last Holocene transgression, for a time sufficiently long for the formation of this kind of deposit.

Keywords: Peat; Continental Shelf; Sea level stabilization; Rio Grande do Sul.

1. Introdução

Níveis de mar mais baixos que o atual podem ser evidenciados pela presença de feições topográficas submersas como linhas de praias, planícies de maré, cordões arenosos, arenitos de praia (*beach rocks*), planícies lagunares e cursos fluviais, associados às características dos sedimentos que os acompanham, bem como à associação da fauna e flora presente nos sedimentos (Parker *et al.* 1978, Urien *et al.* 1978, Corrêa 1996, Calliari *et al.* 1998).

Estas feições topográficas e os sedimentos associados a elas imprimem características especiais às plataformas continentais, formando elementos de grande importância para o estabelecimento da evolução paleogeográfica das margens continentais durante o Quaternário.

Várias feições já foram identificadas em plataformas continentais do mundo e em diversas profundidades, caracterizando as mudanças relativas do nível do mar ao longo do tempo geológico. Uma dessas características é a presença de depósitos de turfas.

1.1. Considerações gerais sobre turfas

Os combustíveis fósseis tiveram origem há milhões de anos, quando fenômenos naturais provocaram acumulações consideráveis de matéria orgânica na superfície do solo. Estes depósitos orgânicos foram, posteriormente, encobertos por camadas sedimentares ao longo do tempo que proporcionaram transformações e alterações químicas importantes para a formação destes depósitos combustíveis. Nestes produtos de transformação encontram-se o carvão mineral, o linhito e a turfa.

A turfa compreende o estágio inicial da formação do carvão mineral. É o resultado do atrofiamento e da decomposição incompleta de materiais lenhosos ou arbustivos, musgos e líquens em condições de excessiva umidade. Dessa forma pode-se dizer que a turfa se encontra associada a ambientes pantanosos ou encharcados e constitui uma suspensão quase coloidal, com 80 a 90% de água.

Johnson (1859) conceituou a turfa como sendo o produto da decomposição de plantas e que dependia da presença de água para saturar as substâncias vegetais, impedindo o acesso livre do ar. A saturação em água do depósito turfáceo, produz o efeito de manter as substâncias que se encontram em decomposição a baixas temperaturas, tornando o processo de decomposição muito lento e permitindo assim, a acumulação de seus produtos.

Weber (1903) definiu turfa como sendo um mineral orgânico, formado a partir de um processo de humificação de plantas mortas, ricas em celulose. Quando exposta ao ar apresenta cor marrom a preta e, em seu ambiente natural, é muito mole e rica em água, sendo que sua cor depende do conteúdo em ácidos húmicos. É composta principalmente por carbono, oxigênio e hidrogênio e quantidades variáveis de enxofre e cinzas.

Segundo estudos de Abreu (1973), as turfas mais comuns derivam de musgos e de plantas das famílias das esfagnáceas e das ciperáceas, juntamente com proporções variadas, de algas de várias espécies. As turfas apresentam alto grau de umidade e são leves em massa. Os depósitos de turfas normalmente contêm de

80 a 90% de água. Quando secas ainda contêm teores de 20% de umidade e um poder calorífico entre 2.500 e 4.000 cal/kg, equivalente ao poder calorífico da lenha seca.

Segundo Aguiar (1987) a turfa foi reconhecida como fonte energética nos séculos XVI e XVII na Finlândia, Rússia e na Irlanda, sendo usada, principalmente, para aquecimento e uso doméstico.

Corrêa (1990) e Corrêa *et al.* (2013) descreveram a presença de uma camada de turfa em um testemunho localizado na plataforma continental do Rio Grande do Sul, atribuindo sua origem a depósitos de ambiente paludial, quando o nível do mar se encontrava estacionário a 60 m abaixo do atual.

As ocorrências de depósitos de turfa e depósitos ricos em matéria orgânica, na região costeira do Rio Grande do Sul, foram descritas por Sena Sobrinho (1950) e Delaney (1965). Estes depósitos foram observados na região sul da praia do Hermenegildo e na região do farol da Conceição. Posteriormente outros trabalhos realizados na região costeira sul-brasileira, descreveram, com mais detalhes, tais depósitos (Tomazelli & Villwock 1989, Dillenburg 1994, Calliari *et al.* 1998, Barletta & Calliari 2001).

2. Localização da área de estudo

O testemunho analisado foi coletado sobre a plataforma continental do Rio Grande do Sul, especificamente na latitude de 32°30' S e na longitude de 51°15' W (figura 1).

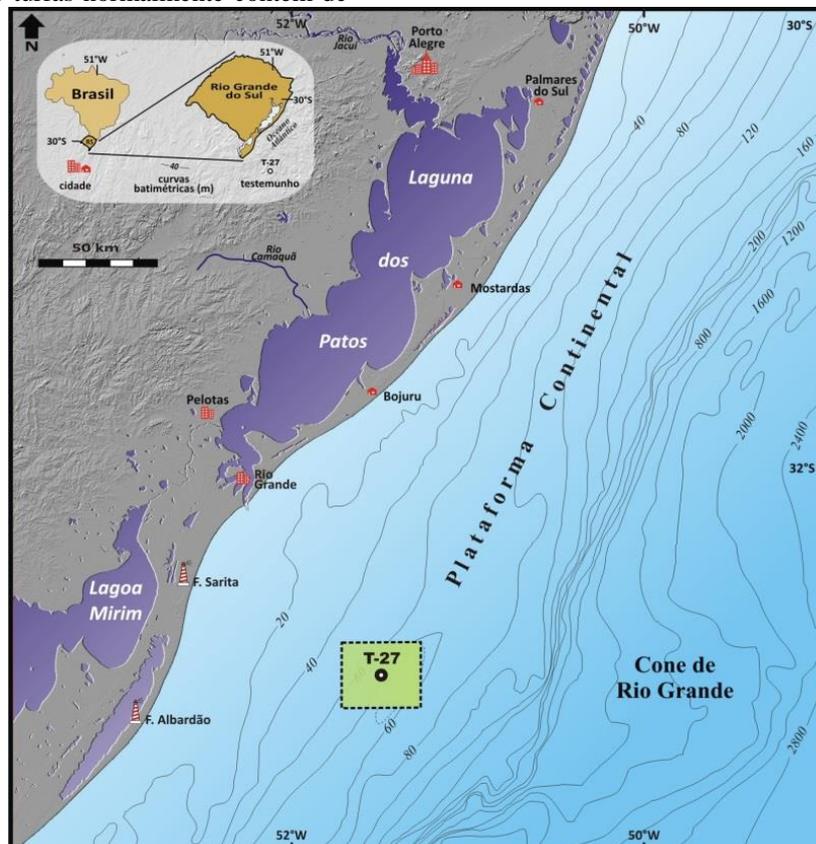


Figura 1: Mapa de localização do testemunho T-27 na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul.

3. Materiais e métodos

O testemunho T-27 foi coletado durante a Operação Oceanográfica GEOMAR VII, realizada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação conjuntamente com o Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). A coleta do testemunho foi efetuada com um testemunhador do tipo “*Driscoll*”. Antes do início da abertura do testemunho, o mesmo foi radiografado com o intuito de se registrar as feições deposicionais do pacote sedimentar coletado, as quais poderiam ser destruídas durante a abertura.

A etapa de laboratório iniciou-se com a abertura do testemunho e a descrição dos sedimentos observados a olho nu. Foram coletadas amostras em intervalos regulares, com a finalidade de se determinar o teor de umidade, composição textural, determinação de densidade e cor do sedimento.

As análises sedimentológicas seguiram o padrão de classificação de [Folk & Ward \(1957\)](#), sendo utilizados os dados de tamanho de grão para a caracterização sedimentológica da área estudada. Estes foram obtidos através do método do peneiramento e pipetagem.

Foi efetuada coleta de amostra, na camada de turfa, para fins de análise palinológica. O tratamento químico das amostras foi realizado no Laboratório de Palinologia do Instituto de Geociências da UFRGS e seguiu as técnicas descritas por [Faegri & Iversen \(1975\)](#) e [Tyson \(1995\)](#). As amostras obtidas foram montadas em lâminas segundo metodologia descrita em [Salgado-Labouriau \(1973\)](#).

Uma análise geral de palinofáceis foi realizada com base na caracterização quantitativa e qualitativa dos diferentes componentes da matéria orgânica particulada da amostra turfácea. A preparação química utilizada para o estudo de palinofáceis seguiu a técnica de acetólise, conforme descrita por [Erdtman \(1960\)](#).

Utilizou-se um microscópio óptico *Zeiss*® com aumentos de 200 e 400x.

Os constituintes da matéria orgânica foram classificados a partir da metodologia proposta por [Tyson \(1995\)](#) e [Mendonça-Filho \(1999\)](#).

Foi coletada uma amostra de turfa a qual foi submetida à datação por C^{14} e na determinação da razão C^{13}/C^{12} ($\delta^{13}C$), pela Beta Analytic Inc. obtendo os seguintes resultados: 12.540-12.150 cal anos AP (10.460 ± 40 ^{14}C Beta-343479) e $\delta^{13}C$ -17,3‰ PDB.

4. Formação de turfeiras

[Shaler \(1890\)](#) foi um dos primeiros a estabelecer que a formação das turfeiras depende de quantidade suficiente de água para impedir a completa decomposição dos restos vegetais que se acumulam em um determinado local.

No desenvolvimento de uma turfeira (figura 2) o processo tem início a partir da deposição de detritos vegetais, que vão preenchendo lentamente uma depressão qualquer, como um lago (I). Os primeiros vegetais a se acumularem nestes depósitos são as algas e outras plantas aquáticas que irão formar as camadas basais da turfa. Esta depressão, onde se acumulam estes detritos vegetais, vai se tornando cada vez mais rasa, permitindo a invasão da vegetação marginal constituída por gramíneas, ciperáceas, juncos e finalmente arbustos e árvores (II e III). O lago começa a transformar-se em um pântano e os restos vegetais que se encontram cobertos pela água passam gradativamente para turfa. Se o nível da água se elevar repentinamente, devido à subsidência da área, o crescimento de árvores pode ser interrompido e plantas inferiores, mais adaptadas ao ambiente aquático, reaparecem e se inicia um novo período de acumulação de turfa (IV) ([Waksman 1942](#), [Leinz & Amaral 1975](#)).

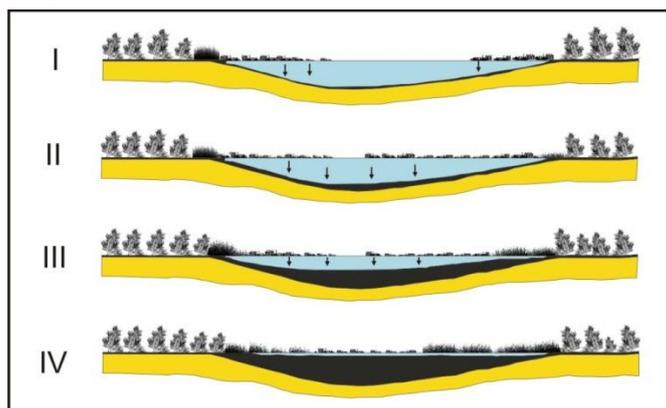


Figura 2: Estágios evolutivos de turfeira em uma depressão em zona de planície de inundação.

No perfil de uma turfeira pode-se encontrar camadas bem decompostas e de coloração preta, as quais indicam um período de baixo nível de água ou mesmo período de seca. Entretanto a ocorrência de camadas mais claras, ricas em fibras de plantas pobremente decompostas, indicam um período de prolongada precipitação de água. Como o estrato mais inferior do perfil da turfa é formado por plantas que ocorrem

abaixo do nível da água, este é muito mais coloidal e livre de materiais fibrosos do que os estratos superiores que são produzidos por plantas que crescem acima do nível da água e possuem materiais mais fibrosos.

A matéria orgânica, em uma turfeira, não é inerte, sofre um processo lento de decomposição anaeróbica, o qual resulta na formação de vários gases, tais como CO_2 e CH_4 , que escapam dos depósitos.

Vários tipos de turfas podem ser formados, dependendo unicamente da origem do material, da variedade de plantas presentes e do grau de decomposição do material.

A formação de uma turfeira depende de um sistema geomorfológico. A presença de um meio aquoso de baixa oxigenação é fundamental para a preservação e evolução da matéria orgânica depositada. O material imerso sofre a atuação de bactérias, fungos e outros microrganismos aeróbicos que destroem a matéria orgânica presente nos vegetais mortos. Esse processo de oxidação e biodegradação caracteriza a evolução energética fóssil da matéria orgânica vegetal, levando ao desaparecimento da estrutura dos vegetais originais, perda de oxigênio e hidrogênio e enriquecimento de carbono (Toledo 1999).

5. Ocorrência de material carbonoso na plataforma continental

O testemunho geológico T-27 (figura 3), coletado na plataforma continental do Rio Grande do Sul, na isóbata dos 60 m de profundidade, e com um comprimento de 1,82 m, mostrou uma seqüência sedimentar formada, da base para o topo, por silte-areno-argiloso, gradando para um sedimento siltico-argiloso com areia muito fina, seguido de uma camada de aproximadamente 0,05 m de material carbonoso, bastante similar macroscopicamente aos depósitos de turfas da planície costeira atual (Delaney 1965). Estes depósitos de material carbonoso encontram-se recobertos por sedimentos argilo-silticos que gradam para um sedimento argilo-siltico com areia muito fina. A camada de material carbonoso encontra-se entre os 0,73 e 0,79 m do topo do testemunho. O diâmetro médio dos sedimentos do testemunho encontra-se na granulometria do silte muito fino, com uma distribuição granulométrica simétrica e muito platicúrtica.

Sobre o testemunho foram coletadas seis (6) amostras (figura 3). A primeira (1) localiza-se a 0,12 m da superfície do testemunho com composição granulométrica de 30% de areia muito fina, 29% de silte e 41% de argila, caracterizando-se como lama com areia. A amostra 2, localizada a 0,40 m do topo, apresenta composição de 26% de silte e 74% de argila, caracterizando argila siltica. A amostra 3, obtida a 0,76 m do topo é constituída de turfa carbonosa. A amostra 4, obtida a 0,89 m do topo apresenta 31% de areia muito fina, 32% de silte e 37% de argila, constituindo lama arenosa, muito semelhante à composição da amostra 1. A amostra 5, localizada a 1,18 m do topo é formada por 23% de areia muito fina, 47% de silte e 30% de argila, formando lama com areia. A amostra 6, obtida a 1,70 m do topo é composta de 20% de areia muito fina, 46% de silte e 34% de argila, caracterizando lama com areia, muito semelhante à amostra 5 (tabela 1).

Os teores de umidade, do topo para a base do testemunho, variam em torno de 40% entre 0 e 0,73 m, aumentando para mais de 60% entre 0,73 a 0,79 m, na

camada de turfa, e decaindo para 26 a 16% desde os 0,79 m até a base (tabela 1).

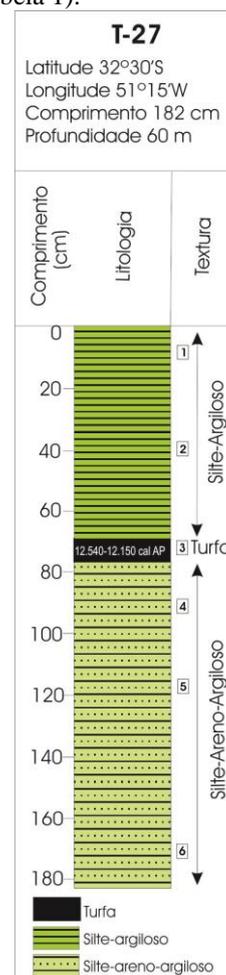


Figura 3: Composição litológica do testemunho T-27.

A densidade do material do testemunho se encontra entre 1,58 e 1,88 g/cm³ desde o topo até a base, apresentando densidade em torno de 1,01 g/cm³ na camada de turfa (tabela 1).

No que diz respeito à constituição vegetal, a turfeira é predominantemente herbácea, própria de terras baixas. Segundo a classificação de Alpern (1976), o depósito de turfas é do tipo pericontinental.

A observação do dado de datação indica que o depósito parece ter sido acumulado em pelo menos 12.540-12.150 cal anos AP, em uma antiga depressão, provavelmente pertencente a uma planície de inundação, presente na planície costeira da época, ocasionada pelo rebaixamento do nível do mar, sendo transformada em uma região pantanosa com exuberante vegetação. Segundo Corrêa (1990, 1996), neste período, o nível do mar encontrava-se entre 60 e 65 m mais baixo que o atual.

Os registros ecobatimétricos caracterizaram a área, em torno do testemunho T-27, como uma ampla planície muito similar a planícies de inundação presentes nas margens de rios.

Pelos dados observados, o condicionamento geológico permite inferir que esta área, onde foi observada a presença de turfa na plataforma

continental, possa se estender, tanto para norte como para sul, formando um depósito de maior abrangência,

adjacente à área de estudo.

Tabela 1: Parâmetros estatísticos das amostras de sedimentos do testemunho T-27. (Md=mediana, Mz=média; σ =desvio padrão; SKi=assimetria; KG'=curtoses).

Amostra	Prof. (m)	Umidade %	Densidade g/cm ³	Areia %	Silte %	Argila %	Md Φ	Mz Φ	σ Φ	SKi	KG'
1	0,12	40,43	1,58	30	29	41	6,85	6,77	3,27	0,00	0,36
2	0,40	43,17	1,47	0	26	74	10,60	9,80	2,20	-0,60	0,46
3	0,76	67,98	1,01	Turfa	-	-	-	-	-	-	-
4	0,89	26,00	1,85	31	32	37	5,00	6,39	3,35	0,49	0,34
5	1,18	18,90	1,88	23	47	30	5,86	6,87	3,46	0,32	0,37
6	1,70	16,31	1,45	20	46	34	6,15	7,01	3,29	0,28	0,36

5.1 Descrição palinofaciológica

Os resultados quantitativos e qualitativos da análise palinofaciológica, realizada em uma amostra de turfa preservada a 0,76 m do topo do testemunho T-27, demonstram a predominância do grupo dos fitoclastos (figura 4). Estes constituintes da matéria orgânica particulada (MOP) foram divididos em não opacos (de coloração amarela escura a marrom muito escuro) e opacos (de coloração totalmente preta) inclusive em porções marginais de acordo com a classificação de Tyson (1995) e Mendonça-Filho (1999).

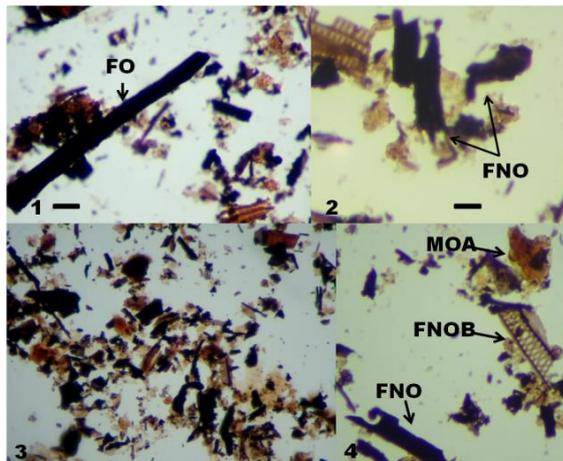


Figura 4: Matéria orgânica particulada da turfa do testemunho T-27. 1. Fitoclastos opacos (FO); 2. Fitoclastos não opacos e não bioestruturados (FNO); 3. Visão geral da lâmina mostrando a quantidade de matéria orgânica particulada; 4. Fitoclastos não opacos e não bioestruturados (FNO), fitoclastos não opacos e bioestruturados (FNOB) e matéria orgânica amorfa (MOA).

Os fitoclastos não opacos e não bioestruturados (FNO) representam 52% da composição total, sendo considerados dominantes seguidos pelo grupo dos fitoclastos não opacos bioestruturados (FNOB) com 17% da composição total da matéria orgânica particulada (MOP). A matéria orgânica amorfa (MOA) apresentou 21% da composição total, indicando maior proximidade à área fluvial (figura 5).

Observou-se que a razão fitoclastos opacos/não opacos é extremamente baixa, caracterizando uma

fácies orgânica com grande conteúdo vegetal terrestre variavelmente oxidada, comum em turfas.

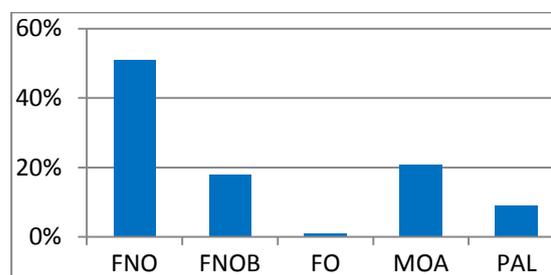


Figura 5: Composição palinofaciológica da turfa do testemunho T-27. FNO: fitoclastos não opacos; FNOB: fitoclastos não opacos bioestruturados; FO: fitoclastos opacos; MOA: matéria orgânica amorfa e PAL: palinomorfos.

Os palinomorfos foram divididos em esporomorfos de origem terrestre, microplâncton de parede orgânica (algas), fungos e palinoforaminíferos, que juntos, representam 9% do total dos palinomorfos analisados. Dentro do grupo de palinomorfos, os grãos de pólen da família Chenopodiaceae, apresentaram 35% da composição total enquanto que os da família Poaceae, apresentam 16%, seguidas das algas *Botryococcus* sp. (16%) e das algas *Zygnematophyceae* (12%). As famílias Araucariaceae e Myrtaceae obtiveram os menores valores percentuais na composição dos palinomorfos, 5% e 1,6%, respectivamente, seguidos de Dinophyta (2,2%), Palinoforaminíferos (4%) e Fungos (8%).

A ocorrência de fungos nas amostras indica tratar-se de ambiente transicional úmido. A presença de *Botryococcus* sp. e de algas *Zygnematophyceae* demonstra a alta contribuição continental dulciaquícola para o ambiente, em detrimento da baixa ocorrência de palinomorfos marinhos. A ocorrência de grãos de pólen constituintes das famílias Chenopodiaceae e Poaceae (comuns em ambientes alagados), seguidos da família Myrtaceae, comum em comunidades ribeirinhas e em ambientes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, vem contribuir para a caracterização paleoambiental deste depósito de turfa que caracteriza um típico ambiente transicional, apresentando baixa lâmina d'água, com exposição subaérea por períodos curtos de tempo, apresentando grande influência continental em

detrimento ao regime marinho, considerado pouco influente.

5.2. Origem do depósito

Provavelmente, durante a última regressão Pleistocênica, quando o nível do mar atingiu a cota dos 120 m, a plataforma continental atual comportava-se como uma ampla planície costeira com o desenvolvimento de drenagens típicas e a presença de ambientes lagunares, pantanosos e praias. Durante esta regressão, a plataforma continental foi perdendo a influência marinha conforme a linha de costa recuava e, em suas depressões, formaram-se lagoas, lagos e pântanos, os quais apresentavam uma vegetação circundante exuberante. A acumulação desta vegetação foi dando início aos depósitos de materiais carbonosos (turfas). Com o início da transgressão, sequências sedimentares foram sendo assentadas sobre a planície costeira da época soterrando assim as sequências carbonosas depositadas nos ambientes lagunares e pantanosos, dando origem aos depósitos turfáceos. Com a continuação da transgressão estes depósitos foram totalmente soterrados por sequências lamosas, como observado na descrição do testemunho T-27 (figura 3).

As turfas observadas sobre a plataforma continental do Rio Grande do Sul estão associadas a depósitos de planícies de inundação relacionados, provavelmente, a paleodrenagem do rio Jaguarão ou Camaquã. Estas planícies de inundações funcionaram como verdadeiras bacias de decantação de material em suspensão. Os sedimentos siltico-argilosos foram depositados durante os períodos de enchentes, na razão provável de 1 a 2 cm por período. Esta planície de inundação era plana e com um clima regional úmido, apresentando uma densa vegetação, a qual foi a matéria base para a formação do depósito turfáceo.

A formação dessa sequência sedimentar, na planície de inundação, ocorreu em um ambiente de baixa energia, possibilitando assim a acumulação dos sedimentos em sequências laminares paralelas.

A deposição dos sedimentos ocorreu durante períodos de cheias, com o transbordamento, as águas tiveram sua velocidade bruscamente reduzida, ocasionando a deposição dos sedimentos mais grossos de sua carga de suspensão nas margens do canal, formando os depósitos de diques marginais. A fração mais fina foi espalhada pela planície de inundação formando as sequências descritas no testemunho T-27 (figura 3).

5.3. Idade do depósito

A turfa obtida do testemunho T-27, sobre a plataforma continental sul-brasileira, datada pela Beta Analytic Inc. (Beta 343479) apresentou uma idade radiocarbônica convencional de 10.460 ± 40 AP, correspondendo a uma idade calibrada de 12.540-12.150 cal anos AP e uma razão de C^{13}/C^{12} ($\delta^{13}C$) de $-17,3\%$ PDB.

A camada de turfa, do testemunho T-27, se encontra recoberta por uma sequência sedimentar de 0,80 m, o que, segundo a idade obtida para a turfa, representa uma taxa de sedimentação para a área estudada de aproximadamente 6,5cm/1000 anos.

O valor $\delta^{13}C$ de carvões betuminosos apresenta uma pequena variação tendo como valor médio -25% (APO). A diminuição de $\delta^{13}C$ do carvão está relacionada com sua origem a partir da fotossíntese de plantas que convertem o CO_2 atmosférico em celulose e outros compostos orgânicos energizados pela luz solar.

Plantas que se acumulam em ambientes redutores sobre áreas continentais são gradualmente convertidas em turfas e, subsequentemente, a lenhite, carvão betuminoso, antracito, e até mesmo em grafite, dependendo da temperatura e da pressão aplicada durante longos períodos de tempo geológico.

Os valores de $\delta^{13}C$ na matéria orgânica (vegetação) são governados por alguns fatores: a composição isotópica de CO_2 assimilado, o caminho seguido pela fotossíntese (C3, C4 ou CAM), temperatura, espécies presentes, salinidade, intensidade da luz e umidade (O'Leary 1981, Hemming *et al.* 1998).

Uma mudança de $1^\circ C$ na temperatura resulta em uma alteração de cerca de $-0,6\%$ na composição isotópica do carbono (Lichtfouse *et al.* 2005).

Plantas que usam o processo Hatch-Slack (plantas C4: aquáticas, desérticas e pantanosas, bem como gramíneas tropicais) são menos empobrecidas em C^{13} que as plantas C3. Estas plantas C4 apresentam valores de $\delta^{13}C$ entre -6 e -23% , com uma média de -13% , segundo Flexor *et al.* (1978) e Schidlowski *et al.* (1983).

Valores de $\delta^{13}C$ de plantas que metabolizam CO_2 pelo ciclo de Calvin (plantas C3: a maioria das plantas presente nos continentes) variam de -23 a -34% em relação ao PDB com uma média de cerca de -27% .

Esta idade obtida para o depósito de turfa corresponde ao período em que o nível do mar encontrava-se entre 60/65 m abaixo do nível atual (Corrêa 1996). O valor obtido da razão C^{13}/C^{12} , para a amostra de turfa, pode corresponder a um depósito de gramíneas de clima tropical à gramíneas de clima temperado, classificadas como plantas do grupo C4, as quais apresentam um valor de $\delta^{13}C$ que varia de -6 a -23% PDB, corroborando com o valor obtido para a turfa do testemunho T-27, a qual apresentou $\delta^{13}C$ igual a $-17,3\%$ PDB. Este valor, segundo a literatura, indica que o depósito turfáceo se desenvolveu em uma planície de inundação com características pantanosas, tendo a matéria turfáceo, uma maior contribuição de material terrestre conforme os dados palinológicos descritos anteriormente.

6. Discussão

Segundo Martins & Martins (2004), a presença de material carbonoso na plataforma continental do Rio Grande do Sul representa um indício seguro da

existência de pântanos de água doce ou salobra, durante estágios de nível de mar mais baixo que o atual. Nessa época a plataforma continental era uma extensa área continental ou transicional, representada por uma ampla planície costeira com um complexo de ambientes de sedimentação associados, como praias, deltas, lagunas, dunas, pântanos, canais fluviais e ilhas-barreiras.

Com o avanço posterior do nível do mar, estas áreas foram completamente inundadas deixando somente feições e depósitos remanescentes dessa antiga paisagem, como acumulações de material carbonoso, resquícios da antiga vegetação e que foram recobertos por sedimentos transgressivos marinhos.

O testemunho T-27, coletado na plataforma continental do Rio Grande do Sul, na isóbata dos 60 m de profundidade, mostrou uma sequência sedimentar formada, da base para o topo, por um silte-areno-argiloso, gradando para um sedimento siltico-argiloso com areia muito fina, seguido de uma camada de aproximadamente 0,05 m de material carbonoso, bastante similar aos depósitos de turfas da planície costeira atual (Delaney 1965). Estes depósitos de material carbonoso encontram-se recoberto por sedimentos argilo-silticos que gradam para um sedimento argilo-siltico com areia muito fina, caracterizando um ambiente paludial ou lagunar.

Este material carbonoso encontra-se às margens de um paleocanal, provavelmente do rio Jaguarão ou Camaquã, descrito por Corrêa (1990), caracterizando uma provável planície de inundação deprimida (figura 6). Esta planície de inundação apresentava uma flora exuberante, a qual propiciou a deposição da matéria orgânica, oriunda desta flora, e a formação dos depósitos de turfa, conforme descrito na figura 2.

Elevadas concentrações de fitoclastos não opacos bioestruturados e não-bioestruturados são geralmente utilizadas para indicar ambientes fluviais (Tyson 1993, Trigüis & Araújo 2001, Mendonça-Filho *et al.* 2002, Meyer *et al.* 2005, 2006, Brito *et al.* 2009, Silva *et al.* 2010). De acordo com Silva *et al.* (2010) a presença de fitoclastos não opacos, constituintes da matéria orgânica particulada, indica condições óxicas e proximidade da fonte fluvial de deposição. Em contrapartida aos fitoclastos opacos, que apresentam maior resistência à degradação, permanecendo no ambiente de origem. Tyson (1993) relacionou os percentuais elevados de fitoclastos opacos à composição sedimentar e a energia do ambiente deposicional. Os fitoclastos opacos são associados aos sedimentos de maior granulometria, relacionados aos ambientes de alta energia. Enquanto que a presença elevada de fitoclastos não opacos é associada aos sedimentos de menor granulometria, relacionados aos ambientes de baixa energia. Da mesma maneira, Meyer *et al.* (2006) relacionaram a maior concentração de fitoclastos opacos a amostras de sedimentos arenosos da lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Brito *et al.* (2009) atribuíram um aumento na proporção de fitoclastos em detrimento a baixa

preservação da MOA ao maior transporte fluvial, indicando ambientes de maior energia e oxigenação.

A dominância de fitoclastos opacos em relação aos fitoclastos não opacos, encontrados em fácies de baixo conteúdo orgânico sugerem ambientes de alta energia. O transporte prolongado ou mudanças no ambiente de deposição, exposição subaérea ou oxidação por transporte associado, podem refletir flutuações na coluna d'água (Tyson 1993, 1995, Mendonça Filho & Menezes 2001).

Habib (1982) relacionou a predominância de fitoclastos opacos e de tamanho reduzido à matéria orgânica de sedimentos marinhos, de origem oceânica, associados a um baixo suprimento fluvial. Menezes (2002) ao realizar a análise palinofaciológica de sedimentos pleistocênicos do talude continental da Bacia de Campos, observou o predomínio de fitoclastos e atribuiu a deposição destes organismos às fácies fluviodeltáicas (proximais) de talude e de bacia marginal.

Os palinomorfos por serem menos abundantes dos três grupos principais da matéria orgânica particulada, apresentaram baixos percentuais de ocorrência (9%) devido à extensão da diluição de fitoclastos e da matéria orgânica amorfa.

A família Chenopodiaceae em sua maioria é composta por plantas herbáceas ou subarbustos, podendo ocorrer como halófitas (Joly 2002). As plantas halófitas são essencialmente terrestres e estão adaptadas a viverem em áreas costeiras, pois são tolerantes à salinidade. Ocorrem em ambientes de mangue, marismas, planícies de inundação e banhados. A família Poaceae é constituída por ervas que ocorrem em ambientes de dunas, banhados e capões (Joly 2002, Boldrini *et al.* 2005).

A presença de *Botryococcus*, um gênero oligotrófico e eurihalino, pode estar relacionada a uma redução da lâmina d'água causada pelo aumento da taxa de evaporação, aumentando assim a salinidade no ambiente deposicional. A ocorrência deste gênero está relacionada a registros fluviais, lagunares e fácies deltaicas (Traverse 1955, Riding *et al.* 1991), podendo indicar a proximidade relativa à área fonte. Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, este gênero ocorre em ambientes de água doce, turfeiras, banhados e lagoas (Medeanic 2006).

7. Conclusões

A presença de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul representa um indício de que esta área fazia parte de uma extensa planície continental ou transicional com a presença de um complexo sistema de ambientes de sedimentação associados, tais como praias, lagunas, deltas, pântanos e ilhas barreiras, formados durante períodos de nível de mar mais baixo que o atual.

O avanço do mar, durante o período transgressivo, mudou esta região, deixando apenas feições e depósitos remanescentes dessa antiga paisagem, formada pelas

acumulações de turfas, resquício da antiga vegetação que cobria a área.

A análise palinofaciológica utilizada como ferramenta na caracterização paleoambiental com base a partir de parâmetros obtidos pelas análises quantitativas e qualitativas da matéria orgânica particulada sugerem uma grande quantidade de

vegetais terrestres, comuns em depósitos turfáceos. O percentual elevado de fitoclastos não opacos sugere uma proximidade da área fonte que em decorrência da hidrodinâmica local, foram transportados em suspensão. A influência fluvial foi marcada pela alta porcentagem de fitoclastos não opacos e palinomórfos de origem terrestre.

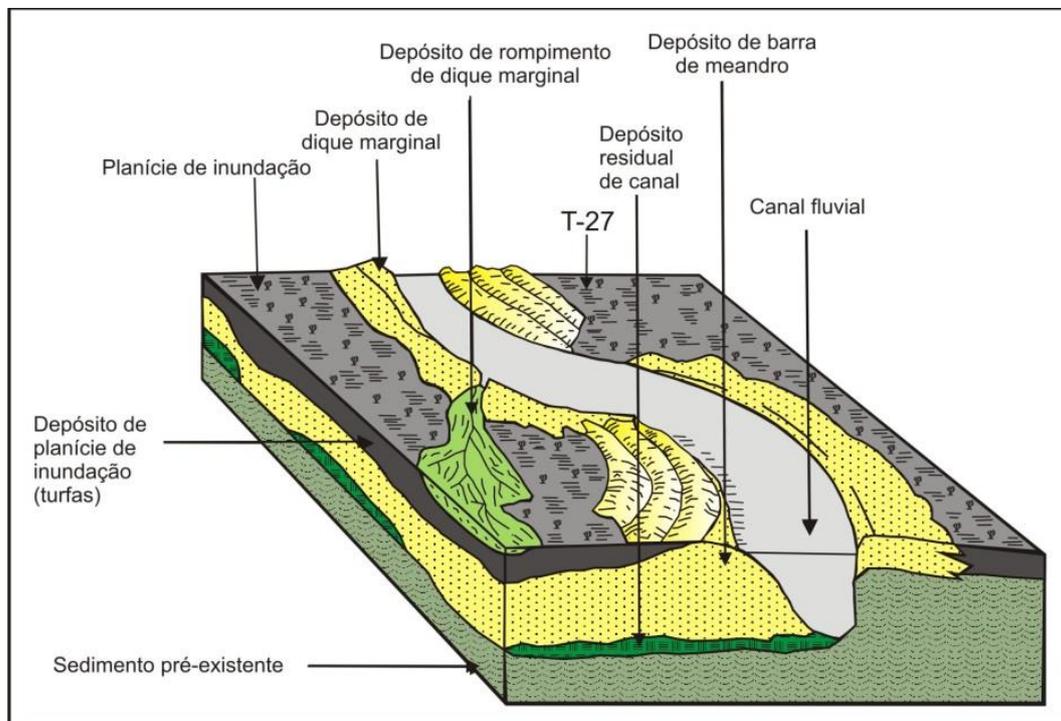


Figura 5: Bloco esquemático do ambiente deposicional da turfa e localização do testemunho T-27 (modificado de Allen 1964).

A ocorrência de grãos de pólen constituintes das famílias Chenopodiaceae, Poaceae e Myrtaceae, comum de ocorrer em comunidades ribeirinhas em ambientes da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, juntamente com a presença de fungos, algas Zygnematomyphyceae e *Botryococcus* sp., sugerem um ambiente transicional úmido de baixa lâmina d'água com baixa influência marinha atribuída à baixa ocorrência de cistos de dinoflagelados e palinoforaminíferos.

A presença deste depósito turfáceo na profundidade de 60 m de lâmina d'água vem a caracterizar a estabilização do nível do mar, durante a grande transgressão Holocênica, por um período mais longo neste nível, possibilitando assim a formação deste depósito.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (processos nº 471518/2010-7, 370274/2011-3 e 300609/2013-2) e FAPERGS (processo 11/0204-7) pelas bolsas de Produtividade e Iniciação Científica e pelas ajudas financeiras recebidas. Agradecem o apoio do técnico de laboratório Gilberto Silveira dos Santos, ao ajudante de laboratório Jonas Lawall dos Santos, pelas análises sedimentológicas realizadas e ao Professor Dr.

Salvador Aliotta da Universidad Nacional del Sur-Argentina, pelas críticas e sugestões.

Referências

- Abreu S. F. 1973. Recursos Minerais do Brasil. 2ª ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, v.2, 325-754p.
- Aguilar S.C. 1987. Fontes energéticas brasileiras – inventário/tecnologia: Turfa. CHESF, v. I e II, Rio de Janeiro.
- Allen J.R.L. 1964. Six cyclothems from the lower Old Red Sandstone, Anglo-Welch Basin. *Sedimentology*, Amsterdam, 3:163-198.
- Alpern M.B. 1976. Les Sciences; la grande encyclopédie alfa des Sciences et techniques. Paris, Idées et Editions, p.106.
- Barletta R.C., Calliari L.J. 2001. Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, 28(2):117-124.
- Brito D.M., Mendonça Filho J.G., Mendonça J.O., Oliveira A.D. 2009. Caracterização organofaciológica do intervalo formacional rio da Batateira, Santana, Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 5. Associação Brasileira de PD em Petróleo e Gás –ABPG, Fortaleza. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/5/publicacoes/repositorio/trabalhos/27012009.3.1.2.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2014.
- Boldrini I.I., Longhi-Wagner H.M., Boechat S.C. 2005. Morfologia e Taxonomia de Gramíneas sul-rio-grandenses. Porto Alegre, Ed. da Universidade/UFRGS, 96p.
- Calliari L.J., Tozzi H.A.M., Klein A.H. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil, Rio Grande to Chui. In: Land-Ocean Interactions in Coastal Zone (LOICZ) Meeting. Academia Brasileira de Ciências, Anais, Rio de Janeiro. 70(2):231-247.

- Corrêa I.C.S. 1990. Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plate-forme continentale Atlantique sud-brésilienne (Rio Grande do Sul-Brésil). Bordeaux. Thèse de Doctorat. N°477. Université de Bordeaux I, Talence-France, 314p.
- Corrêa I.C.S. 1996. Les variations du niveau de la mer durant les dernières 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. Marine Geology, Amsterdam. 130(1/2):163-178.
- Corrêa I.C.S., Weschenfelder J., Toldo Jr. E.E., Baitelli R. 2013. Depósito de turfa na plataforma continental do sul do Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 14. Natal, Resumo dos trabalhos (CD), Natal, 1p.
- Delaney P.J.V. 1965. Fisiografia e Geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Escola de Geologia, UFRGS, Porto Alegre. Publicação Especial 6, 105p.
- Dillenburg S.R. 1994. A laguna de Tramandaí: evolução geológica e aplicação da metodologia geocronológica da termoluminescência. Porto Alegre. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 114p.
- Erdtman G. 1952. Pollen morphology and plant taxonomy-angiosperms. Stockholm, Almqvist & Wiksell, 132p.
- Erdtman G. 1960. The acetolysis method: a revised description. Svensk Botanisk Tidskrift, 54(4):561-564.
- Fægri K., Versen J. 1975. Text-book of pollen analysis. Scientific Publications. Amsterdam, 295 p.
- Flexor J.M., Martin L., Suguio K. 1978. Sobre a utilização da razão isotópica $^{13}C/^{12}C$ na determinação de paleoambientes marinhos e lagunares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, Resumo das Comunicações, Recife, p.173-174.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study on the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27(1):3-26.
- Habib D. 1982. Sedimentary supply origin of cretaceous black shales. In: Shlanger S.O., Cita M.B. (Ed.). Nature and origin of Cretaceous Carbon-rich Facies. Academic Press, London p. 113-127.
- Hemming D.L., Switsur V.R., Waterhouse J.S., Heaton T.H.E., Carter A.H.C. 1998. Climate variation and the stable carbon isotope composition of tree ring cellulose: an intercomparison of *Quercus robur*, *Fagus sylvatica* and *Pinus silvestris*. Tellus 50B: 25.
- Johnson S.W. 1859. Essays on peat muck and commercial manures. Hartford, Brow and Cross. p. 15-18.
- Joly A.B. 2002. Botânica: Introdução à taxonomia vegetal. 13ª ed. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 777p.
- Leinz V., Amaral S.E. 1975. Geologia Geral. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 523p.
- Lichtfouse E., Schwarzbauer J., Robert D. 2005. Environmental Chemistry – Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems. Springer-Verlag Ed. Berlin-Heidelberg. 820p.
- Martins L.R., Martins I.R. 2004. Presença de turfa na plataforma continental do Rio Grande do Sul. Gravel, Porto Alegre, 2:77-85.
- Medeanic S. 2006. Freshwater algal palynomorph records from Holocene deposits in the Coastal Plain of the Rio Grande do Sul, Brazil. Review of Palaeobotany and Palynology 141:83-101.
- Menezes T.R. 2002. Aplicação de parâmetros palinofaciológicos e organogeoquímicos na reconstrução paleoambiental do talude continental brasileiro recente na Bacia de Campos, RJ. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 174 p.
- Mendonça Filho J.G. 1999. Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozoico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Porto Alegre. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 338p.
- Mendonça Filho J.G., Carvalho M.A., Menezes T.R. 2002. Palinofácies: In: Dutra T. L. (Ed.) Técnicas e procedimentos de trabalho com fósseis e formas modernas comparativas, Editora Unisinos, p. 20-24.
- Mendonça Filho J.G., Menezes T.R. 2001. Curso de palinofácies e fácies orgânicas. IGEO, Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 114p.
- Meyer K.E.B., Mendonça Filho J.G., Ashraf A.R. 2005. Análise de palinofácies em sedimentos holocênicos da lagoa dos Quadros, Rio Grande do Sul-Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 8(1):57-72.
- Meyer K.E.B., Souza P.A., Cwik M.R., Menezes T.R., Buchmann F.S. 2006. Palinofácies e processos deposicionais em sedimentos de fundo da lagoa dos Quadros, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Geociências 36(4):569-576.
- O'Leary M.H. 1981. Carbon isotope fractionation in plants. Phytochemistry, 20(44):553.
- Parker G., Perillo G.M.E., Violante R.A. 1978. Características geológicas de los bancos alineados (*linear shoals*) frente a Punta Medanos, Provincia de Buenos Aires. Acta Oceanográfica Argentina. Buenos Aires, Argentina. 2(1):11-50.
- Quadros L.P., Melo J.H.G. 1987. Método prático de preparação palinológica em sedimentos do Pré-Mesozoico. Boletim de Geociências da PETROBRAS, 1: 205-214.
- Riding J.B., Walton W., Shaw D., 1991. Toarcian to Bathonian (Jurassic) palynology of the inner Herbrides, northwest Scotland. Palynology 15: 115-180.
- Salgado-Labouriau M.L. 1973. Contribuição à palinologia dos cerrados. Editora Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 291p.
- Schidlowski M., Hayes J.M., Kaplan I.R. 1983. Isotopic inference of ancient biochemistries: Carbon, sulfur, hydrogen and nitrogen. In: Schopf J.W. (Ed.), Earth's Biosphere: Its Origin and Evolution, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 149-186.
- Sena Sobrinho M. 1950. Reconhecimento geológico na costa sul do porto de Rio Grande ao Chuí. Mineração e Metalurgia. Rio de Janeiro, 8(15):189-191.
- Shaler N.S. 1890. General account of the fresh water morasses of the U.S. Geological Survey, Annual Report. 10:255-339.
- Silva Y.M.P., Meyer K.E.B., Perônico C., Castro P.T.A. 2010. Palinofácies de uma sequência sedimentar quaternária da lagoa Preta, Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 13(1):49-56.
- Toledo L.M.A. 1999. Considerações sobre a turfa no Brasil. Akropolis-Revista de Ciências Humanas da UNIPAR. Universidade Paranaense. 7(28):27-41.
- Tomazelli L.J., Villwock J.A. 1989. Processos erosivos na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível do mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ASSOCIAÇÃO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2. Rio de Janeiro, Resumos..., Rio de Janeiro, p.16.
- Traverse A. 1994. Sedimentation of palynomorphs and palynodebris: an introduction. In: A. Traverse (Ed.) Sedimentation of Organic Particles. Cambridge University Press, Cambridge, p. 1-8.
- Trigüis J.A., Araújo L.M. 2001. Aplicação da petrografia orgânica na caracterização dos tratos de sistemas. In: H.J.P.S. Ribeiro (Ed.) Estratigrafia de sequências fundamentos e aplicações. São Leopoldo, Ed. Unisinos, p. 261-302.
- Tyson R.V. 1993. Palynofacies analysis. In: D.G. Jenkins (Ed.) Applied micropaleontology, Kluwer Academic Publishers, p. 153-191.
- Tyson R.V. 1995. Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies analysis. Chapman & Hall, London, 615 p.
- Urien C.M., Martins L.R., Martins I.R. 1978. Modelos deposicionales en la plataforma continental de Rio Grande do Sul, Uruguay y Buenos Aires. In: CONGRESSO ARGENTINO, 8. Actas, Neuquén, Argentina. 2:639-658.
- Waksman S.A. 1942. The peats of New Jersey and their utilization. New Jersey. Geologic Series, Bulletin. New Jersey, 55p.
- Weber C.A. 1903. Über torf, humus und moor. Abhandlungen Naturwis-senschaftlichen Verein, zu Bramen, 17: 465-484.

Recebido 24 de agosto de 2015
Aceito 22 de fevereiro de 2016