

45 mm

**ESTRATIGRAFIA DE RADAR (GPR) APLICADA A DEPÓSITOS TURFOSOS DO
SUL DO BRASIL**

***APPLICATION OF RADAR (GPR) STRATIGRAPHY TO PEAT DEPOSITS IN
SOUTHERN BRAZIL***

Marcelo Accioli Teixeira de Oliveira¹; Gisele Leite de Lima²; Vivian Jeske-Pieruschka³

Email: maroliv@cfh.ufsc.br

**¹- Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),
Santa Catarina, Brasil; ²- Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Santa
Catarina, Brasil; ³- Departamento de Palinologia e Dinâmica Climática, Instituto
Albrecht-von-Haller para Ciências Vegetais, Universidade Georg-August, Göttingen
(Alemanha)**

**Endereço: Caixa Postal 5175, cep: 88040-970, Trindade, Florianópolis, Santa Catarina,
Brasil.**

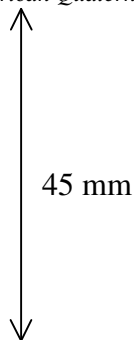
Palavras-chave: GPR, Estratigrafia, Turfeiras, Palinologia

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentamos estudo de caso de turfeira de altitude no Estado de Santa Catarina, cujos depósitos foram analisados através de caracterização geofísica, estratigráfica, sedimentológica, geocronológica e palinológica. O objetivo do estudo é o de avaliar o potencial de turfeiras de altitude enquanto fontes de interpretação estratigráfica para o estudo de mudanças climáticas quaternárias. A chamada estratigrafia de radar (BAKER, 1991) está no centro da abordagem. Devido à filiação existente entre a estratigrafia de radar e a estratigrafia sísmica, as unidades faciológicas identificadas são consideradas como unidades aloestratigráficas (CATUNEANU, 2006), permitindo interpretações deposicionais. Como variações de densidade aparente dos materiais geram fortes refletores GPR (COMAS e SLATER, 2009), a aplicação de radar de penetração dos solos (GPR) à estratigrafia de depósitos turfosos permite: **1)** a delimitação da interface entre o depósito orgânico e seu substrato; **2)** a caracterização da estrutura interna da turfa.

2. ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS

A área de estudo se situa no interior do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, no município de São Bonifácio, no Estado de Santa Catarina, Brasil. O relevo da serra é montanhoso e as altitudes variam de 850 a 1240 m acima do nível do mar. O clima é do tipo Cfb, com temperaturas médias anuais em torno de 20°C e precipitações entre 1.600 e 1.800 mm. As Florestas Ombrófila Densa e Ombrófila Mista com Auracária coexistem no local, formando os Faxinais da Serra do Tabuleiro. Campos naturais de altitude ocupam os topos de



serra. A Serra do Tabuleiro é predominantemente composta por sienogranitos de idade Proterozóica (516 ± 12 Ma), com monzogranitos acessórios.

O levantamento GPR foi realizado com antena de 400-MHz, utilizando janela temporal de 120 ns, o que implica em profundidade de penetração das ondas eletromagnéticas (EM) de 2,2962 m. Os seguintes parâmetros foram calculados: **a)** permitividade dielétrica relativa (ϵ_r) de 61,43; **b)** resolução vertical dos dados de 0,024 m (2,4 cm); **c)** velocidade de propagação das ondas EM no meio de 0,03827m/ns. Os dados foram pós-processados, usando os programas RADAN 6.5 e ReflexW 5.0. A interpretação é realizada segundo os princípios da estratigrafia de radar. Análises granulométricas de rotina (peneiramento e pipetagem) foram efetuadas. Foi realizada análise palinológica por tratamento padrão com ácido fluorídrico (HF) e acetólise. Os dados de contagem são apresentados em diagramas de porcentagem, e foram submetidos à análise de agrupamento para definição de fases ambientais. Datações por radiocarbono (^{14}C) foram efetuadas na Universidade da Geórgia (EUA) e na Universidade Erlangen-Nürnberg (Alemanha). Datações por luminescência opticamente estimulada (LOE) foram efetuadas na FATECSP (São Paulo).

3. RESULTADOS

A descrição de refletores de radar permite a individualização de vários pacotes de radar, cuja associação leva à subdivisão da turfa em quatro zonas distintas, dispostas em ordem estratigráfica (**Figura 1.A**): zona 1 (Z1); zona 2 (Z2); zona 3 (Z3), zona 4 (Z4). Com a exceção dos três pacotes superiores da Z2 (8, 9, 10), que são essencialmente lamosos, os materiais de todos os pacotes de radar das Z2 e Z1 contêm alta proporção de areias e cascalho. As zonas de radar correspondem à estratigrafia geral do depósito turfoso, definindo unidades deposicionais distintas.

Os pacotes de radar da Z1 definem corpos de geometrias distintas: em lençol (4.a, 4.b), cunha (3), lentes (1, 2), canal (5) (**Figura 1.B**), atestando a variabilidade de padrões deposicionais no período (64 ka a 45 ka) (**Quadro 1**). Vislumbra-se para a Z1 cenário paleoambiental associado a fluxos esporádicos, de caráter torrencial, retrabalhando materiais superficiais ocupados por vegetação aberta, em período que coincide com o início do interestádio do estágio isotópico marinho 3 (EIM 3). A unidade sobrejacente (Z2) tem depósitos cujas idades LOE e ^{14}C variam de 39 ka a 13 ka, abarcando período entre a metade superior do EIM 3 e o glacial tardio, incluindo o último máximo glacial (UMG), durante o EIM 2. Lamas arenosas e cascalhosas estão associadas a fortes refletores GPR, no setor NW do perfil, onde os pacotes de radar 6 e 7 possuem geometria em lençol (**Figura 1.B**). No setor SE do perfil, os pacotes têm geometria lenticular e estão dispostos em recobrimento retrativo (*offlap*), indicando que os materiais lamosos desses pacotes de radar (8, 9 e 10) foram depositados em progradação, em ambiente lântico, que evidencia a existência de banhado raso sob efeito de rebaixamento do nível de base (NB) local.

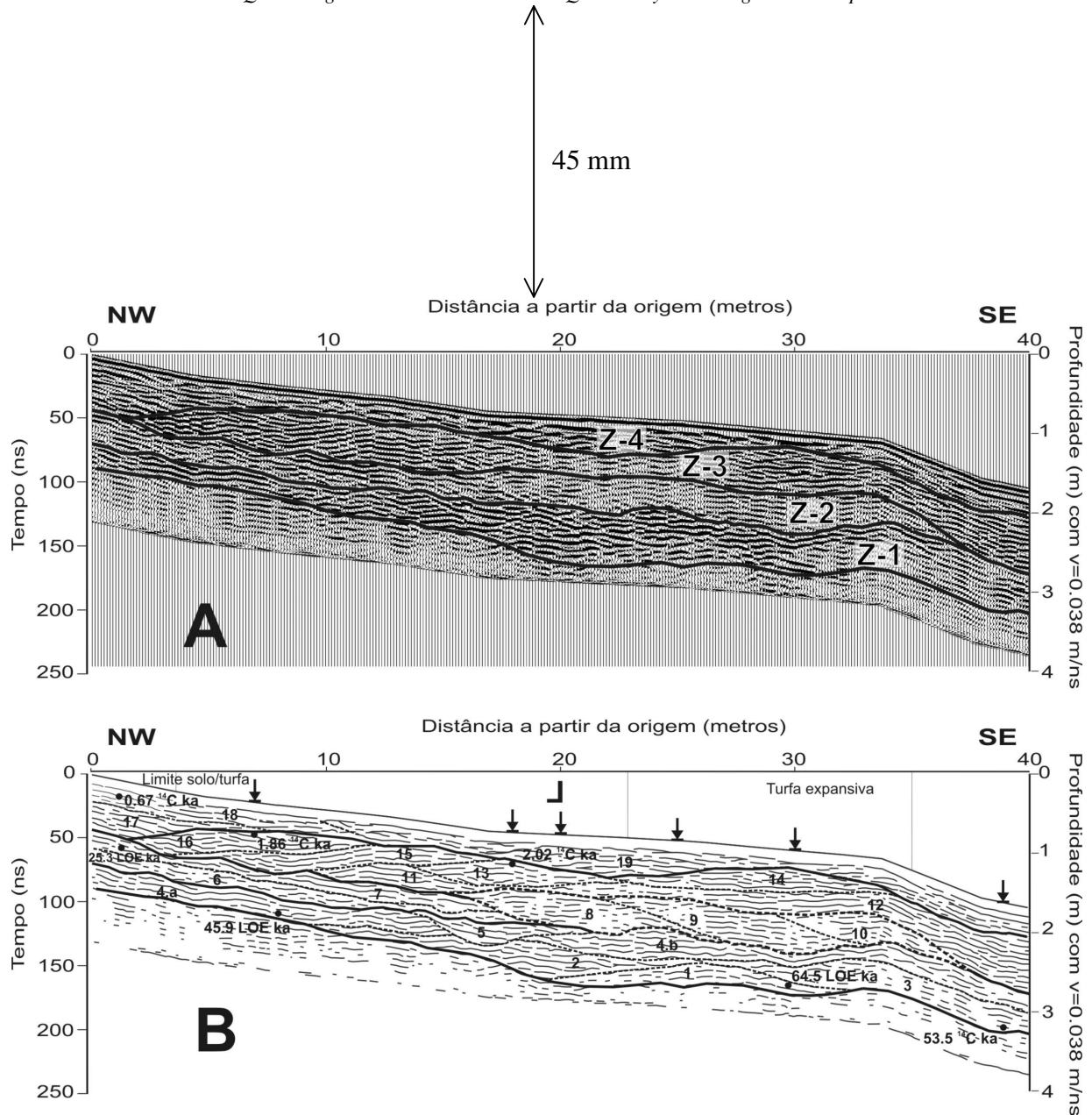


FIGURA 1: Perfil de radar. **A:** perfil sem interpretação de detalhe, indicando as principais zonas de radar. **B:** perfil interpretado, com distribuição e geometria dos pacotes de radar.

Os depósitos da Z3 possuem idades ¹⁴C que abarcam todo o Holoceno (de 10 ka a 1,8 ka) (**Quadro 1**). Os sedimentos são predominantemente turfosos e constituem o catotelmo da turfa. Os pacotes 13, 15 e 16 estão dispostos em retrogradação (**Figura 1.B**), em recobrimento expansivo (*onlap*) na base, e em supra-recobrimento (*toplap*) no topo. Essas evidências documentam período de ambiente mais úmido, associado ao desenvolvimento de depósitos tipicamente turfosos, acumulados sob o efeito de lençol freático (NB) em elevação. Os materiais da Z4 compõem o acrotelmo da turfa (pacote 19), de idades ¹⁴C históricas. Os refletores no pacote estão dispostos em recobrimento expansivo (*onlap*) para NW.

Os dados palinológicos podem ser divididos em quatro fases (**Figura 2**). A correspondência entre as fases polínicas e as zonas de radar é indicada a direita da figura, e reforça a noção de estratificação da turfa estudada.

45 mm

QUADRO 1: Datações radiométricas (^{14}C) e radiogênicas (LOE) dos depósitos estudados.

Estratigrafia	Código Lab.	Profundidade	Método	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Idade (anos BP)
Z4	UGAMS-5970	20 cm	Cintilação líquida	-21.5	400 ± 20
Z4	UGAMS-5969	20 cm	Cintilação líquida	-23.7	670 ± 25
Z3	UGAMS-5968	35 cm	Cintilação líquida	-20.5	1,860 ± 25
Z3	UGAMS-5967	40 cm	Cintilação líquida	-18.6	2,020 ± 30
Z4	Erl-11255	34 cm	AMS	-20.0	459 ± 44
Z3	Erl-12097	47 cm	AMS	-18.8	3,820 ± 39
Z3	Erl-12656	61 cm	AMS	-17.2	7,327 ± 45
Z3	Erl-11256	71 cm	AMS	-26.5	10,536 ± 63
Z2	Erl-12657	83 cm	AMS	-26.5	13,399 ± 72
Z2	Erl-12098	94 cm	AMS	-28.1	19,439 ± 115
Z2	Erl-12099	122 cm	AMS	-27.2	25,380 ± 152
Z2	Erl-11257	167 cm	AMS	-28.9	39,407 ± 681
Z1	UGAMS-5144	210 cm	AMS	-28.6	53,560 ± 1,450

Estratigrafia	Código Lab.	Profundidade	Dose anual (mGy/ano)	Dose acumulada LOE (Gy)	Idade LOE (anos)
Z2	LVD-2551	140 cm	2,512 ± 181	63.58	25,300 ± 3,100
Z1	LVD-2550	84 cm	2,223 ± 118	102.06	45,900 ± 4,700
Z1	LVD-2439	175 cm	2,190 ± 129	141.23	64,500 ± 7,000
Z1	LVD-2438	120 cm	2,625 ± 168	260.99	99,400 ± 11,300
Z1	LVD-2440	190 cm	1,907 ± 109	304.60	159,700 ± 17,100

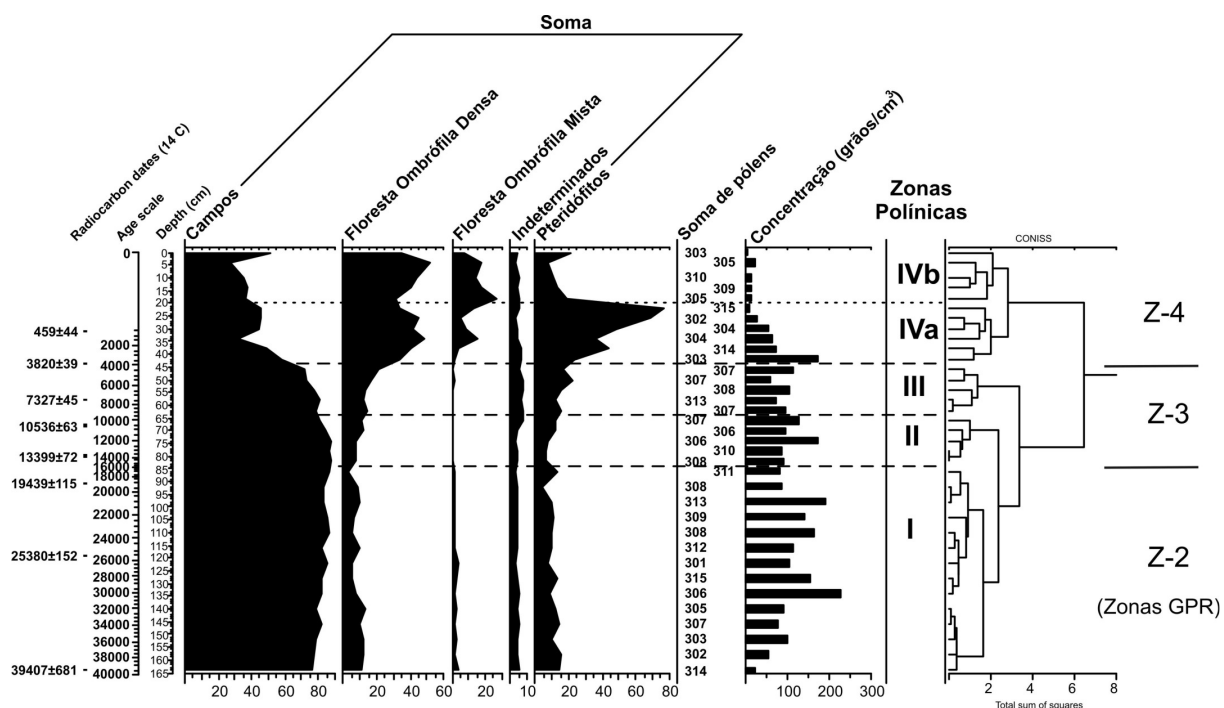
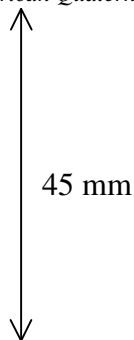


FIGURA 2: Diagrama palinológico de soma e associação entre zonas polínicas e zonas GPR.

A Fase polínica I (164-84 cm; 38.470 a 14.100 ^{14}C anos AP) ilustra ecossistema dominado por gramíneas (*Campos*), com árvores e pteridófitos arbóreos em refúgios mais úmidos, sob clima mais seco e frio em altitude, em período que coincide com o final do EIM 3, com o EIM 2 e com o glacial tardio (Figura 2). Há ainda evidências de banhados rasos



locais no diagrama percentual (não ilustrado). A Fase polínica II (84-64 cm; 14.100 a 8.290 ^{14}C anos AP) sugere período ainda mais seco e frio do que o anterior, entre o glacial tardio e o Holoceno inferior, sobretudo no início do registro. Posteriormente, houve condições de preservação local da umidade, favorecendo a ocorrência de *Sphagnum* e de *Selaginella excurrens*, que cresce em terrenos úmidos. Igualmente, pteridófitos e táxons de floresta iniciam expansão. A Fase polínica III (64-44 cm; 8.290 a 3.050 ^{14}C anos AP) está associada a clima mais úmido e quente, durante o qual a superfície da turfeira passa a ser dominada por *Sphagnum*. A Fase polínica IV (44-0 cm; 3.045 ^{14}C anos AP até o presente) é caracterizada pelo aumento de táxons da Floresta Ombrófila Densa (de 34% para 53%) e da Floresta Ombrófila Mista (de 1% para 26%). Os *Campos* acusam retração importante.

4. OBSERVAÇÕES FINAIS

Ocorre coincidência entre a interpretação da estratigrafia de radar e a da palinologia. No início do depósito (Fase I da palinologia e Z2 da estratigrafia de radar), facies aluviais e lamosas, associadas a pequeno banhado em vias de colmatção entre o UMG (EIM 2) e o glacial tardio, são depositadas sob clima mais frio e mais seco (**Figura 1.B**). Apesar disso, observa-se no período ocorrência de vegetação adaptada a água límpida e a terrenos úmidos, respectivamente, *Isoetes* e *Selaginella*. A interpretação estratigráfica é corroborada pelos dados palinológicos: havia um banhado no local aonde a turfeira viria a se desenvolver. A Fase polínica II (**Figura 2**) coincide com a metade inferior da zona de radar Z3, e documenta clima mais seco entre o glacial tardio e Holoceno inferior. A presença de *Sphagnum* no período pode ser explicada por processo de retroalimentação típico de turfeiras em estágio ombrotrófico, justificando a formação do catotelmo no período. A interpretação para a Fase polínica III (clima mais úmido e quente) justifica configuração dos refletores da Z3, com estruturas típicas de elevação do NB (unidades em recobrimento expansivo - *onlap*).

REFERÊNCIAS

- Baker, G. S., 1991. Response of ground-penetrating radar to bounding surfaces and lithofacies variations in sand barrier sequences. *Exploration Geophysics*, 22, pp. 19-22.
- Catuneanu, O., 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam.
- Comas, X. e Slater, L. D., 2009. Noninvasive field-scale characterization of gaseous-phase methane dynamics in peatlands using the ground-penetrating radar method. In Baird, A. J.; Belyea, L. R.; Comas, X.; Reeve, A. S.; Slater, L. D. (ed.) *Carbon Cycling in Northern Peatlands*. Washington, American Geophysical Union (pp. 159-171).