



# Parâmetros físicos e hídricos para monitoramento da recuperação de uma área degradada pela retirada dos horizontes superficiais do solo na Província Petrolífera de Urucu – AM.

W.G. TEIXEIRA<sup>(1)</sup>, G.C. MARTINS<sup>(1)</sup>, R. MACEDO<sup>(2)</sup> & M. R. L. RODRIGUES<sup>(1)</sup>

## RESUMO –

A margem do rio Urucu se localiza a província de gás e petróleo na Amazônia, denominada Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM). Nesta área são abertas clareiras que expõem na superfície camadas de solo densas e com a presença de plintita. Estas camadas apresentam uma baixa condutividade hidráulica numa estrutura quase que maciça. O desenvolvimento de boas características físicas, químicas e hídricas nas camadas superficiais deste tipo de terreno e a sua recomposição florística é um desafio que tem motivado vários grupos de pesquisa a fazer monitoramentos e intervenções nos processos de revegetação destas áreas alteradas. O objetivo deste estudo é apresentar metodologias e parâmetros indicativos para o monitoramento da qualidade física e hídrica destas camadas expostas na superfície do terreno. As avaliações da foram conduzidas na BOGPM, num experimento utilizando como plantas de cobertura as espécies *Flemingea* (*Flemingea macrophylla*) e *Tefrosia* (*Tefrosia candida*). Neste trabalho são apresentados os resultados das avaliações de resistência à penetração (RP), cor do solo, e dinâmica da umidade do solo. Os menores valores da RP nas parcelas cobertas pela *Flemingea* sugerem uma maior eficiência desta espécie na estruturação do solo, esta espécie também demonstrou ser mais tolerante ao encharcamento que a *Tefrosia*. A cor do solo é um parâmetro de fácil determinação dando boas indicações quanto aos processos de recuperação dos teores de carbono orgânico. A presença de ambientes encharcados é indicada pelos mosqueados. A dinâmica da umidade do solo mostrou uma reduzida capacidade de infiltração e transmissão da água das chuvas para as camadas mais profundas do solo. As camadas superficiais, originalmente já densas e com baixa porosidade apresentam uma reduzida infiltração de água, uma baixa porosidade de aeração e conseqüentemente elevadas taxas de erosão. O sucesso na regeneração de áreas degradadas com as características mencionadas está condicionado não somente a um aumento dos teores de nutrientes e carbono, mas como também ao uso de práticas de manejo que permitam o desenvolvimento de poros que permitam fluxos de ar e solutos de forma mais efetiva.

Palavras-Chave: TDR, Penetrômetro, *Flemingea*.

## Introdução

As margens do rio Urucu no município de Coari – AM se localiza a maior província de gás e petróleo da Amazônia, denominada Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM). Nesta província para a extração do petróleo e gás são abertas clareiras na mata primária para instalação dos poços e principalmente para retirada de material de solo para obras civis, principalmente a construção de estradas. Há um esforço na revegetação destas clareiras principalmente naquelas onde há retirada dos horizontes superficiais do solo. A classe de solo predominante na região são ARGISSOLOS com a presença de horizontes plinticos (Figura 1) na subsuperfície (Teixeira *et al.*, 2004). Estes horizontes plinticos, densos e com elevados teores de silte que acabam sendo exposto na superfície com a retirada dos horizontes superficiais originais do solo. A criação de boas características físicas e químicas nesta camada de solo exposta na superfícies e a recomposição florística das clareiras é um desafio que tem motivado vários grupos de pesquisa a fazer monitoramentos e intervenções nos processos de revegetação destas áreas alteradas. O desenvolvimento e a “construção” de um novo horizonte superficial é um processo complexo e crucial para a redução dos processos erosivos e o estabelecimento da vegetação e da fauna do solo. O objetivo deste estudo é apresentar metodologias e parâmetros indicativos para o monitoramento da qualidade física e hídrica desta camada superficial do solo.

## Material e métodos

As avaliações da foram conduzidas na área denominada Jazida 21 (Figura 1) na BOGPM, município de Coari, AM, localizada entre os paralelos de 4° 45' e 5° 05' S e os meridianos de 65° 00' e 65° 25' W. A Jazida 21 apresenta um experimento de revegetação com plantios estabelecidos em outubro de 2003. Neste experimento foram utilizadas como planta de cobertura as espécies - *Flemingea* (*Flemingea macrophylla* (Willd.) Merr) e *Tefrosia* (*Tefrosia candida*). Nesta jazida é feito um monitoramento de diversos parâmetros físicos, químicos, biológicos e agrônômicos. Neste trabalho são apresentados os resultados das avaliações de resistência à penetração (RP), cor do solo, e dinâmica da umidade volumétrica do solo.

## Resistência a penetração (RP)

A RP foi estimada utilizando-se um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF de ponta

de 30° (Stolf, 2004). As avaliações foram realizadas na Jazidas 21 e numa área de floresta primária adjacente. Avaliou-se o número de impactos por decímetro (dm) na camada de 0-30cm de profundidade. O número de impactos por dm foi transformado para  $\text{Kgf cm}^{-2}$ . Concomitantemente foi feita a avaliação da umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ), utilizando uma sonda *Time Domain Reflectometry* (TDR) (Easy-Test, Polônia) para o controle da umidade e normalização se necessário. As análises foram feitas com nove repetições e a comparação da RP do solo nas parcelas com Tefrosia, Flemingea com a floresta adjacente foi feita através de análise de variância e teste de médias (Teste de Tukey HSD) para cada intervalo de 10 cm (0-10, 10-20 e 20-30 cm).

### **Cor do solo**

A cor de um dado horizonte ou camada pode ser relativamente uniforme ou, apresentar padrões mosqueados ou variegados de diferentes cores, sendo então necessário especificar a cor da massa dominante, e designar a cor ou cores das manchas, tamanho, nitidez e contraste das bordas das principais manchas de cores.

Rotineiramente, a cor é determinada no campo pela sua comparação visual com padrões existentes na carta de Munsell (Munsell, 2000). A caracterização das cores pelo sistema de Munsell é definida pelos atributos matiz, valor (tonalidade) e croma (saturação). Foram coletadas amostras de solo em triplicata com cilindros de metal com volume de 100 cm<sup>3</sup>, na superfície do solo (0 - 5cm) nas parcelas com Tefrosia e Flemingea e também na floresta adjacente a Jazida 21. Foram determinadas a(s) cor (es) das amostras pelo sistema de Munsell em ambas as extremidades do cilindro (superior e inferior) que representavam basicamente a cor na superfície a cinco centímetros de profundidade. A determinação da cor foi feita anotando-se o matiz ou cor, seguido do valor e croma ou intensidade de saturação.

Quando havia a presença de mosqueado determinou-se à cor predominante no matiz e as cores que constituem o mosqueado, seguido da descrição do arranjo do mosqueado, estimando-se a quantidade das manchas (poucas, comuns e abundantes), o tamanho (pequenas, médias e grandes), contraste de cores (difuso, distinto e proeminente) e quanto ao contraste da transição entre as manchas (abrupto, claro, difuso). Detalhes da descrição de cores são descritas por Lemos e Santos (1996).

### **Umidade volumétrica do solo**

Na Jazida 21 foi também instalado um sistema automático de coleta de dados composto de um datalogger Campbell CR23X (Campbell, Utah, USA) com fornecimento de energia por painel solar acoplado a 12 sensores do tipo TDR – CS 616 (Campbell) e um pluviômetro automático (Figura 1). O monitoramento está sendo feito desde o mês de fevereiro de 2004, sendo os dados coletados automaticamente a cada

cinco minutos. Os sensores foram instalados nas profundidades de 10, 30 e 50 cm em quatro estações de medida (A, B, C e D) distanciadas aproximadamente 100 m. Neste trabalho estão sendo apresentados os resultados da estação B.

## **Resultados e Discussão**

### **Resistência a penetração**

A Tabela 1 mostra uma valores menores entre as estimativas da RP em ordem decrescente para as parcelas com Tefrosia < Flemingea < Floresta primária na três profundidades estudadas.

O menor valor da RP nas parcelas cobertas pela Flemingea sugere uma maior eficiência desta espécie na recuperação da estrutura do solo, provavelmente relacionado a uma maior produção de serrapilheira, isto parece ser consequência das folhas desta espécie ser mais coriáceas e seus galhos mais fibrosos com um taxa de decomposição mais lenta. A Flemingea também demonstrou ser mais tolerante ao encharcamento que a Tefrosia, mostrando uma maior taxa de sobrevivência em áreas muito mal drenadas (Martins *et al.*, 2006).

Na seleção de uma planta de cobertura para recuperação de áreas degradadas, uma taxa mais lenta de decomposição da serrapilheira parece ser uma vantagem adicional, pois além da proteção mecânica do solo contra o impacto direto das gotas e do salpico e a consequente erosão, a cobertura do solo também contribui para reduzir as perdas de água por evaporação e reduz a temperatura do solo tornando o ambiente mais propício ao estabelecimento e atividade da macro e microfauna do solo, possibilitando sua estruturação. Uma possível desvantagem da decomposição mais lenta da serrapilheira é um maior tempo para a liberação dos nutrientes para o sistema.

### **Cor do solo**

A determinação das cores das camadas superficiais nas clareiras em comparação com as cores apresentadas pelos horizontes superficiais do solo original sob a vegetação de floresta permite de uma maneira rápida verificar a recuperação dos teores de matéria orgânica e a presença de encharcamentos (ambientes redutores e oxidantes) que ocasionam a presença de padrões mosqueados e variegados.

Os solos das clareiras no Urucu em sua grande maioria apresentam coloração vermelho-amarelada (5YR 4/6), com o predomínio de mosqueado de cor bruno-forte que variam entre 7,5 YR 5/8 e 5/6 (Macedo *et al.*, 2006). Esta tendência do predomínio da coloração 5YR na superfície do solo é também verificada na Jazida 12 (Tabela 2). Esta coloração esta fazendo parte de mosqueamentos na camada superficial do solo, esta fato é explicado por esta camada superficial não ser o horizonte A original do solo.

Os mosqueados ainda estão presentes na maioria das amostras coletadas na Jazida 21 sendo comuns e poucos quanto à abundância e apresentam tamanho pequeno até

médio de cores distintas com as bordas na sua maioria claramente definidas.

A presença de mosqueados aparece nos perfis sob floresta a partir de 0,50 – 0,60 cm, sendo bem distinto a partir de 1,20 m (Teixeira *et al.*, 2004). A reposição do solo das camadas superficiais ao final dos trabalhos nas jazidas aparentemente foi pouco efetiva tendo esta camada sido provavelmente removida pelo escoamento superficial da água (Arruda, 2005, Teixeira *et al.*, 2006).

A presença de mosqueados de colorações mais amareladas e esbranquiçadas, evidenciam uma clara herança do horizonte C parcialmente desferrificado pela ascensão do lençol freático nas condições originais. A presença de mosqueados também é uma clara indicação de uma má drenagem durante pelo menos uma época do ano.

A presença de matéria orgânica infere ao solo coloração com menores valores de tonalidades no sistema de classificação de cores de Munsell (tons mais escuros). Nas áreas de floresta nativa o horizonte superficial apresenta na maioria das áreas estudadas a cor bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4 e 4/6). Colorações semelhantes podem ser utilizadas como indicadores da recuperação dos teores de matéria orgânica do solo, o que já foi verificado em clareiras com maior tempo de revegetação (Macedo *et al.*, 2006). As áreas com boa drenagem e bom conteúdo de matéria orgânica apresentam uma maior uniformidade enquanto que nas áreas com baixos teores de matéria orgânica e problemas de drenagem ainda é freqüente a presença de mosqueados e tons mais claros.

A cor do solo é um parâmetro de fácil determinação dando boas indicações quanto aos processos de recuperação dos teores de carbono orgânico na superfície. A presença de ambientes redutores (encharcamento) é indicada pela presença de mosqueados. A presença de cores esbranquiçadas nas camadas superficiais durante o período seco e chuvoso indica a presença de ambientes hidromórficos onde grande parte do ferro já foi removido destas camadas

### **Umidade do solo**

A Figura 2 mostra a precipitação e a umidade do solo avaliada em três profundidades na das estações de monitoramento da umidade B na Jazida 21. Os dados evidenciam uma monotonia na variação da umidade do solo nas camadas de 30 e 50 cm, indicando uma reduzida dinâmica da água nestas camadas, este fato indica uma reduzida transmissão da água (baixa condutividade hidráulica), e a uma reduzida depleção do conteúdo da água por absorção pelas raízes das plantas (ausência de raízes).

Na Figura 2 observa-se que após a maioria dos eventos de chuva a umidade do solo altera-se somente na camada superficial, sendo bastante discreta a sua variação em maiores profundidades. Esta reduzida movimentação da água no perfil solo pode ser

explicada pela presença de uma estrutura quase maciça e ausência de poros de drenagem.

Numa análise mais minuciosa da Figura 2, observa-se que no período entre os dias 133 e 141 do calendário Juliano do ano de 2004, que correspondem respectivamente ao período entre os dias 12 e 20 de maio de 2004, o somatório das precipitações é de apenas 8,89 mm. Esta baixa pluviosidade neste período causou uma redução na umidade principalmente na camada superficial do solo, que apresentou os menores valores dentro do período estudado. No dia 142 ocorreu uma precipitação de 20,07 mm ocasionando uma ascensão abrupta dos valores de umidade na camada superficial do solo entretanto este evento pouco se refletiu nas umidade das camadas mais profundas do solo.

Como conseqüência da baixa capacidade de infiltração e transmissão da água das chuvas de grande intensidade, ocorre o escoamento superficial e em conseqüentemente a erosão. Assim, tornam-se necessárias práticas conservacionistas que aumentam a resistência do solo ou diminuem as forças do processo erosivo, através de práticas corretivas e preventivas visando uma maior cobertura do solo. Esta área apresenta um comportamento hídrico bastante peculiar, pois devido a baixa condutividade hidráulica apresenta camadas encharcadas na superfície do solo e as camadas mais profundas podem apresentar déficit hídrico se houve raízes causando a depleção da água nestas camadas que são realimentadas por um fluxo de água de velocidade muito reduzida. Estes horizontes originalmente compactos e com baixa porosidade apresentam uma reduzida infiltração de água, uma baixa porosidade de aeração e conseqüentemente elevados riscos de erosão e baixa disponibilidade de água para as plantas. O sucesso na regeneração das clareiras está condicionado não somente a um aumento dos teores de nutrientes e carbono, mas como também ao uso de praticas de manejo que permitam o desenvolvimento de poros que permitam fluxos de ar e solutos de forma mais efetiva.

### **Conclusão**

Os parâmetros resistência a penetração, cor do solo e dinâmica da umidade solo são bastante úteis para o monitoramento e o entendimento de processos que ocorrem no solo numa área em processo de formação de um horizonte superficial e do sucesso da revegetação.

### **Agradecimentos**

Os autores deste trabalho agradecem a FINEP e a rede CTPETRO – Projeto PI 2 – Caracterização e Dinâmica do Solo pelos recursos disponibilizados. É também feito um agradecimento a Petrobras que é parceira na realização destes estudos e fornece toda a logística para os trabalhos na BOGPM.

### **Referências**

[1] ARRUDA, W. da C. 2005. Estimativa dos processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura Urucu – Coari – Am. Tese de mestrado, Universidade Federal do Amazonas. 80p.

[2] LEMOS, E., SANTOS, R. C. dos. 1996. Manual de descrição e coleta no campo. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 83 p.

[3] STOLF R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Recomendação para o uso de Penetrômetro de impacto. IAA/PLANALSUCAR-STOLF. KAMAQ. Araras. 12p. 2004

[4] MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G., MARTINS, G. C. Cor dos solos nos horizontes de áreas alteradas e cobertas pela floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM. In: II Workshop da Rede CTPETRO, 2006, Manaus CD ROM

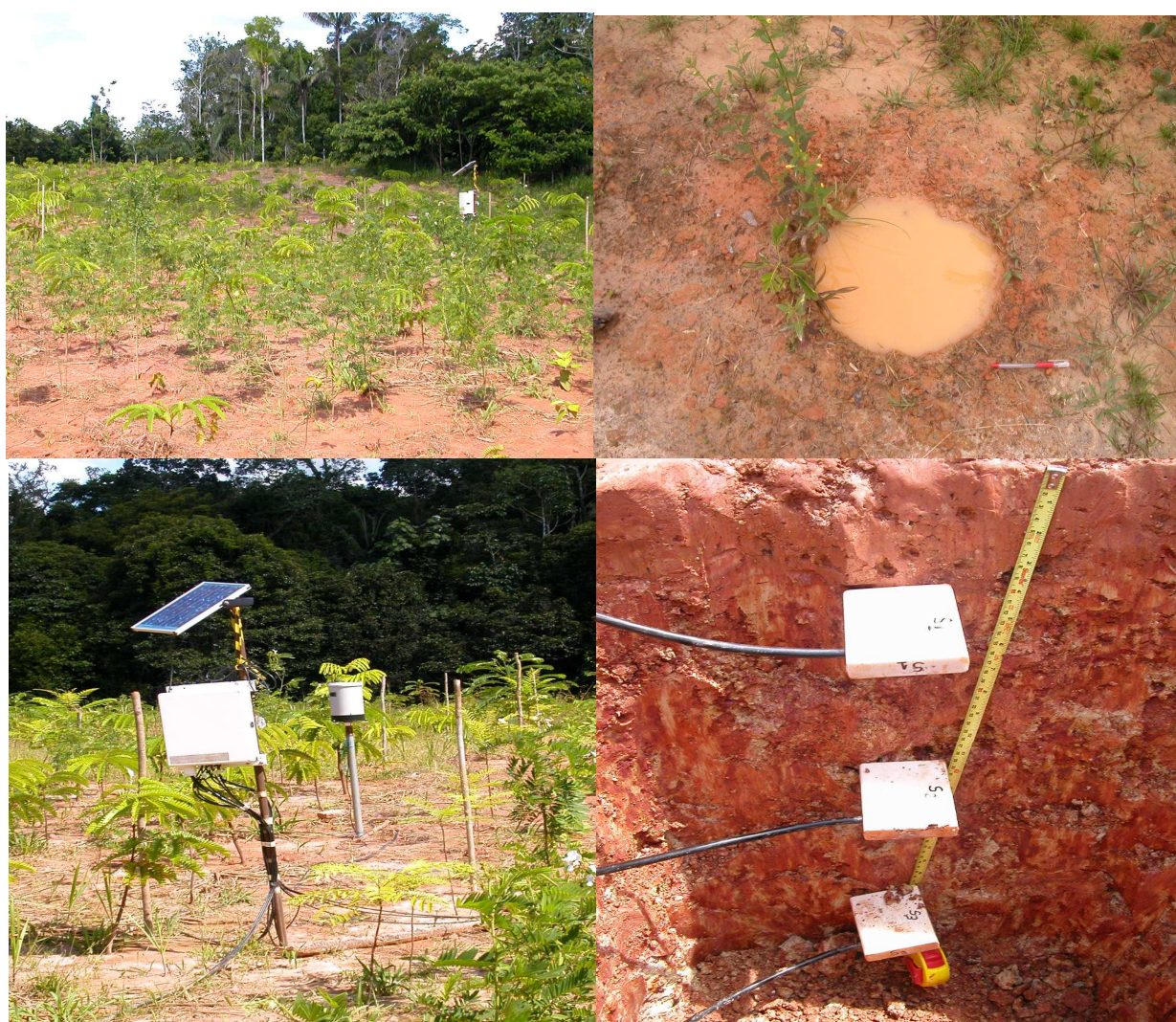
[4] MARTINS, G.C. ; TEIXEIRA, W. G., MACEDO, R. S. 2006. Resistência a penetração como indicador da qualidade física do solo

na Província Petrolífera de Urucu- Coari-AM. In: II Workshop da Rede CTPETRO, 2006, Rede CTPETRO Amazônia. Fundação Djalma Batista, Manaus. CD- ROM

[5] MUNSELL. Munsell soil color charts, New York, 2000. np.

[6] TEIXEIRA, W. G., MARTINS, G. C., IWATA, S. A., REIS, A. R.; MARQUES, J. J. G. de Sá e M., RODRIGUES, M. do R. L. Caracterização e identificação das principais classes de solo da província petrolífera do Rio Urucu, Amazonas. In: I Workshop da Rede CTPETRO Amazônia, 2004, Manaus. Rede CTPETRO Amazônia. Fundação Djalma Batista, CD ROM

[6] TEIXEIRA, W. G., MARTINS, G.C., MACEDO, R. S. 2006 A qualidade física do solo como indicador da recuperação de áreas alteradas na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM. In: II Workshop da Rede CTPETRO, 2006, Rede CTPETRO Amazônia. Fundação Djalma Batista, Manaus. CD- ROM



**Figura 1** - Detalhes da Jazida 21 (Base de Operações Geólogo Pedro de Moura – Coari – AM) na época da instalação do sistema coletor de dados e (foto da direita acima) foto evidenciado a reduzida infiltração da água nas covas de plantio. Abaixo (foto da esquerda) - Sistema coletor de dados (Data-logger alimentado por energia solar e pluviômetro automático). Foto abaixo a direita apresenta detalhes da instalação dos sensores CS 616, que foram instalados horizontalmente em mini trincheiras nas profundidades de 10, 30 e 50 cm.

**Tabela 1.** Resistência à penetração do solo numa área alterada (Jazida 21) com plantas de cobertura – *Tefrosia candida* e *Flemingea macrophylla* e sob floresta primária adjacente na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (Coari – AM).

Profundidade	Tratamento	Resistência à penetração (MPa)	Umidade ( $\theta$ )
		Média $\pm$ Desvio Padrão*	(%)
0-10cm	J-21 Tefrosia	3,7 $\pm$ 0,3 a	25,6
	J-21 Flemingea	2,1 $\pm$ 0,2 b	32,0
	Floresta	1,7 $\pm$ 0,4 c	33,9
10-20cm	J-21 Tefrosia	3,7 $\pm$ 0,5 a	24,1
	J-21 Flemingea	2,4 $\pm$ 0,2 b	35,1
	Floresta	1,7 $\pm$ 0,3 c	27,7
20-30cm	J-21 Tefrosia	3,9 $\pm$ 0,8 a	32,4
	J-21 Flemingea	2,4 $\pm$ 0,3 b	34,1
	Floresta	1,5 $\pm$ 0,2 c	32,9

\*médias seguidas de mesma letra, dentro de cada profundidade, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0.01$ ).

**Tabela 2.** Cor dos solos das camadas superficiais na Jazida 21 na BOGPM - Urucu, Coari – AM.

PROF. (cm)	REP.	COR					
		MATIZ	MOSQUEADO	ABUNDÂNCIA	TAMANHO	CONTRASTE	BORDA
Jazida 21 – (Revegetada em 4/2004 – parcela com cobertura vegetal de Tefrosia)							
0		7,5YR 4/6	-	-	-	-	-
5	1	7,5YR 4/6	7,5YR 5/6	Comum	Pequeno	Difuso	Clara
0		5YR 4/6	5YR 5/8	Comum	Médio	Difuso	Difuso
5	2	5YR 4/6	7,5YR 5/8	Pouco	Pequeno	Distinto	Clara
0		5YR 4/6	5YR 8/1	Pouco	Pequeno	Distinto	Clara
5	3	5YR 5/8	7,5YR 5/8 e 7,5YR 5/6	Comum	Médio	Proeminente	Difuso
Jazida 21 – (Revegetado em 4/2004 – parcela com cobertura vegetal de Flemingea)							
0		5YR 4/6	5YR 5/8	Pouco	Pequeno	Difuso	Clara
5	1	5YR 5/6	5YR 5/8	Comum	Médio	Distinto	Clara
0		5YR 4/6	2,5YR 4/6	Pouco	Pequeno	Difuso	Clara
5	2	5YR 4/6	7,5YR 5/8, 2,5YR 4/6 e 7,5YR 7/1	Muito	Médio	Proeminente	Difusa
0		5YR 4/6	5YR 5/8	Pouco	Pequeno	Distinto	Clara
5	3	5YR 4/6	5YR 5/8	Comum	Pequeno	Distinta	Clara

**Figura 2.** Dinâmica da água no solo avaliada por sondas capacitivas em três profundidades em duas estações de avaliação numa área alterada em estágio inicial de revegetação (Jazida 21) na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura – Coari – AM.

