



## Estudo de Caso- Avaliação de Áreas Impactadas por Hidrocarbonetos em solo, Utilizando GPR (Ground Penetrating Radar) e Geoquímica

Márcia Mary de Oliveira e Silva Passos, Olyverson Lyra Porto, Rodrigo Oliveira, Brain Tecnologia

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Resumo

A elaboração do presente trabalho tem como finalidade apresentar a metodologia utilizada pela Brain tecnologia para diagnóstico geoambiental em área impactada por hidrocarboneto decorrente da deposição incorreta de resíduos oleosos. Para tal foram utilizadas as técnicas GPR (Ground Penetrating Radar) juntamente com um plano de sondagem detalhado para a definição do arcabouço geológico da região e execução de análises geoquímicas para a avaliação da área impactada por hidrocarbonetos.

**Palavras chaves:** GPR;Hidrocarboneto; Geoquímica.

### Introdução

A integração dos métodos geofísicos e geoquímicos apresenta-se como uma ferramenta precisa para a avaliação de impacto ambiental causado por acidentes envolvendo hidrocarbonetos. Para cumprir os objetivos propostos foram utilizados métodos, indiretos (geofísica) e diretos (geoquímica), de investigação, destacando o GPR (Ground Penetrating Radar). O GPR é uma ferramenta muito utilizada atualmente para investigação rasa de subsuperfície, possibilitando assim no caso específico do presente trabalho o estudo da estratigrafia dos sedimentos além de determinar áreas contaminadas por hidrocarbonetos totais de petróleo. Agregado com um plano de sondagem bem detalhado, orientado pelo método geofísico, com análises químicas de amostras de solo para a avaliação de impacto ambiental causado por acidentes envolvendo hidrocarbonetos.

### Metodologia

O trabalho apresentou as seguintes etapas para a sua execução:

- (1) Levantamento Geofísico: constituído pelos levantamentos GPR 2D;
- (2) Sondagem e Geoquímica: constituído pela execução de sondagens a trado manual, amostragem de solo e análises geoquímicas;

Os dados de GPR foram obtidos com equipamento *Ramac da Mala*, com antenas de 100MHz mantidas fixas a 1(um) metro de distância, janela de tempo de 520 ns, com aquisição estática. O sinal alcança uma profundidade de aproximadamente 10 metros. Para a interpretação do GPR, utilizou-se o aplicativo Seis Vision®, pertencente a suíte de aplicativos GeoGraphix® da Landmark.

A campanha de sondagem contou com a execução de perfurações a trado atingindo uma profundidade máxima de 7,00 metros em cada ponto. Seu objetivo principal foi coletar amostras de solo para análises geoquímicas e descrição geológica. Tais sondagens foram distribuídas pelo sítio em estudo de forma a caracterizar as anomalias detectadas pelo GPR as quais podem estar associadas à presença de hidrocarbonetos.

A área investigada trata-se de um aterro destinado aos resíduos de processo do refino em contato basal com a formação local constituído de argilitos e arcóseos. Para cumprir os objetivos do trabalho serão apresentadas seções de GPR 2D correlacionadas com furos de sondagens, onde foram observados material adsorvido no solo e depois comprovados pelas análises geoquímicas.

### Resultados

A interpretação de GPR foi baseada em conceitos de radar-estratigrafia, definidos por Neal (2004), procurando-se individualizar as diferentes radar-facies presentes em cada seção, através da separação de pacotes similares em termos de estrutura interna dos refletores (forma, mergulho, relação e continuidade). Aliado a estes parâmetros geológico-estratigráficos, procurou-se identificar feições e anomalias próprias do GPR. As feições com boa definição de refletores são decorrentes de materiais de baixa permissividade relativa e baixa condutividade elétrica, enquanto os refletores de baixa qualidade são produtos de materiais de alta permissividade relativa e alta condutividade, capazes de impedir a penetração da onda eletromagnética comprometendo desta forma a resolução do sinal radar.

Fazendo uso dos parâmetros acima descritos, a estrutura interna dos refletores (forma, mergulho, relação e continuidade), denota a presença de um aterro, sendo também identificado os argilitos e arcóseos da Formação local. Os pacotes estão representados pela seguinte seqüência vertical, a partir do topo para base, como mostra a Figura 1:

**Pacote 1:**

Apresenta limites superior e inferior concordantes com fortes refletores planos, sem mergulho, internamente paralelos e contínuos, sendo associado, neste caso à onda direta entre as antenas e também a refrações rasas do pulso eletromagnético. Esta região do sinal é conhecida como zona de sombra, não trazendo informações geológicas.

**Pacote 2:**

Apresenta limites superior e inferior concordantes, com refletores planos a levemente sinuosos, sem mergulho, internamente paralelos e moderadamente contínuos, sendo associado, neste caso, com base nos furos de sondagem, a uma seqüência argilosa a argilo-arenosa, que pode ter como gênese os trabalhos de terraplanagem feitos sobre o aterro e também ao tráfego de veículos pesados. Importante ressaltar que este pacote não é notado em todas as seções da área.

**Pacote 3:**

Apresenta limite superior concordante a *toplap* e inferior *baselap*, os refletores internos se apresentam sob forma levemente sinuosa a sigmoidal, sem mergulho. Internamente subparalelos a oblíquos e moderadamente contínuos, sendo associado, neste caso, com base nos furos de sondagem, a uma seqüência arenosa, que pode ter como gênese uma cava preenchida, visto evidências de blocos e/ou objetos enterrados (caracterizados por reflexões hiperbólicas) e também evidências do preenchimento gradual do aterro (caracterizada por feições sigmoidais das camadas em subsuperfície). A Figura 2 mostra esta cava delimitada segundo a interpretação feita com as imagens de GPR 2D, delimitadas pelos Horizontes de topografia e da cava.

**Pacote 4:**

Apresenta limite superior discordante. Internamente os refletores se apresentam sob forma sinuosa, sem mergulho aparente, internamente oblíquos e descontínuos. Os resultados diretos da sondagem indicaram a presença de uma seqüência argilo-arenosa. Como as sondagens não atingiram profundidade superiores a sete metros nessa parte da área, neste caso com base somente na radar estratigrafia observa-se uma continuidade do material de aterro levando a interpretação deste pacote como sendo um período de evolução mais tardio deste aterro, caracterizado pelas descontinuidades dos refletores até a profundidade de 13 metros.

As Figuras, 3 e 4 mostram as seções de GPR-2D, ilustrando os horizontes (linhas de tempo deposicionais) e os pacotes citados acima. Os componentes responsáveis pela variação do sinal eletromagnético estão relacionados à presença resíduos de processo do refino, *big bags* enterrados e materiais decompostos (tambores, embalagens), confirmadas e associadas nos furos de sondagem SD01, SD02 SD03,SD04 e SD 05 a pontos anômalos descritos no pacote de aterro.

Com base nas informações de geofísica e de sondagem foi elaborado um modelo geológico apresentando o contexto local para a área como mostra a Figura 5

As amostras coletadas foram submetidas a análises geoquímicas onde foram analisados os compostos de hidrocarbonetos **HTP (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo)**, **HPA (Hidrocarbonetos Poliaromáticos)** e **BTEX (Benzeno/Tolueno/Xilenos Totais/Etilbenzeno)**

Os resultados analíticos de hidrocarbonetos no solo estão distribuídos nas Tabelas 01 extraídas nas sondagens executadas. Os resultados que superaram os valores orientadores foram destacados em amarelo. Estão listados nas tabelas os valores orientadores compilados da Lista Holandesa, da CETESB e da EPA Regional 9.

**Conclusão**

Pode-se concluir que métodos geofísicos aplicados (GPR) balizados ao longo por sondagens, mostram-se eficientes, rápidos e seguros na detecção de zonas impactadas.

Permite-se com isso uma racionalização dos trabalhos de sondagens e das análises físico-químicas e, sobretudo, a um menor custo, incorporar um número de interpretações interativas e recursivas que aumentam a precisão da localização das zonas afetadas,

A integração das ferramentas geofísicas e geoquímicas apresenta-se como uma das mais precisas metodologias para a avaliação dos possíveis impactos ambientais rasos, envolvendo hidrocarbonetos e/ou produtos químicos, uma vez que permite visualizar o meio físico e a pluma de contaminantes em subsuperfície, através do delineamento de contrastes físicos e químicos das diversas feições que os constituem.

**Agradecimentos**

À Brain Tecnologia Ltda.

**Referências:**

NEAL, Adrian. 2004. *Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress*. School of Applied Sciences, University of Wolverhampton, Wulfruna Street, Wolverhampton WV1 1SB, UK Received 22 April 2003; accepted 19.

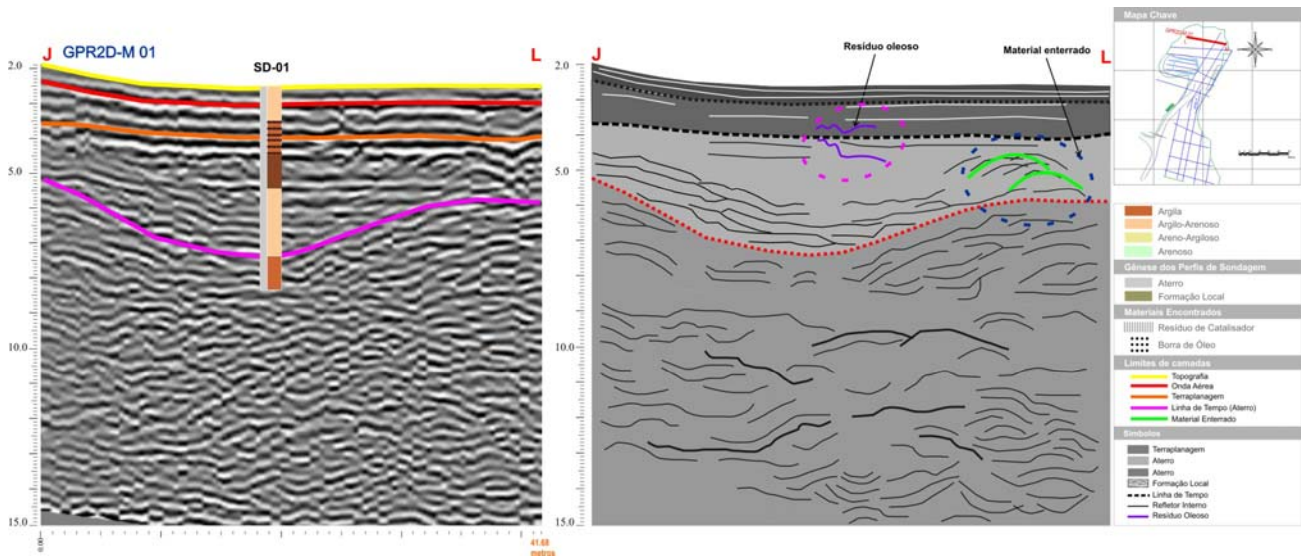


Figura 01

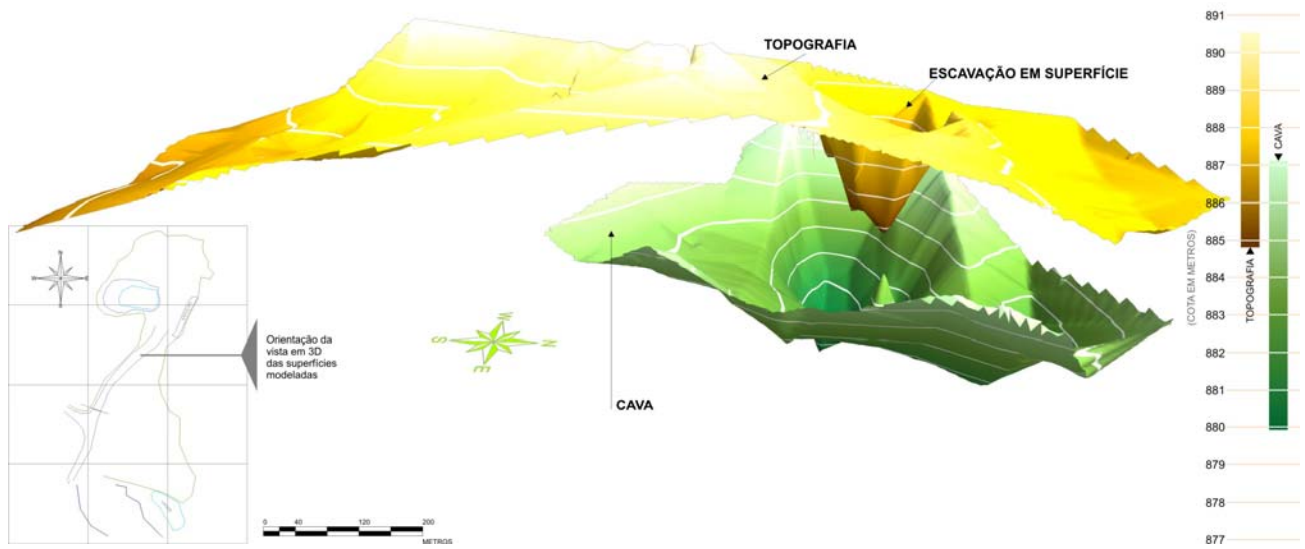


Figura 02

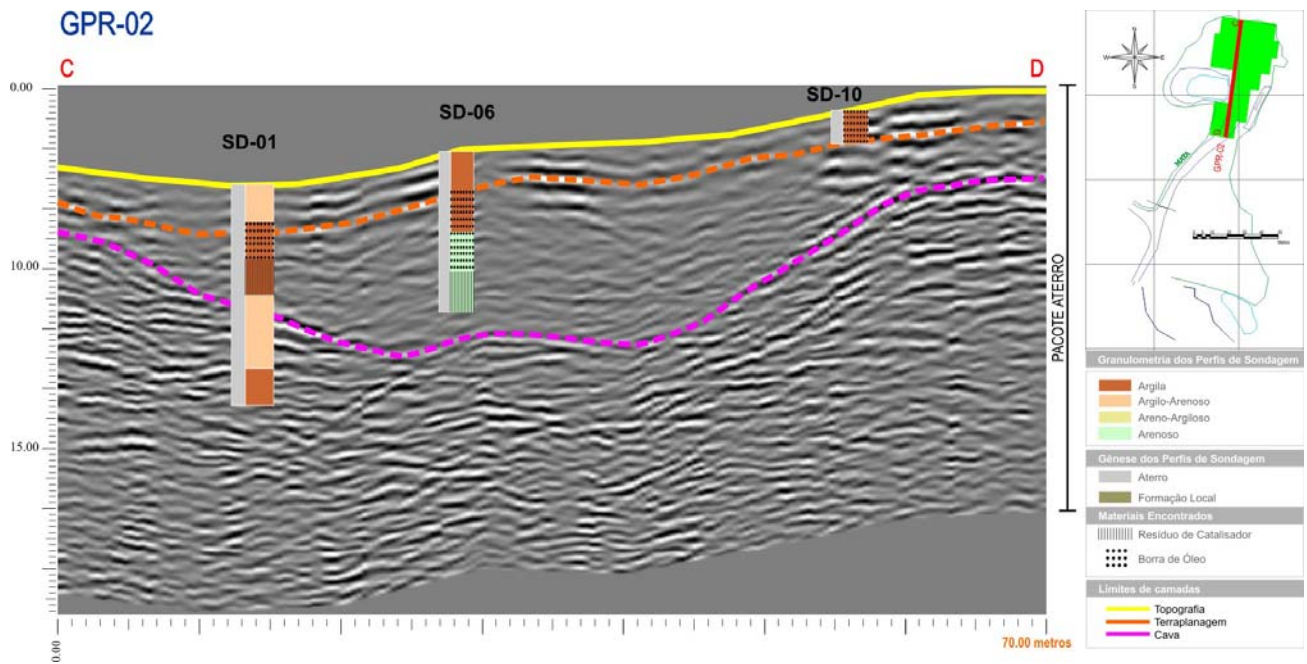


Figura 03

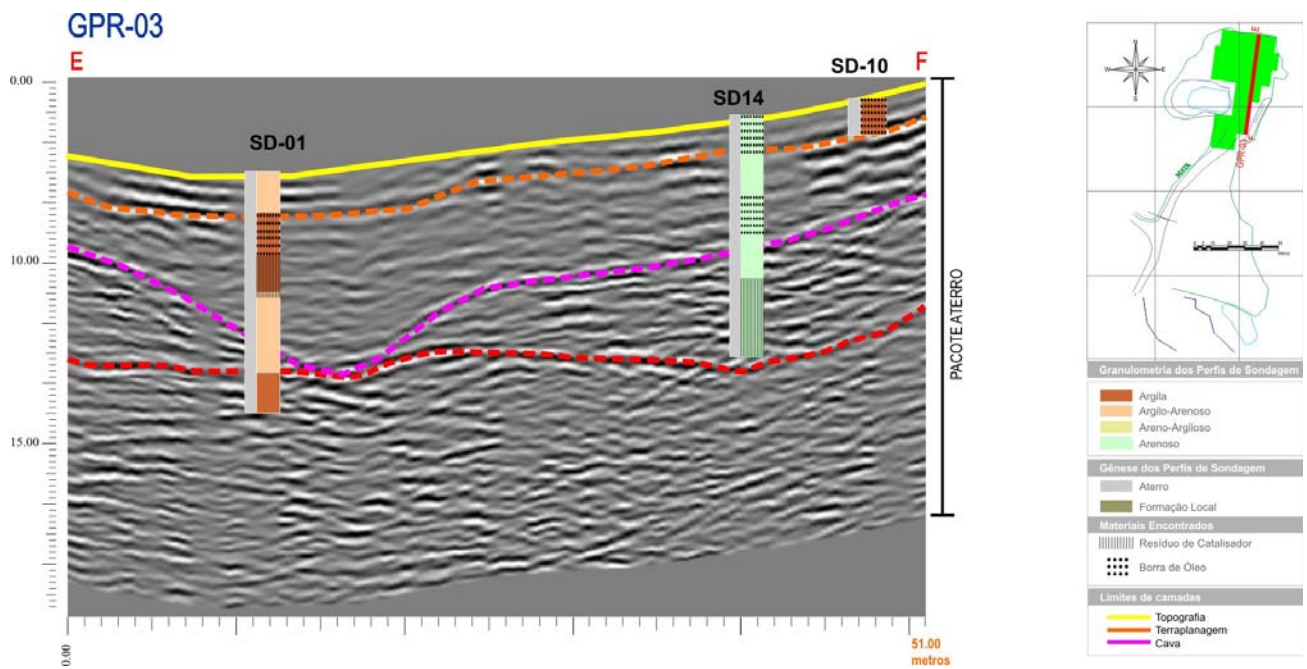


Figura 04



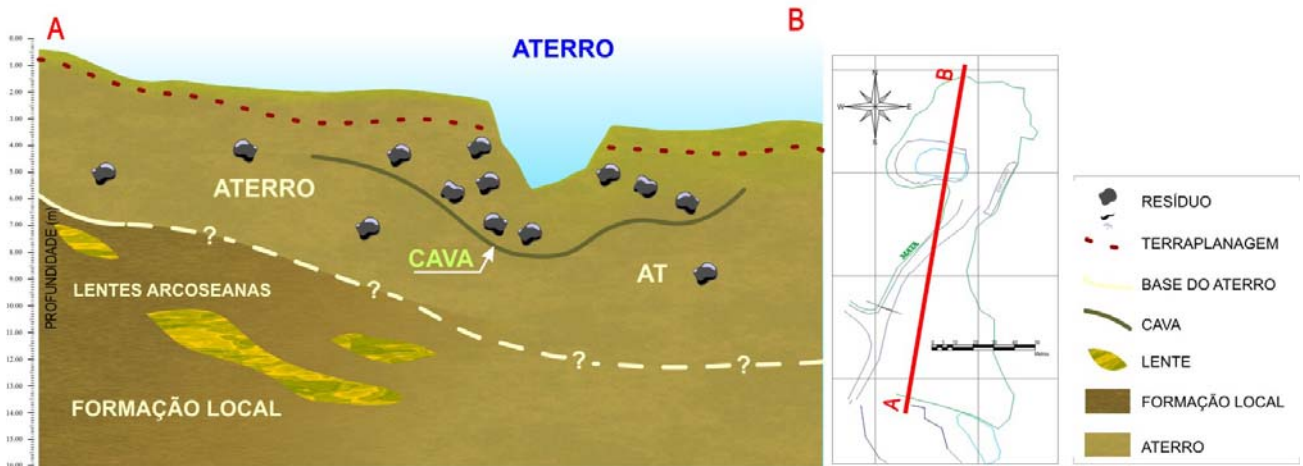


Figura 05

SD	UNIDADE		HPA																	BTX						
	TPH	HPA TOTAL	BaP	BbF	BkF	Cris	AcI	Flu	Ant	B(ghi)P	Fen	D(a,h)A	I(123cd)P	Pir	Act	Fluoranteno	Naf	BaA	B	T	E	m,p-x	o-x			
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		
	FONTE	L Hol	CET	EPA R9	EPA R9	EPA R9	-	EPA R9	EPA R9	-	CET	CET	CET	EPA R9	EPA R9	EPA R9	CET	CET	CET	CET	CET	CET	CET	CET		
	VALOR	L Hol	5000	40	3,5	2,1	21	210	26000	100000	95	1,3	130	29000	29000	22000	90	65	0,15	75	95	70	70	70		
	PROF.	5000	40	3,5	2,1	21	210	26000	100000	95	1,3	130	29000	29000	22000	90	65	0,15	75	95	70	70	70	70		
SD-01	1,00	< 12,8	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-01	2,00	< 13,6	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-01	3,00	24,2	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-01	4,00	19	0,11	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-01	5,00	24	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-01	6,00	< 13,2	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-02	1,00	53,5	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-02	2,00	47,7	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-02	3,00	7076	5,7	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	1,3	< 0,3	< 0,3	2,2	< 0,3	< 0,3	0,86	< 0,3	< 0,3	1,1	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,03	< 0,01
SD-02	4,00	288	0,21	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,06	0,02	< 0,01	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-02	5,00	127	0,13	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-02	6,00	79,2	0,13	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-03	1,00	26,1	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,03	< 0,02	
SD-03	2,00	< 12,8	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-03	3,00	8849	18,23	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,2	< 0,4	6,3	< 0,4	< 0,4	1,7	< 0,4	0,63	5,3	2,8	< 0,02	< 0,02	0,31	< 0,03	< 0,02	< 0,01	
SD-03	4,00	13384	9,6	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,7	< 0,4	< 0,4	4,1	< 0,4	< 0,4	0,93	< 0,4	< 0,4	2,3	< 0,4	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-04	1,00	64540	15,12	0,85	< 0,4	< 0,4	1,2	< 0,4	1	0,92	1,5	3,2	< 0,4	< 0,4	2,4	< 0,4	0,65	1,6	4,4	0,03	0,01	0,14	0,04	0,03	< 0,01	
SD-05	1,00	7588	26,47	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	4,1	1,6	< 0,4	10	< 0,4	< 0,4	0,88	< 0,4	0,47	1,2	< 0,4	65	< 0,01	39	23	8,9	< 0,01	
SD-05	2,00	2330	7,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,98	< 0,5	< 0,5	2,4	< 0,5	< 0,5	0,88	< 0,5	< 0,5	1,3	< 0,5	0,39	0,1	0,52	0,28	0,08	< 0,01	
SD-05	3,00	3466	0,49	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,15	< 0,01	< 0,01	0,05	< 0,01	0,01	0,16	0,1	< 0,02	13	32	106	58	< 0,01	
SD-05	4,00	1398	0,33	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	0,02	< 0,01	0,12	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,1	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,01	
SD-05	5,00	721	0,15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	
SD-05	6,00	9118	8,33	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,99	< 0,5	< 0,5	2,2	< 0,5	< 0,5	0,83	< 0,5	0,53	2,1	< 0,5	< 0,02	< 0,02	0,1	0,04	0,05	< 0,01	
SD-05	6,00	20	< 0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,01	
SD-05	7,00	175	0,13	0,02	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,03	< 0,01	

Tabela 01

