

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA-INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO
TRÓPICO ÚMIDO – PPG/ATU**

**AVALIAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NA BASE DE OPERAÇÕES
GEÓLOGO PEDRO DE MOURA - COARI, AM.**

OMAR CUBAS ENCINAS

Manaus, Amazonas
Janeiro, 2011

OMAR CUBAS ENCINAS

**AVALIAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NA BASE DE OPERAÇÕES
GEÓLOGO PEDRO DE MOURA - COARI, AM.**

Orientador: Ph.D. Wenceslau Geraldes Teixeira

Dissertação apresentada ao
Instituto Nacional de
Pesquisas da Amazônia como
parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre
em Agricultura no Trópico
Úmido.

Manaus, Amazonas
Janeiro, 2011

Folha de aprovação

A Banca Julgadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**TÍTULO: “Avaliação de Processos Erosivos na Base de
Operações Geólogo Pedro de Moura – Coari, AM.”**

AUTOR:

Omar Cubas Encinas

Dissertação apresentada ao Instituto
Nacional de Pesquisas da Amazônia
como parte dos requisitos para
obtenção do título de ***Mestre em
Agricultura no Trópico Úmido***

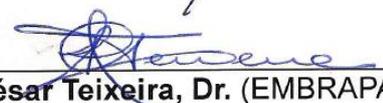
BANCA JULGADORA:



Luiz Antonio de Oliveira, Dr. (INPA)



Newton Paulo de Souza Falcão, Dr. (INPA)



Paulo César Teixeira, Dr. (EMBRAPA CPAA)

Manaus, 28 de Janeiro de 2011.

C962

Cubas Encinas, Omar

Avaliação de processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura-Coari,AM/ Omar Cubas Encinas. --- Manaus : [s.n.], 2011.
xi, 74 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- INPA, Manaus, 2011

Orientador : Wenceslau Gerales Teixeira

Área de concentração : Agricultura no Trópico Úmido

1. Áreas degradadas. 2. Erosão. 3. Impacto ambiental – Solos - Urucu, Rio (AM). I.Título.

CDD 19. ed. 631.45

Sinopse:

Foi quantificada a perda de solo e água em uma área de exploração petrolífera localizada na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari-AM. Os fatores da Equação universal de perda de solo (EUPS) foram determinados.

Palavras-chave: Áreas degradadas, Erosão, Impacto ambiental, Rio Urucu, Formação Solimões, USLE.

Ao Mario e a Sonia, meus pais, razão da minha existência!!!

Pelo exemplo de vida e superação...

Pelos valores e virtudes repassados...

Pela paciência e dedicação...

Pela fé e incentivo...

Por todos os conselhos...

Por todos os bons e ruins momentos vividos...

Pelo orgulho de ser seu filho...

Por tudo o que sou e serei...

E por mais uma etapa concluída.

Dedico

Aos meus pais Mario e Sonia, aos meus irmãos Christian Sandro e David.

A Johana, minha mulher e amiga e para minha filha Sonia Kasandra.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela fé e fortaleza que me deu para seguir em frente e conseguir meus sonhos e objetivos de vida.

Aos meus amados pais Mario e Sonia, por serem minha fonte de inspiração e superação. Amo vocês do fundo do meu coração.

Aos meus extraordinários irmãos Christian, Sandro e David, pelo apoio incondicional e infinito nos momentos mais difíceis da minha vida. Amo vocês com todas as minhas forças.

À minha filha Sonia Kasandra, pela imensa alegria de ser pai. Luz e amor da minha vida.

À minha amada mulher Johana Shulier, pelo amor, paciência, motivação, companheirismo e dedicação mostrada ao longo destes anos, e a sua maravilhosa família.

À minha cunhada Mariela, pelo apoio, carinho e desprendimento mostrado durante todos estes anos.

Aos meus queridos sobrinhos Andree, Ximena, Enriko e Ayrton, pela alegria transmitida.

A meu querido tio Barron, pelo seu incondicional carinho.

Aos meus tios Carmen e Leo e aos meus primos Ingrid, Leo e Milusca, pelo apoio e os bons momentos compartilhados.

Ao Prof. Wenceslau Teixeira, pela orientação, oportunidade, ensinamentos desprendidos e sincera amizade. Sou-lhe muito grato por tudo.

Um agradecimento especial ao meu amigo Jorge Gallardo e à sua esposa Cristina, pelos conselhos, apoio e sincera amizade.

Aos meus queridos amigos Rodrigo e Adriana, pelo constante apoio, incentivo e os gratos momentos de descontração.

Aos meus amigos Tony Vizcarra e Carlos da Costa, pela valiosa colaboração com a realização deste trabalho e pela minha vinda e estadia ao Brasil, e a Gilson Sanchez e Erick Oblitas, pela convivência e amizade.

Aos amigos do Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental Estevão e Taveira, obrigado por tudo.

Ao Professor Marx Leandro Naves e ao Gilvan Coimbra, pelo apoio e orientação na instalação do experimento.

Ao Dr. Francisco Evandro Aguiar, pelo auxílio com os dados de chuva.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Amazônia Ocidental, pela infra-estrutura concedida.

À Rede CTPetro Amazônia projeto PI2 e às fontes financiadoras FINEP e PETROBRAS.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade de realização desse curso.

Aos professores da Pós-Graduação em Agricultura no Tropicó Úmido, pelos ensinamentos repassados.

À equipe do SMS da PETROBRAS, pelo apoio em campo.

Aos eternos amigos da graduação que me proporcionam bons momentos: Juan, Carlos, Maholo e Ruy.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a finalização deste trabalho.

AVALIAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS NA BASE DE OPERAÇÕES GEÓLOGO PEDRO DE MOURA - COARI, AM.

RESUMO

Na área da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM) em Coari - AM são abertas clareiras e removida as camadas superficiais do solo em áreas originalmente cobertas por floresta primária para instalação de poços exploratórios de gás e petróleo, obras civis e para construção de estradas. Isso expõe os horizontes subsuperficiais na superfície que ficam sujeitos à ação direta da precipitação, dos ventos e raios solares. Estas atividades aceleram o processo de degradação do solo por alterações nas propriedades físicas e químicas, intensificando os processos erosivos. Estudos dos impactos no solo destas atividades em áreas de floresta primária na Amazônia são inéditos. Nesse sentido, este estudo teve como objetivos quantificar as perdas de solo e água causadas por erosão hídrica em uma parcela padrão para estudos de erosão com solo descoberto (D); solo coberto por liteira (L) e solo sob floresta primária (F). Determinar os fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e avaliar a perda de solo por meio do método da mudança da superfície do solo e compará-lo com o método da parcela padrão na BOGPM. O experimento foi instalado em uma micro bacia representativa das condições médias de solo e declive da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura para quantificação do processo erosivo na região. A quantificação de perda de solo e água foi realizada em duas parcelas coletoras de água e sedimentos de 4 x 22 m instaladas em uma clareira e em uma terceira parcela de 3 x 11m instalada em uma área de floresta primária. Para o cálculo da erosividade foram utilizados dados pluviométricos de julho de 2009 a junho de 2010 obtidos por meio de pluviômetro automatizado conectado a um sistema coletor de dados. Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada na profundidade de 0-10 cm para análises físicas e químicas. As estimativas de perdas de solo mostraram uma amplitude de 0,06 a 5.909,52 t ha⁻¹ ano⁻¹ no período de estudo. A erosividade na BOGPM foi estimada em 9.344,59 MJ ha mm⁻¹ ano⁻¹. Os valores de erodibilidade determinados para os tratamentos D, L e F foram de 0,902; 0,011 e 0,003 t ha MJ⁻¹ mm⁻¹ respectivamente. Os índices para a cobertura vegetal e práticas conservacionistas para o solo coberto com liteira e solo sob floresta primária foi de 0,0040 e 0,0017 respectivamente. A perda de solo determinada pelo método na mudança da superfície foi de 190,00 t ha⁻¹ ano⁻¹ o qual apresentou valores muito inferiores ao do método da parcela padrão. Os valores de perda de solo estimada pela EUPS para o tratamento solo descoberto estão entre os maiores já registrados no Brasil, o qual está acima dos valores aceitos pela FAO. Entretanto, a simples prática da cobertura do solo com liteira o coloca em níveis aceitáveis, reduzindo as perdas em até 99,95% o que sugere a importância de manter o solo coberto e a potencialidade do uso da liteira para controle da erosão.

Palavras-chave: Áreas degradadas, Erosão, Impacto ambiental, Rio Urucu, Formação Solimões, USLE.

ABSTRACT

Erosive Evaluating the Geologist Pedro de Moura Operational Base (BOGPM), city of Coari, Amazon - Brazil

In *Geologist Pedro Moura Operational Base (BOGPM – portuguese acronym)* in the city of Coari, Amazon – Brazil forest gaps are opened and the top layer of soil are removed in areas originally covered by primary forest for installation of exploratory wells of oil and gas, civil engineering and road constructions. Those processes exposes soil subsurface layers on the surface that suffers then the direct action of rainfall, wind and sunlight. These activities accelerate the degradation process by changes in soil physical and chemical properties and improve the erosion processes. Studies of impacts on the soil of this oil exploration in areas of primary forest in the Amazon is unprecedented. This study aimed to quantify the losses caused by soil and water erosion in a standard plot for studies of erosion with bare soil (D), soil covered by litter (L) and soil under primary forest (F). To determine the factors of Universal Soil Loss Equation (USLE) and assess and compare to the standart method the losses of soil by the method of changing the soil surface estimated by soil depletion using metal pins. The experiments were conducted in a micro watershed representative of average conditions of soil and slope of the BOGPM to quantify the erosion of the region. The quantification of soil and water losses were carried out in two experiments to collecting water and sediment. The plot had 4 x 22 m aand were located in a clearing sloped area. A plot of 3 x 11 m was located in an area of primary forest. To calculate the erosivity of rainfall data from July 2009 to June 2010 were used. They were obtained by automated rain gauge connected to a data collection system. We collected soil samples disturbed and undisturbed from depths of 0-10 cm for physical and chemical analysis. Estimates of soil losses showed a range from 0.06 to 5909.52 t ha⁻¹ yr⁻¹. The erosivity in BOGPM was estimated to be 9344.59 MJ mm ha⁻¹ yr⁻¹. Erodibility values determined for treatments D, L and F were 0.902, 0.011 and 0.003 t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm respectively. Indices for vegetation cover and conservation practices for soil covered with litter and soil under primary forest were 0.0040 and 0.0017 respectively. The soil loss determined by the pin method was 190 t ha⁻¹year⁻¹ which values is much lower than the standard method. The values of soil losses estimated by USLE for the bare soil are among the largest ever recorded in Brazil, which is above the soil losses accepted by the FAO. However, the simple practice of covering the soil with litter lowers the soil losses at acceptable levels, reducing losses by up to 99.95%. It clear indicate the importance of keeping the soil covered and the potential use of the litter for controlling water erosion.

Keywords: Degraded Areas, Erosion, Environmental Impact, Urucu River, Formation of Solimões, USLE.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	IV
SUMÁRIO	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Erosão	4
2.2. Fatores que afetam a erosão hídrica	5
2.2.1. Clima	5
2.2.2. Solo.....	6
2.2.3. Topografia.....	6
2.2.4. Cobertura e manejo do solo	7
2.2.5. Práticas conservacionistas	8
2.3. Métodos para determinação da erosão hídrica.....	8
2.3.1. Métodos diretos.....	8
2.3.2. Métodos indiretos.....	9
3. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo geral	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1. Localização da área de estudo	11
4.2. Clima	11
4.3. Solos	13
4.4. Vegetação	14
4.5. Histórico de uso da área em estudo.....	15
4.6. Procedimentos experimentais	16
4.7. Análises físicas.....	20
4.7.1. Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)	20
4.7.2. Densidade de partículas (ρ_p).....	21
4.7.3. Curva de retenção de água no solo.....	21
4.7.4. Densidade do solo (ρ_s) e volume de poros	22
4.7.5. Estabilidade de Agregados	22
4.8. Análises químicas	23
4.9. Cálculos dos fatores da equação universal de perdas de solo (EUPS).....	24
4.9.1. Fator Erosividade (R):	24
4.9.2. Fator Erodibilidade (K):	25
4.9.3. Fator uso do solo, manejo e práticas conservacionistas (CP):.....	25
4.10. Metodologia para avaliação da perda de solo pelo método da mudança da superfície do solo (método dos pinos)	26
4.11. Análise dos dados.....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1. Perdas de solo e água	29
6.2. Fatores da equação universal de perda de solo (EUPS)	34
6.2.1. Fator erosividade (R).....	34
6.2.2. Fator erodibilidade (K)	37
6.2.3. Fator uso do solo, manejo e práticas conservacionistas (CP).....	42

6.3. Estimativa das perdas de solo por meio do método da mudança da superfície do solo (método dos pinos).....	46
7. CONCLUSÕES.....	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de perda de solo e água por erosão hídrica em diferentes índices de erosividade da chuva em solo descoberto, solo com liteira e solo sob floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.	30
Tabela 2. Valores mensais e totais da precipitação, do índice de erosividade e da erosividade da chuva no período de julho de 2009 a junho de 2010 na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.	36
Tabela 3. Comprimento, declividade, coeficiente angular b, fator topográfico e erodibilidade dos tratamentos.	39
Tabela 4. Atributos químicos e físicos das áreas em estudo.	40
Tabela 5. Valores de perda de solo estimados pela equação universal de perda de solo (EUPS) no período de estudo, nos tratamentos: solo descoberto, com liteira e floresta primária. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presença de deimosseles em clareiras da Base de operações geólogo Pedro de Moura	4
Figura 2. Localização da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura - Coari - AM.....	11
Figura 3. Precipitação e número de dias chuvosos (média mensal). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	12
Figura 4. Temperatura e pluviosidade (média mensal). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	12
Figura 5. Mapa das principais classes de solos da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	13
Figura 6. Detalhe da diversidade florística na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.	14
Figura 7. Jazida 21 na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	15
Figura 8. Capina manual e retirada dos três primeiros centímetros do solo para instalação das parcelas coletoras padrão de erosão na Jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.	16
Figura 9. Parcelas coletoras de solo e água com solo descoberto e solo com liteira de floresta primária instaladas na Jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.	17
Figura 10. Parcela coletora de solo e água instalada em floresta primária adjacente a jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	17
Figura 11. Calha coletora de água e sedimentos, caixas de água de 500 L e divisor tipo Geib utilizados neste experimento de perda de solo e água. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	18
Figura 12. Pluviômetro e datalogger (CR23X Campbell - EUA) conectados em painel solar na jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.....	18
Figura 13. Leitura do volume de água e coleta do material erodido (água e sedimentos). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.	19
Figura 14. A) Agitação mecânica e dispersão química com NaOH 0,1 mol L ⁻¹ . B) Separação da fração areia (areia fina e areia grossa). Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM.....	20
Figura 15. Picnômetros de 50 mL utilizados para determinação da densidade de partículas do solo. Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM.	21

- Figura 16. A) Detalhe esquemático da parcela descoberta para avaliação das perdas de solo pelo método dos pinos cravados no solo. B) Detalhe do pino cravado no solo. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM..... 27
- Figura 17. Valores médios de perda de solo dos tratamentos solo descoberto, solo com liteira e solo sobre floresta primária nos diferentes Índices de erosividade EI_{30} (< 10 , $< 20 > 10$, > 20). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%)..... 31
- Figura 18. Valores médios de perda de água dos tratamentos solo descobertos, solo com liteira e solo sob floresta primária nos diferentes Índices de erosividade EI_{30} (> 20 , $< 20 < 10$, < 10). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%)..... 33
- Figura 19. Distribuição da erosividade e da precipitação de cada evento de chuva coletado no período de (julho de 2009 a julho de 2010). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM. 35
- Figura 20. Regressão linear simples entre as perdas de solo e o índice de erosividade (EI_{30}), para os tratamentos solo descoberto, solo com liteira e solo sob floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM. 38
- Figura 21. Perdas de solo determinadas pelo método da variação do nível da superfície do solo no tratamento solo descoberto. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. 46
- Figura 22. Comparação de perdas de solo determinadas pelo método da parcela padrão e pela variação do nível da superfície do solo no tratamento solo descoberto. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM..... 47

1. INTRODUÇÃO

Na América do Sul encontra-se a Floresta Amazônica, a maior extensão de floresta tropical contínua do mundo, com uma área aproximada de 6.2 milhões de km². Dentro desta área, a Amazônia Legal Brasileira representa 5.1 milhões de km², dos quais mais de 728.282 km² já foram desmatados (INPE, 2010).

Populações humanas na Amazônia formam uma parte dos ecossistemas nos quais elas vivem. A crescente escala e intensidade das atividades humanas têm impactos significativos sobre outras partes destes ecossistemas, com efeitos locais, nacionais e globais. Impactos incluem a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas e a perda de manutenção da biodiversidade, ciclagem da água e armazenamento de carbono na Amazônia (Fearnside, 2003). Na Amazônia Brasileira, o processo de desmatamento tem crescido devido ao rápido desenvolvimento humano (Fearnside, 1982).

Com a destruição da cobertura vegetal original das florestas é provável o aumento da erosão (Fearnside *et al.*, 1986; Fonseca, 1999) e conseqüentemente o assoreamento de corpos de água amazônicos, especialmente os de pequeno porte como os igarapés. Esses processos erosivos estão associados à mineração, indústrias extrativistas (Forsberg *et al.*, 1989) e principalmente ao uso da terra pela agricultura e pecuária (Panachuki *et al.*, 2006).

A Amazônia, com sua enorme bacia de sedimentos, foi considerada desde o início da procura de petróleo no Brasil como uma região petrolífera em potencial. Esta possibilidade se concretizou quando em 1986 foram descobertas as primeiras jazidas comerciais de petróleo e gás natural na região do rio Urucu, no município de Coari, numa área conhecida atualmente como Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM). Nos anos seguintes, novas jazidas foram descobertas: a Leste do Urucu em 1987, Sudoeste de Urucu em 1988, Carapanaúba, Igarapé Marta em 1990 e Cupiúba em 1998, e que em conjunto, elas formam a província de petróleo e gás natural do Urucu (Gawona, 2003).

Na área da BOGPM são abertas clareiras para a instalação de poços exploratórios e quando a prospecção é bem sucedida, a área se transforma em poço de produção de gás e petróleo (Teixeira *et al.*, 2007). Neste processo ocorre a retirada de solo dos horizontes superficiais, para instalação de poços, obras civis e construção de estradas (Arruda, 2005; Macedo *et al.*, 2009). Isto faz com que os horizontes subsuperficiais fiquem expostos na

superfície do solo e sob efeito da ação direta dos fatores climáticos como a precipitação, ventos e raios solares (Encinas *et al.*, 2010).

Estas atividades proporcionam degradação do solo, ocasionando alterações nas propriedades físicas e químicas, fomentando o surgimento de processos erosivos (Arruda, 2005; Martins *et al.*, 2006; Macedo *et al.*, 2006a, 2007, 2008; Teixeira *et al.*, 2006a), resultando em alterações nos ecossistemas aquáticos próximos das áreas alteradas (Goch, 2007). Na BOGPM, a maior ocorrência de incisões erosivas está diretamente ligada à construção de estradas e tem trazido danos ao ambiente, principalmente no que se refere ao assoreamento dos igarapés, diminuindo a lâmina de água e comprometendo o ecossistema destes ambientes (Vieira *et al.*, 2005).

Na BOGPM são esperadas chuvas erosivas nos meses de maior precipitação (novembro a maio), quando os eventos de chuva apresentam-se de forma mais intensa e duradoura, conseqüentemente com maior energia cinética e poder erosivo (Teixeira *et al.*, 2006b; Macedo *et al.*, 2006b). Em Urucu, nos meses de novembro a maio também ocorrem chuvas com alta intensidade, quando em alguns casos podem atingir intensidades maiores que 70 mm h^{-1} , contrastando com o período de junho a outubro onde a intensidade pluviométrica não tem incrementos consideráveis (Macedo *et al.*, 2006c). Aguiar (2001), realizando análise climática da província petrolífera do rio Urucu para uma série histórica de oito anos, encontrou que a média anual de chuvas é de 2458 mm, com alguns anos extremos (máximo de 2869 mm e mínimo de 2122 mm), constatando a alta pluviosidade da área, possuindo um período de estiagem (julho a outubro) e outro de chuvas abundantes (novembro a maio).

No Brasil e especialmente na Amazônia, são poucos os estudos diretos sobre a erosão hídrica devido à dificuldade do método utilizado (método da parcela padrão) e ao tempo que demanda para a obtenção de dados e resultados (Cardoso *et al.*, 2004). A formação de linhas de pesquisa, bem como a produção científica sobre erosão do solo, está centralizada principalmente em instituições da região Sul e Sudeste do Brasil, seguidas em menor intensidade por instituições da região Nordeste. As instituições das regiões Centro-Oeste e Norte praticamente não focalizaram, até agora, o tema erosão do solo. A concentração temática da pesquisa nestas regiões têm aproximadamente um terço dos artigos com o objetivo central de comparar condições de manejo e culturas agrícolas na produção de sedimentos e enxurrada, visando desenvolver técnicas de minimização da erosão em um contexto principalmente agrícola (Barretto *et al.*, 2008).

Alguns trabalhos iniciados na região Norte na década de oitenta, relacionados com a erosão hídrica (Ranzani, 1980; Fearnside *et al.*, 1986; Medina e Oliveira 1987; Oliveira & Medina 1990; Lopes *et al.*, 1999; Barbosa e Fearnside 2000) não tiveram continuidade e são escassos os dados sobre estes processos na região e ausentes nos solos da Formação Solimões.

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 (Teixeira *et al.*, 2007). Nesse sentido, a recuperação do solo e a recomposição florística das clareiras e jazidas da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura são desafios que têm motivado vários grupos de pesquisadores de diferentes áreas a fazerem monitoramentos e intervenções no processo (Moreira, 2004; Arruda, 2005; Nascimento, 2009).

Um dos grandes desafios é tornar o subsolo exposto na superfície das clareiras e jazidas em solo com qualidade suficiente para o desenvolvimento de uma cobertura vegetal. Para isso, torna-se necessário o monitoramento do processo erosivo, por ser uma ferramenta indicadora de práticas de manejo que promovam a melhoria da qualidade física e química do solo.

Com o intuito de estimar valores para processo erosivo em áreas de exploração petrolífera na Amazônia, o presente estudo teve como objetivo determinar as perdas de solo e água, os fatores da equação universal de perda de solo e avaliar a perda do solo por meio do método da mudança da superfície do solo e compará-lo com o método da parcela padrão da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – Amazonas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Erosão

A erosão é um fenômeno resultante da desagregação, transporte e deposição das partículas do solo pela ação sequencial ou isolada do vento (erosão eólica), da chuva (erosão hídrica) (Bertoni e Lombardi Neto, 1990), ou dos processos de formação natural da crosta terrestre (erosão geológica). O transporte e deposição destas partículas ficam nas partes mais baixas ou param no fundo dos lagos, rios e oceanos (Lepsch, 2002). A erosão é um processo natural, com a participação da gravidade, a partir do qual os relevos e irregularidades do modelado terrestre se equilibram (Guerra, 2007).

A erosão hídrica inicia no momento em que as gotas de chuva atingem o solo, causando a ruptura dos agregados, causando o selamento superficial do solo e diminuindo a infiltração, podendo levar ao escoamento superficial (Guerra *et al.*, 1999). A erosão causada pela água pode ser das seguintes formas: laminar, em sulcos ou em voçorocas. Estas três formas de erosão podem ocorrer simultaneamente (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Na erosão laminar o solo é removido mais ou menos uniformemente, com exceção de pequenas colunas (demoisseles) que podem ficar se o solo é pedregoso ou apresenta alguma proteção quanto ao salpico (Figura 1).



Figura 1. Presença de deimosseles em clareiras da Base de operações geólogo Pedro de Moura (Fonte: Teixeira, 2006c).

Não obstante, à medida que o fluxo laminar se concentra em pequenos canais, a erosão em sulcos se torna dominante, onde o volume de enxurrada é mais concentrado, o fluxo de água corta mais profundamente dentro do solo, aprofundando e coalescendo os sulcos em canais maiores chamados de voçorocas (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Os três tipos de

erosão são importantes, mas a erosão laminar e em sulcos, apesar de menos aparente que as voçorocas, são responsáveis pela maior parte do solo movimentado.

2.2. Fatores que afetam a erosão hídrica

O estudo dos fatores que afetam a erosão hídrica (clima, solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas), pode ser efetuado utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978), a qual facilita a verificação da importância relativa de cada um dos referidos fatores na erosão hídrica.

A EUPS é uma das metodologias mais utilizadas, porque permite a previsão das perdas do solo causadas por erosão e indica quais os fatores que exercem os maiores efeitos sobre as perdas de solo (Albuquerque, 1997).

2.2.1. Clima

Entre os componentes do clima, a chuva é o de maior importância na erosão hídrica, já que ela, associada à sua enxurrada, é o principal agente de desagregação e transporte das partículas de solo. A temperatura e a umidade do ar exercem apenas ação indireta no processo erosivo. O vento é importante em algumas regiões do mundo (erosão eólica).

O potencial das chuvas em causar erosão é referido como erosividade (Wischmeier, 1958; Wischmeier e Smith, 1978). O fator erosividade (R) dentro da EUPS é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção.

O potencial da chuva pode ser avaliado através de índices de erosividade (EI_{30}) que se baseiam nas características das chuvas de cada região. Wischmaier e Smith (1958) concluíram que o produto da energia cinética total pela intensidade máxima em trinta minutos (EI_{30}) é a relação que melhor expressa o potencial da chuva em causar erosão, considerando as faces de impacto das gotas de chuva, desagregação do solo, turbulência do fluxo e transporte das partículas.

O índice de erosividade (EI_{30}) tem sido muito utilizado por vários pesquisadores no Brasil, devido à boa correlação com as perdas de solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Oliveira Jr. e Medina, 1990; Morais *et al.*, 1991; Marques, 1996; Silva *et al.*, 2000).

O conhecimento da erosividade da chuva e sua distribuição anual permitem identificar os períodos críticos de potencial erosivo, além de permitir avaliar se as diferenças nas perdas de solo se devem às diferenças nas características das chuvas ou às diferenças nas práticas de manejo do solo (Cogo, 1988). No Brasil, os valores do fator R situam-se entre 2.100 a 12.600 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹, variando de acordo com a localização geográfica onde foram obtidos (Bertol *et al.*, 2002).

Alguns trabalhos sobre os índices de erosividade foram realizados em Urucu (Arruda, 2005; Macedo *et al.*, 2007) e em Manaus (Oliveira Jr. e Medina, 1990), mostrando os elevados valores da erosividade das chuvas na região.

2.2.2. Solo

O solo é o agente passivo no processo erosivo e sua susceptibilidade à erosão é representada pela erodibilidade (fator K da EUPS), definido como a quantidade de solo perdido por unidade de área por unidade de índice de erosividade, adotados em condições padrão (Wischmeier *et al.*, 1971).

A erodibilidade é uma propriedade do solo resultante da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (Lombardi Neto e Bertoni, 1975), influenciada por propriedades intrínsecas do solo, como textura (principalmente os teores de areia e silte), teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. O efeito da interação dessas propriedades na erodibilidade é extremamente complexo, afetando distintamente a capacidade de infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte (Wischmeier e Mannering, 1969). As propriedades do solo que influenciam na erosão são aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água, como a permeabilidade e a capacidade de absorção, e as de ordem coesiva, como a resistência à dispersão, salpicamento, abrasão e as forças de transporte das chuvas e enxurradas (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

2.2.3. Topografia

A topografia de uma paisagem é caracterizada, principalmente, pelo comprimento da rampa e grau do declive. O comprimento (fator L da EUPS) e o grau (fator S da EUPS) do declive afetam significativamente as taxas de perda de solo por erosão hídrica. Embora estes aspectos da topografia sejam avaliados separadamente no campo, eles são agrupados em um

único fator (fator LS da EUPS), para estudos de erosão hídrica e aplicações práticas no campo (Wischmeier e Smith, 1978).

O comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas vão-se avolumando-se proporcionalmente, como também, a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente. Em princípio, quanto maior o comprimento de rampa, mais enxurrada se acumula, e a maior energia resultante se traduz por uma erosão maior (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Estudos realizados por Bertoni *et al.* (1975) sobre o efeito do comprimento de rampa sobre as perdas de solo por erosão hídrica, mostram que, quadruplicando-se o comprimento de rampa, quase que se triplicam as perdas de solo por unidade de área. Desta forma fica evidenciado que o fator topográfico tem elevada importância na perda de solo por erosão hídrica.

2.2.4. Cobertura e manejo do solo

O efeito combinado da cobertura e manejo é denominado na EUPS como fator C, que é a relação esperada entre as perdas de solo de uma área sob determinado sistema de manejo e cobertura e as perdas de solo correspondentes de uma área mantida continuamente descoberta e preparada no sentido do declive (Wischmeier e Smith, 1965).

A cobertura e manejo do solo é o fator isolado mais importante na redução das perdas de solo por erosão hídrica. Este fator está relacionado à interação dos diferentes graus de proteção oferecidos pelas culturas em seus diferentes estágios de desenvolvimento. O fator C é determinado a partir das razões de perda de solo (RPS) e da distribuição do índice de erosão anual local. A RPS expressa a relação entre as perdas de terra ocorridas no sistema de manejo adotado e as perdas de um solo descoberto (De Maria e Lombardi Neto, 1997).

Valores de RPS para diferentes tipos de culturas, sequência e manejo são fornecidas por Bertoni e Lombardi Neto (1990), mas a dificuldade na obtenção do fator C está em estabelecer as RPS para um número infinito de possíveis combinações de culturas, rotações e outras práticas nas quais as perdas de terra devem ser medidas (De Maria e Lombardi Neto, 1997 *apud*: Hudson 1973).

O Brasil por ser um país agrícola em grande escala, teve suas pesquisas orientadas à obtenção de valores do fator C principalmente em regiões onde a produção de culturas anuais é significativa (região Sul e Sudeste) (Lal, 1980), deixando de lado, mesmo sendo necessárias, determinações desse fator na região Norte do Brasil.

As variáveis que influenciam o fator C, além dos índices dos fatores R e K, são o estágio durante o ciclo vegetativo da cultura, a cobertura do solo pelo dossel das plantas, a cobertura do solo pelos resíduos culturais, o manejo dos resíduos culturais, o tipo de preparo do solo, o tipo de rotação de culturas e o efeito residual dos cultivos do uso do solo (Wischmeier e Smith, 1978).

A utilização de resíduos culturais como cobertura do solo é uma das maneiras mais simples, eficazes e econômicas de se controlar as perdas de solo. Uma cobertura de 60% pode resultar na redução de 80% das perdas de solo, em relação à ausência de cobertura (Bertol *et al.*, 1987). A eficácia dos resíduos culturais, por outro lado, depende de vários fatores, tais como, percentagem de cobertura do solo e tipo, quantidade, forma de manejo e estágio de decomposição dos resíduos (Cogo, 1988).

2.2.5. Práticas conservacionistas

Na EUPS, o fator práticas conservacionistas (fator P) se refere à relação entre as perdas de solo de uma área sob dada prática conservacionista e a perda de solo de uma área sem nenhuma destas práticas (Wischmeier e Smith, 1978). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas, as quais são mais eficazes na redução da erosão hídrica quando associadas às práticas de manejo do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

2.3. Métodos para determinação da erosão hídrica

Os métodos utilizados para estudar a erosão pela água compreendem grande número de técnicas e procedimentos diferentes. Dentre os mais utilizados estão os métodos diretos e os indiretos.

2.3.1. Métodos diretos

Os métodos diretos são aqueles que se baseiam na coleta, na medição e na análise do material erodido, com o auxílio de instalações coletoras e medidoras especiais.

O sistema coletor para determinação das perdas de solo e água pela erosão bastante utilizado em vários países é aquele instalado em talhões, que consiste em cercá-los com lâminas de metal que limitam as parcelas, enterrando de 15 a 20 cm no solo, ficando fora da superfície 15 a 20 cm. Estas, por sua vez, estão munidas de calhas coletoras de erosão, tanques coletores de material erodido e divisores tipo Geib (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Estes métodos foram utilizados por vários pesquisadores no Brasil (Lopes *et al.*, 1999; Albuquerque *et al.*, 2005; Martins *et al.*, 2005; Barros *et al.*, 2009), evidenciando o tempo que demanda para se obter dados, tornando uma desvantagem destes métodos.

2.3.2. Métodos indiretos

Os métodos indiretos são aqueles que se baseiam nos vestígios deixados nos solos ou nas diferenças apresentadas em relação ao solo não erodido. De modo geral, são mais imprecisos do que os baseados no estudo do material erodido, mesmo porque quase sempre outros fatores se associam à erosão, somando com esta seus efeitos sobre o relevo ou sobre a constituição do solo, de tal modo que é difícil isolar e diferenciar as causas primárias (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Devido à dificuldade da utilização para monitorar a perda de solo por erosão hídrica na região do Rio Urucu utilizando métodos diretos (parcela padrão) e ao tempo para obtenção de resultados, algumas pesquisas foram realizadas utilizando métodos indiretos (mudança da superfície do solo) justificado na facilidade da instalação e da rapidez dos resultados (Arruda *et al.*, 2004; Costa, 2010). Este método também foi utilizado por outros pesquisadores em outros locais e em condições diferentes (Bono *et al.*, 1996; Santos *et al.*, 1998). Estes autores mencionam que o método é bastante prático e de baixo custo, quando comparado ao método da parcela padrão (método direto).

Avaliar a perda de solo, por um método mais acessível temporal e economicamente, torna-se de suma importância considerando que para um planejamento conservacionista adequado, que possibilitará um uso sustentável desse recurso, é necessário para que as mesmas sejam avaliadas (Cardoso *et al.*, 2004).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar as perdas de solo e água por meio de parcelas coletoras padrão de erosão em uma jazida sob três condições: solo descoberto, solo coberto como liteira e solo sob floresta primária, em área de exploração petrolífera na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari, AM.

3.2. Objetivos específicos

Quantificar as perdas de solo e água causadas pela erosão hídrica, por meio de parcelas coletoras de erosão instaladas em solo descoberto, solo coberto por liteira de floresta primária e sob cobertura de floresta primária.

Determinar os fatores (R, K, L, S, C, P) da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) para quantificar as perdas de solo descoberto, solo coberto por liteira de floresta primária e sob cobertura de floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Avaliar a perda do solo por meio do método da mudança da superfície do solo (método dos pinos) e compará-lo com o método da parcela padrão da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), pertencente ao município de Coari, Estado do Amazonas, entre os paralelos de $04^{\circ} 45'$ e $05^{\circ} 05'$ S e os meridianos de $65^{\circ} 00'$ e $65^{\circ} 25'$ W (Figura 2).

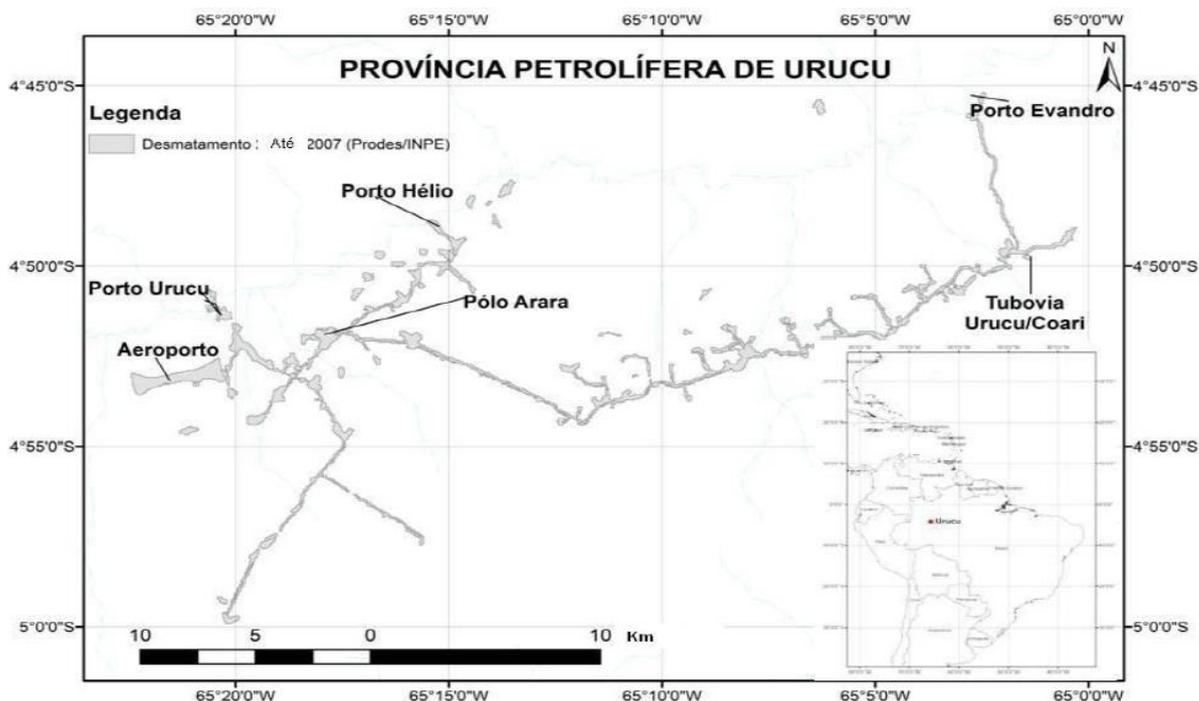


Figura 2. Localização da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura - Coari - AM. (Fonte: Nascimento, 2009).

4.2. Clima

O clima da área de estudo é considerado tropical úmido, tipo Afi, pela classificação de Köppen, apresentando chuvas relativamente abundantes durante todo o ano, com média de 2.518 mm (Arruda, 2005). Segundo Vieira e Santos (1987), a temperatura média anual da região é de aproximadamente 26°C .

Dados obtidos entre 1994 e 2004 na estação meteorológica de Urucu por Nascimento (2009) evidenciam que o mês mais chuvoso é março (média de 338 mm). O mês que menos chove é o de agosto (média de 79 mm). A média anual acumulada é de 2.486 mm. O mês que têm menos dias chuvosos é o de agosto, com 12 dias. A temperatura média anual é de $25,9^{\circ}\text{C}$. O mês mais quente é setembro, com média de $26,4^{\circ}\text{C}$ e o mais frio é julho, com média de $25,5^{\circ}\text{C}$. A média da umidade relativa do ar é de 91% (Figura 3 e 4).

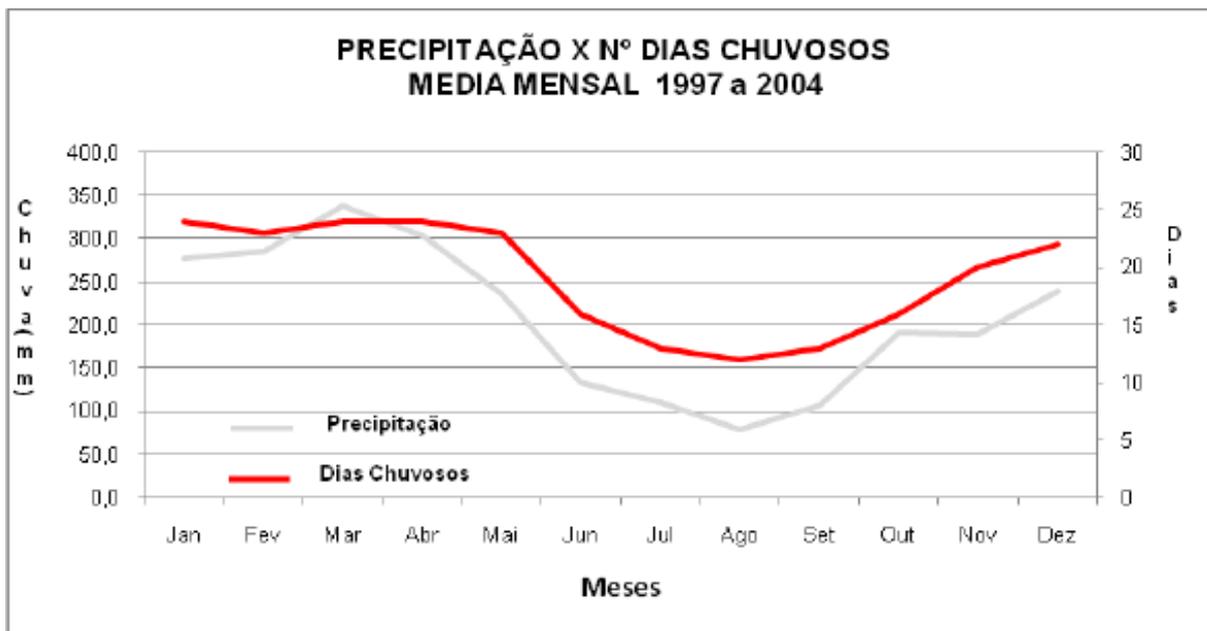


Figura 3. Precipitação e número de dias chuvosos (média mensal). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (Fonte: Nascimento, 2009).

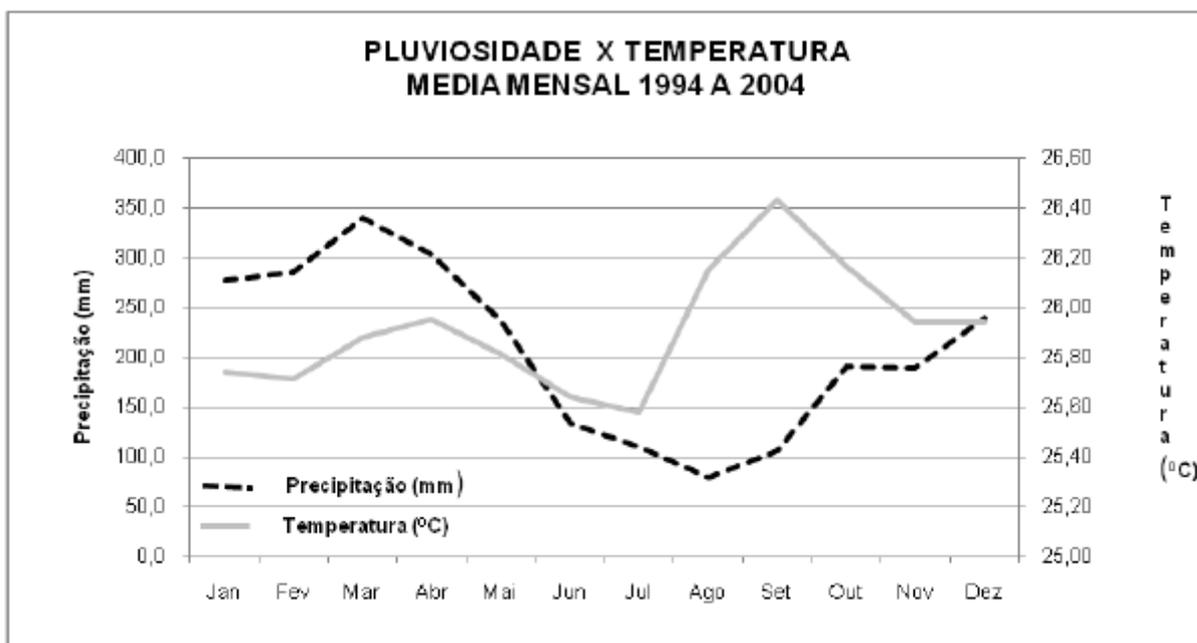


Figura 4. Temperatura e pluviosidade (média mensal). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (Fonte: Nascimento, 2009).

4.4. Vegetação

A vegetação da área de estudo é caracterizada por possuir florestas altas e densas de terra firme, denominadas por Pires (1973) como Matas de terra firme. Posteriormente, foram denominadas como Floresta ombrófila de terra firme (Prance, 1987).

Esta tipologia florestal possui diversas variantes de pequenas comunidades vegetais, destacando-se as comunidades de platô, declive e baixio. Apresenta grande diversidade de espécies lenhosas e arbustivas, havendo algumas espécies que são exclusivas de determinados habitats (Figura 6). A altura das árvores está entre 20 a 30 m e a maioria tem diâmetro na altura do peito (DAP) entre 10 e 30 cm. Dentre as espécies mais abundantes estão a *Eschweilera coriacea*, *Eschweilera wachenheim*, *Microphollis guyanensis*, *Oenocarpus bataua* e *Chrysophllum sanguinolentum* (Amaral, 1996).

A abundância total de espécies encontradas está representada em mais de 50%, por indivíduos da família Lecythidaceae, Sapotaceae, Chrysobalanaceae, Myristicaceae e Moraceae (Lima Filho *et al.*, 2001). A diversidade florística é alta, 247/500 indivíduos ha⁻¹, índice próximo ao encontrado para o Peru e superior aos encontrados em estudos similares na Amazônia Central e Oriental (Amaral, 1996).

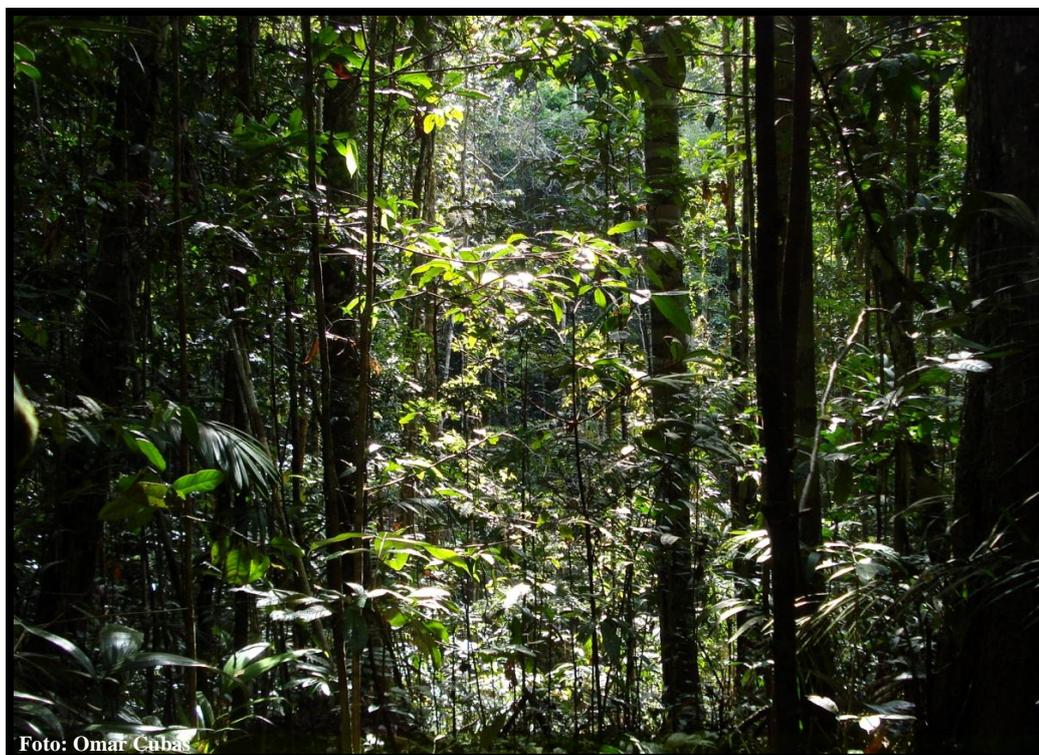


Figura 6. Detalhe da diversidade florística na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.

4.5. Histórico de uso da área em estudo

As parcelas foram instaladas em uma micro bacia representativa das condições médias de solo e declive da BOGPM, para quantificação do processo erosivo natural da região. A área em estudo denomina-se jazida 21, localizada nas coordenadas 04°52'55" S e 65°14'19" W, na margem direita da estrada de LUC, sentido porto Evandro, contando com aproximadamente dois hectares (Figura 7).



Figura 7. Jazida 21 na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

A área em estudo estava coberta por floresta primária até o ano 2000, quando foi feita a derrubada manual (motoserra), seguida pela retirada dos horizontes superficiais do solo para a utilização na construção de estradas e de obras civis. Na retirada dos horizontes superficiais, foram utilizadas máquinas pesadas (tratores e moto niveladora). Posteriormente, foi utilizada como área de bota-fora (principalmente para depósito de material da reforma das estradas).

Em 2004 foi instalado um experimento em parte da área da jazida constituído de mudas de *Carapa guianensis* Aub (Andiroba), *Flemingia congesta* (Flemingia), *Stizolobium sp.* (Tefrocia) e de algumas espécies madeiráveis. Este experimento contava com um sistema de monitoramento da dinâmica da água no solo (Teixeira *et al.*, 2006b).

Durante o experimento, o controle das ervas daninhas foi realizado com roçadeira mecânica até 2007, ano em que o experimento foi abandonado. No ano seguinte constatou-se que a maioria das mudas plantadas no experimento morreram devido à competição com a puerária, no qual apresenta um crescimento muito agressivo, sendo necessário um controle sistemático para seu uso.

4.6. Procedimentos experimentais

Em 2009, realizou-se uma capina manual e foi retirado os três primeiros centímetros do solo de uma área de 10 m de largura x 25 m de comprimento, deixando o solo completamente exposto (Figura 8). Cabe ressaltar que a área em estudo está a 50 m do experimento realizado por Teixeira *et al.* (2006b).



Figura 8. Capina manual e retirada dos três primeiros centímetros do solo para instalação das parcelas coletoras padrão de erosão na Jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.

As determinações da perda de solo e água na Jazida 21 foram realizadas em duas parcelas coletoras de erosão, com 4 m de largura por 22 m de comprimento, sendo uma com solo descoberto e uma com solo coberto por 5 cm de liteira distribuída manualmente (Figura 9). Uma terceira parcela foi instalada numa área de floresta primária adjacente (Figura 9), sendo que foi instalada com 3 m de largura por 11 m de comprimento.



Foto: Omar Cubas

Figura 9. Parcelas coletoras de solo e água com solo descoberto e solo com liteira de floresta primária instaladas na Jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.



Foto: Omar Cubas

Figura 10. Parcela coletora de solo e água instalada em floresta primária adjacente a jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Cada parcela possuía uma calha coletora, que conduzia a água e sedimentos de cada evento de chuva por meio de um cano plástico de 100 mm, o qual estava conectado a uma primeira caixa de água de 500 L. Esta por sua vez, foi montada com um divisor tipo Geib que permitia a coleta de 1/15 do volume da primeira caixa, para uma segunda caixa de água de 500 L (Figura 11).

As avaliações feitas nas parcelas de monitoramento de perdas de solo e água foram: precipitação pluviométrica, volume de água escoado e massa de sedimentos transportados.



Figura 11. Calha coletora de água e sedimentos, caixas de água de 500 L e divisor tipo Geib utilizados neste experimento de perda de solo e água. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Os dados de precipitação pluviométrica foram coletados em tempo real, por meio de pluviômetro automatizados conectados em um datalogger (CR23X Campbell - EUA) alimentado por um painel solar, o qual registrou os dados em intervalos de cinco minutos (Figura 11).



Figura 12. Pluviômetro e datalogger (CR23X Campbell - EUA) conectados em painel solar na jazida 21. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

A água da chuva que escorria superficialmente, foi conduzida pela calha coletora até a primeira caixa, onde era realizada a leitura do volume d'água utilizando uma régua calibrada com o volume da caixa. Em seguida, era realizada a homogeneização do material e coletada a alíquota de 1 L d'água com sedimentos (Figura 11).



Figura 13. Leitura do volume de água e coleta do material erodido (água e sedimentos). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Se o volume de água e sedimentos transportados excedia o volume da primeira caixa, 1/15 desse excesso era transportado por meio do divisor tipo Geib para a segunda caixa de água com 500 L de capacidade, onde se realizava a medição do volume d'água e sedimentos transportados. Após as medições e as coletas das amostras, as caixas eram esvaziadas, limpas e instaladas novamente para coletar o material do próximo evento de chuva. O mesmo procedimento foi realizado para as três parcelas coletoras.

A metodologia de coleta de água e sedimentos seguiu as recomendações de Martins *et al.* (2003) e Cardoso *et al.* (2004). Posteriormente, as amostras coletadas (alíquotas de 1 L) foram levadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas (LASP) da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus – Amazonas.

As amostras foram colocadas em Becker de 1 L para separar a água do solo em suspensão, utilizando ácido clorídrico a 37%. Uma vez separados, o sedimento que ficou no fundo do becker foi levado para estufa a 65 °C durante 24 horas e pesado em balança semi analítica com três casas decimais. O cálculo do sedimento perdido foi realizado por meio do peso do sedimento seco nos becker pela quantidade de litros de água perdidos durante cada evento de chuva coletado.

Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada na profundidade de 0 - 10 cm e indeformadas em cilindros (0-5 cm) para análises físicas e químicas de rotina. No laboratório, as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração com diâmetro menor que 2 mm, denominada Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

As amostras indeformadas foram preparadas retirando-se o excesso de solo, de maneira que o solo amostrado ocupasse somente o volume interno do anel. Em seguida, uma tela permeável foi colocada no fundo dos cilindros a fim de permitir o fluxo de água/ar e impedir a perda de solo. Após a realização desses procedimentos, os anéis foram saturados numa bandeja por meio da elevação gradual de uma lâmina de água. Após um período de 24 horas na bandeja com água, a retenção de umidade foi determinada sucessivamente nas tensões de 1,0, 1,5 e 1,8 pF ($pF = \log_{10} \text{ cm H}_2\text{O}$) empregando o método da mesa de tensão. Detalhes metodológicos podem ser vistos em Klute e Dirksen (1986).

4.7. Análises físicas

4.7.1. Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação (GF)

A análise granulométrica foi realizada após agitação mecânica e dispersão química com solução NaOH 0,1 mol L⁻¹ e a ADA por meio de agitação mecânica e água destilada (Figura 14A). A fração areia foi separada em peneiras de 2,00 – 0,20 mm (areia grossa) e de 0,20 – 0,05 mm (areia fina) (Figura 14B). Em seguida, essas foram secas em estufa e pesadas em balança eletrônica. O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

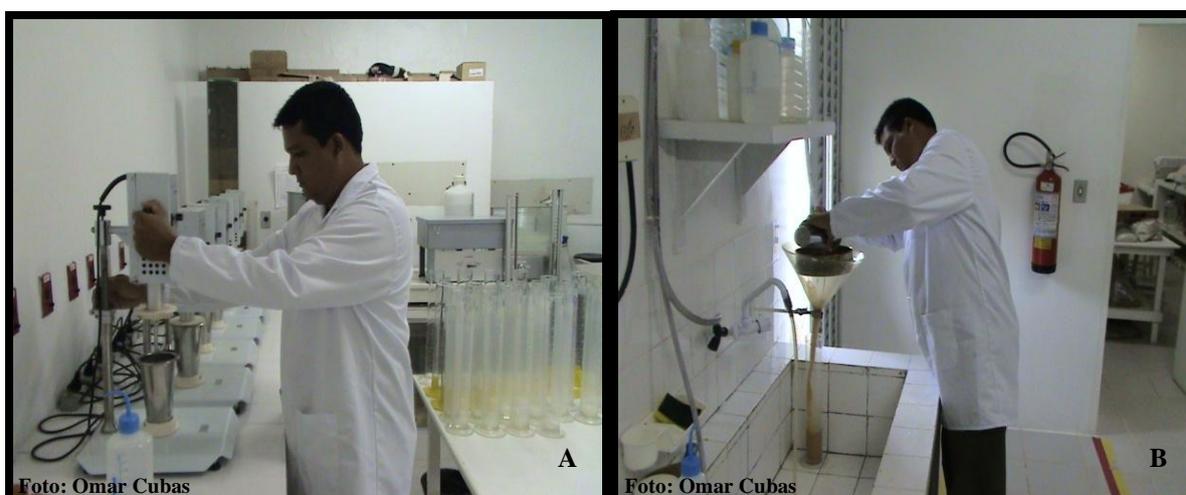


Figura 14. A) Agitação mecânica e dispersão química com NaOH 0,1 mol L⁻¹. B) Separação da fração areia (areia fina e areia grossa). Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM.

O grau de flocculação foi calculado por meio da expressão:

$$GF(\%) = [(At - ADA)/At] * 100$$

Em que: GF = grau de flocculação (%)

At = Argila total ($g\ kg^{-1}$)

ADA = Argila dispersa em água ($g\ kg^{-1}$)

4.7.2. Densidade de partículas (ρ_p)

A densidade de partículas (ρ_p) foi realizada a partir da amostra seca em estufa por 24 horas, ao qual foram retiradas 10 g de solo para serem processadas em picnômetros de 50 mL (Figura 11), conforme Embrapa (1997).



Foto: Rodrigo Macedo

Figura 15. Picnômetros de 50 mL utilizados para determinação da densidade de partículas do solo. Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM.

4.7.3. Curva de retenção de água no solo

Após um período de 24 horas na bandeja com água, a retenção de umidade foi determinada sucessivamente nas tensões de 1.0, 1.5 e 1.8 pF ($pF = \log_{10} cm\ H_2O$) empregando o método da mesa de tensão. Detalhes metodológicos podem ser vistos em Klute e Dirksen (1986).

4.7.4. Densidade do solo (ρ_s) e volume de poros

Após a curva de retenção, as amostras foram levadas à estufa onde foram secas a 105° C por 24 horas para determinação do conteúdo da massa de solo seco e assim obter-se a densidade do solo (ρ_s), conforme Blake e Hartge (1986), dada pela seguinte expressão:

$$\rho_s = \left(\frac{\text{mss}}{\text{vtp}} \right)$$

Em que: ρ_s = densidade do solo (Mg m^{-3})

mss = massa do solo seco a 105° C (Mg)

vtp = volume total de poros (m^3)

O volume total de poros (VTP) foi calculado a partir dos valores de densidade do solo e de densidade de partículas, segundo a expressão:

$$\text{VTP} = [1 - (\rho_s / \rho_p)]$$

Em que: ρ_p = densidade de partículas (Mg m^{-3})

A microporosidade foi calculada por meio da expressão:

$$\text{Microporosidade} = 100 * (\text{pF } 1.8 - \text{mss}) / (\text{mss} - \text{pcil} - \text{pano} + \text{liga})$$

Em que: pcil = peso do cilindro metálico (g)

peso da liga + pano = liga e tela permeável colocados no fundo dos cilindros.

A macroporosidade foi calculada por meio da diferença entre o VTP e o volume de microporos:

$$\text{Macroporosidade} = \text{VTP} - \text{microporosidade}$$

4.7.5. Estabilidade de Agregados

Para a determinação da estabilidade de agregados, coletaram-se três amostras simples na profundidade de 0 10 cm de cada tratamento descrito anteriormente. A coleta foi feita com auxílio de pá-de-corte e colher de pedreiro, sem destruição dos torrões, que foram acondicionados em sacos de plástico e, posteriormente, secados ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram desmanchados manualmente, tomando-se cuidado para não destruir os

agregados; a seguir, foram tamisados em peneiras de 4 mm e 2 mm, e os agregados retidos na menor peneira foram selecionados para a análise laboratorial via úmida (Embrapa, 1997).

Para a determinação da distribuição das classes de agregados, foi utilizado o tamisamento via úmida, com o aparelho preconizado por Yoder (1936), que foi calibrado para funcionar durante 15 min, com 38 oscilações por min, num intervalo espacial de 3,5 cm de amplitude entre o ponto máximo e mínimo. Para cada amostra oriunda do campo, foram feitas três repetições no laboratório. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional. Cada amostra foi colocada em placas de Petri e umedecida, lentamente, com água deionizada, com auxílio de um atomizador manual, durante 15 min. Depois de passadas duas horas do início do umedecimento, as amostras foram transferidas para o aparelho de Yoder, adaptado com peneiras de malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de abertura. Após o término das oscilações, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi secado em estufa a 105°C, durante 24 horas, e em seguida foi pesado. A classe menor do que 0,105 mm foi calculada por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo fórmulas propostas por Alvarenga *et al.* (1986). A equação utilizada foi a seguinte:

$$\text{DMG} = \text{antilog} \frac{\sum (n \log d)}{\sum n}$$

Em que: n = porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras

d = valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm).

4.8. Análises químicas

As análises químicas realizadas foram as seguintes: pH (em água – relação 1:2,5 v/v), alumínio trocável (Al^{3+}) extraído com solução KCl 1 mol L^{-1} e quantificado por titulometria com solução NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, acidez potencial (H+Al), extraída com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0 e quantificada por titulometria com solução NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$, fósforo disponível (P) pelo extrator Mehlich-1, quantificado espectrofotometricamente por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibídico produzido pela redução do molibdato de amônio com o ácido ascórbico, cálcio e magnésio (Ca^{2+} e Mg^{2+}), extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} e quantificados por titulometria pelo método complexométrico, potássio (K^+) extraído com solução HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ e quantificado por fotometria de chama e carbono orgânico total pelo método do Walkley-Black. Detalhes do procedimento metodológico estão descritos em Embrapa (1997).

Foram calculados os seguintes índices: Saturação por bases (V) = 100 S/T e Saturação por alumínio (m) = $100 \text{ Al} / (\text{S} + \text{Al})$.

Em que: S = Soma de bases trocáveis e

T = Capacidade de troca de cátion total.

4.9. Cálculos dos fatores da equação universal de perdas de solo (EUPS)

O cálculo dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) foi realizado da seguinte forma:

4.9.1. Fator Erosividade (R):

Foi calculada utilizando as equações, conforme Lombardi Neto (1977).

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$$

Em que: EI = média mensal do índice de erosividade, MJ ha⁻¹ mm⁻¹

r = média mensal de precipitação, em mm

P = média anual de precipitação, em mm

O R é determinado pela soma dos valores mensais do índice de erosividade em todo o período avaliado.

$$R = \sum EI$$

Em que: R = erosividade da chuva (MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹)

EI = média mensal do índice de erosividade

Para o cálculo do índice de erosividade (EI₃₀) foi utilizada a equação proposta por Wischmeier e Smith (1958):

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Em que: E = energia cinética (MJ ha⁻¹ mm⁻¹)

I = intensidade da chuva (mm h⁻¹)

O índice EI₃₀ foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E) de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I₃₀).

4.9.2. Fator Erodibilidade (K):

A erodibilidade do solo foi obtida por meio de regressão linear simples ($y = a + bx$), utilizando as perdas de solo no eixo y e erosividade da chuva no eixo x, em que o coeficiente b, após correções do declive, representa a erodibilidade do solo.

O fator erodibilidade do solo foi corrigido para o declive referente à parcela padrão (9 %), conforme preconizado por Wischmeier e Smith (1978) e transformado para o sistema internacional de unidades proposto por Bertoni *et al.* (1975):

$$LS = L^{0.5} 100^{-1} (1,36 + 0,975S + 0,1385S^2)$$

Em que: LS = fator topográfico

L = comprimento de rampa, expresso em m

S = declividade do terreno, expresso em %

4.9.3. Fator uso do solo, manejo e práticas conservacionistas (CP):

O cálculo destes fatores foi realizado segundo Wischmeier e Smith (1978), utilizando a seguinte expressão.

$$RPS = \frac{PC}{PD}$$

Em que: RPS = razão de perda de solo

PC = perda de solo no tratamento com liteira ou floresta ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$)

PD = perda de solo no tratamento com solo descoberto ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$)

Com os valores das RPS dos tratamentos e a distribuição da erosividade, foi calculado o fator cobertura e práticas conservacionistas:

$$CP = \sum \frac{RPS}{R}$$

Em que: CP = fator cobertura do solo e prática conservacionista

4.10. Metodologia para avaliação da perda de solo pelo método da mudança da superfície do solo (método dos pinos)

As avaliações das perdas de solo pelo método do pino cravado no solo foram realizadas dentro da parcela com solo descoberto.

A dimensão dos pinos foi de 0,30 e 0,015 m para altura e diâmetro respectivamente. Os pinos foram instalados conforme mostra a Figura 16A. Os pinos foram cravados no solo até 0,15 m de profundidade (Figura 16B), a uma distância de 0,20 x 0,20 m em 1 m², na parte superior, média e inferior da parcela, seguindo o sentido da declividade do terreno, perfazendo um total de 60 pinos.

As leituras dos pinos foram trimestrais ao longo de um ano e feitas diretamente nos pinos (em frente dos pinos, no sentido contrário ao declive do terreno), utilizando-se uma régua de 30 cm. Foram considerados 0,15 m como a superfície de referência correspondente a zero; leituras acima desse valor indicam deposição de solo, e abaixo, arraste de solo.

A avaliação das perdas pela mudança na superfície do solo foi realizada indiretamente por meio da mudança no relevo do solo conforme metodologia sugerida por Bertoni e Lombardi Neto (1990), onde as perdas de solo foram calculadas de acordo com a seguinte expressão:

$$P = h * A * Ds$$

Em que: P = perda de solo (t ha⁻¹)

h = média da alteração de nível da superfície do solo (m)

A = área da parcela (m²)

Ds = densidade do solo (t m⁻³).

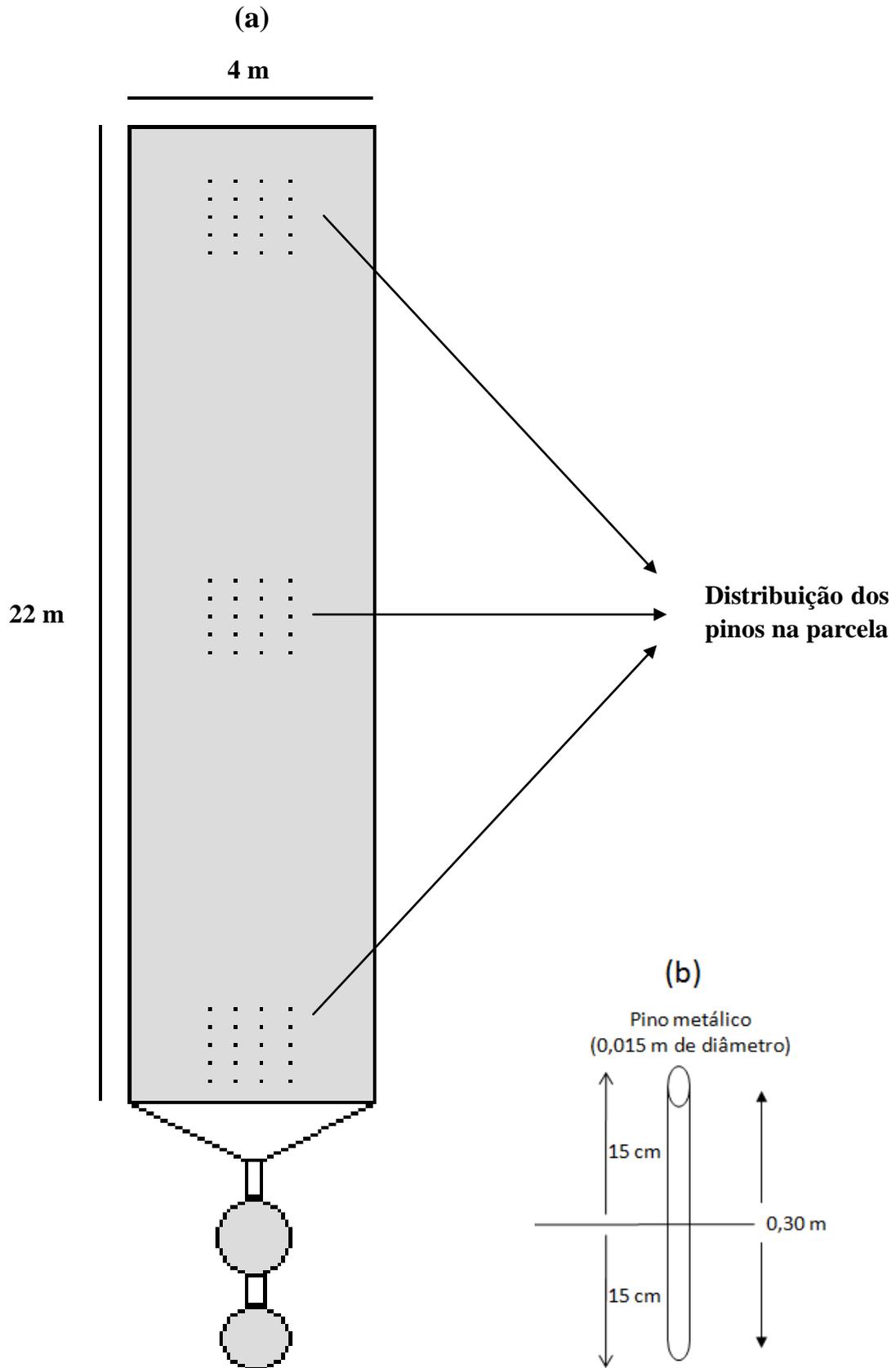


Figura 16. A) Detalhe esquemático da parcela descoberta para avaliação das perdas de solo pelo método dos pinos cravados no solo. B) Detalhe do pino cravado no solo. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

411. Análise dos dados

Para a análise dos dados, foi realizada estatística descritiva, análise de variância, teste de médias, correlação e regressão utilizando o programa estatístico R (Development Core Team, 2009).

Foram feitas comparações entre as perdas de solos e de água entre as parcelas descoberta, coberta com liteira e sob floresta após a normatização dos dados para o tamanho da parcela, utilizando os 36 eventos de chuva que foram coletados neste estudo. Cada evento de precipitação coletado foi considerado uma repetição, os dados foram comparados por análise de variância e teste de médias (Tukey), após o agrupamento dos dados em faixas de índice de erosividade EI_{30} (> 20 , $< 20 > 10$ e < 10).

Foram feitas correlações de Pearson, entre os valores das perdas de solo e os dos índices de erosividade (EI_{30}) dos 36 eventos de chuva coletados dos três tratamentos. As correlações foram testadas quanto à sua significância pelo teste t.

Para determinação do fator erodibilidade (K) realizaram-se análises de regressão linear simples (Bertol, 1994). Nas equações de tipo $Y = a + bX$, Y corresponde às perdas de solo, X ao índice de erosividade (EI_{30}), “b” aos fatores KLS (erodibilidade do solo, comprimento e grau do declive) e “a” é considerado o resultado da influencia de outros fatores como: umidade antecedente ao início do evento, infiltração anterior ao começo da enxurrada e retenção devido à rugosidade superficial (Biscaia *et al.*, 1981). A reta do modelo foi forçada a passar pela origem gerando o seguinte modelo ($Y = bX$), tendo seus parâmetros o mesmo significado do modelo anterior (McGregor *et al.*, 1969).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Perdas de solo e água

As perdas de solo e água dos 36 eventos de chuva coletados, bem como os parâmetros estatísticos (média e desvio-padrão), podem ser observadas na

A maior perda de solo e de água foi observada no tratamento com solo descoberto $89,77 \text{ g L}^{-1}$ e $42,82 \text{ mm}$ respectivamente, onde o índice de erosividade deste evento de chuva foi de $47,11 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Em contraste, a menor perda de solo e água foi observado no tratamento sobre floresta primária, $0,02 \text{ g L}^{-1}$ e $0,14 \text{ mm}$, com índice de erosividades de $7,72$ e $4,08 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente. Vale a pena mencionar, que os valores de zero (0,0) apresentado na Tabela 1 principalmente nos tratamentos com liteira e floresta são devido a que nesses eventos não teve perda de solo e água. Ainda na Tabela 1, também podemos encontrar o valor total de chuva dos 36 eventos coletados (458 mm), onde 77% da água que caiu dentro da parcela com solo descoberto foi perdida por escoamento superficial, em quanto a diferença infiltrou no solo. Por outro lado, 53 e 5% da água que caiu dentro das parcelas com liteira e sob floresta primária foram perdidas respectivamente.

A análise de variância mostra diferença estatística significativa de perda de solo entre os tratamentos e entre os índices de erosividade (EI_{30}) de cada tratamento, com exceção dos $EI_{30} < 20 > 10$ e < 10 do tratamento solo descobertos, todos os EI_{30} do tratamento com liteira e os $EI_{30} > 20$ e $< 20 > 10$ do tratamento solo sob floresta primária. Quando comparadas as médias de cada tratamento pelo teste Tukey, podemos observar que existe um aumento significativo das perdas de solo entre os tratamentos com proteção do solo (solo coberto com liteira e solo sob floresta primária) em relação ao solo descoberto. Entretanto, observa-se que não houve diferença significativa entre o solo coberto por floresta primária e com liteira, mostrando a eficiência da cobertura do solo na redução do processo erosivo (Figura 17).

Tabela 1. Valores de perda de solo e água por erosão hídrica em diferentes índices de erosividade da chuva em solo descoberto, solo com liteira e solo sob floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

EI30	Erosividade	Perda de solo			Perda de água				Precipitação		
	(R)	Descoberto	Liteira	Floresta	Descoberto	Liteira	Floresta				
	MJ mm ha ⁻¹	----- g L ⁻¹ -----			mm	%	mm	%	mm		
> 20	47,1	89,8	1,6	1,0	42,8	93	37,5	82	1,1	2	46,0
	31,4	25,4	0,6	0,6	32,6	88	22,5	61	2,1	6	37,2
	30,9	58,0	0,5	0,5	25,6	72	20,0	56	2,6	7	35,8
	26,3	49,7	0,5	0,5	34,5	90	19,2	50	2,1	5	38,2
	21,5	77,0	0,6	0,9	28,2	90	21,3	68	2,6	8	31,4
$\bar{x} \pm dp^*$	31,4 ± 9,6	59,9 ± 24,9	0,8 ± 0,5	0,70 ± 0,23	32,7 ± 6,6		24,1 ± 7,6		2,1 ± 0,6		37,7 ± 5,3
< 20 > 10	17,0	13,6	0,3	0,3	20,7	93	8,9	40	1,1	5	22,2
	14,1	20,5	1,4	1,8	16,4	67	16,4	67	1,9	8	24,4
	13,3	18,3	0,1	0,1	9,41	64	7,9	54	0,7	5	14,6
	12,5	33,2	0,4	0,3	15,9	88	12,1	67	1,1	6	18,0
	11,6	12,3	2,3	1,0	12,1	71	6,9	40	1,0	6	17,2
	10,6	35,5	0,1	0,1	10,9	80	9,4	69	0,6	4	13,6
	10,4	9,8	0,2	0,1	16,4	85	10,9	57	1,3	7	19,2
$\bar{x} \pm dp^*$	12,8 ± 2,2	20,4 ± 10,1	0,68 ± 0,84	0,53 ± 0,63	14,5 ± 3,9		10,3 ± 3,2		1,1 ± 0,4		18,4 ± 3,8
< 10	9,4	37,3	1,3	0,4	17,6	97	14,4	79	1,2	6	18,2
	8,4	53,9	0,2	0,4	13,2	84	7,4	47	0,6	4	15,6
	7,7	13,4	0,3	0,0	8,9	62	2,3	16	0,5	3	14,4
	6,4	26,1	0,3	0,3	9,9	90	7,4	67	1,0	9	11,0
	4,1	24,3	0,4	0,2	2,8	35	2,5	31	0,1	2	8,0
	4,1	9,8	0,4	0,2	2,8	63	0,7	16	0,2	4	4,4
	3,3	25,5	0,9	0,3	2,8	37	0,9	12	0,2	2	7,4
	3,2	39,0	0,2	0,2	8,4	89	5,8	62	0,6	6	9,4
	3,1	17,7	0,9	0,9	2,8	51	0,8	16	0,2	3	5,4
	3,0	29,4	0,2	0,2	3,8	63	2,5	42	0,1	2	6,0
	2,8	19,0	0,4	0,0	2,4	37	0,4	6	0,2	3	6,4
	2,2	4,6	0,5	0,3	2,5	54	2,1	46	0,1	3	4,6
	1,6	7,1	0,6	0,0	0,7	16	0,2	5	0,0	0	4,4
	1,6	14,0	0,6	0,5	2,8	73	1,8	47	0,6	14	3,8
	1,0	5,7	0,0	0,0	0,3	13	0,0	0	0,0	0	2,6
	1,0	8,0	0,2	0,0	1,9	45	0,1	3	0,0	0	4,2
	1,0	6,0	0,1	0,0	0,6	21	0,2	8	0,0	0	3,0
	0,7	1,8	0,2	0,0	0,4	15	0,1	3	0,0	0	2,8
	0,6	4,0	0,3	0,0	0,6	25	0,1	6	0,0	0	2,2
	0,4	0,6	0,0	0,0	0,8	9	0,0	0	0,0	0	1,8
0,3	12,1	0,7	0,2	0,8	43	0,5	27	0,3	15	1,8	
0,3	3,0	0,2	0,0	0,5	43	0,2	17	0,0	0	1,2	
0,2	1,3	0,0	0,0	0,3	27	0,0	0	0,0	0	1,0	
0,1	0,6	0,0	0,0	0,1	14	0,1	14	0,0	0	1,0	
$\bar{x} \pm dp^*$	2,7 ± 2,4	15,1 ± 14,2	0,37 ± 0,33	0,17 ± 0,16	3,6 ± 3,0		2,1 ± 1,5		0,23 ± 0,20		5,8 ± 5,3
Total	313	807	17	11	352	77	243	53	24	5	458

*Media ± Desvio Padrão

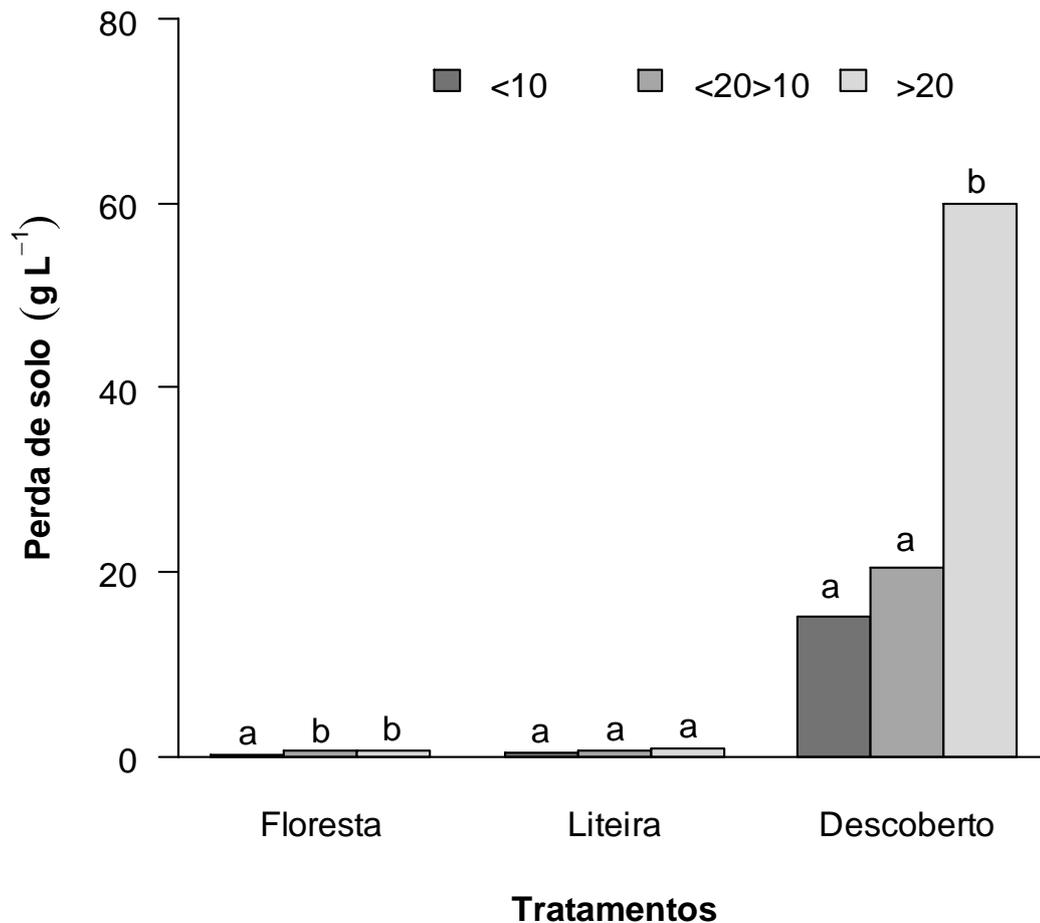


Figura 17. Valores médios de perda de solo dos tratamentos solo descoberto, solo com liteira e solo sobre floresta primária nos diferentes Índices de erosividade EI_{30} (< 10, < 20 > 10, > 20). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%).

Estudos de perdas de solo realizados de forma direta na região do Apiaú no Estado de Roraima, apresentados por Barbosa e Fearnside (2000), comparando uma pastagem com floresta primária, indicam que a perda de solo da pastagem (*Brachiaria humidicola*) é sete vezes maior que na floresta primária. Outros estudos realizados por Barros *et al.* (2009), sobre perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* Wild e Savana em Roraima, norte da Amazônia, mostram que as perdas média de solo dos tratamentos plantio jovem de *Acacia mangium* (plantas com um ano de idade e linhas de plantas no sentido do declive) são aproximadamente 3,5 vezes maiores que as perdas de solo sobre plantio estabelecido (plantas com quatro anos de idade e linhas no sentido do declive) e aproximadamente 10,5 vezes maiores que as da savana natural (cobertura natural sem antropização).

Perdas de solo sobre diferentes sistemas de cultivo estudados no nordeste paraense por Lopes *et al.*, (1999) evidenciam que as perdas médias de solo dos tratamentos solo descoberto sem aração e gradagem foram 2,5 vezes maiores que o tratamento pimenta-do-reino sem aração e gradagem, 3,5 vezes maiores que o tratamento pimenta-do-reino com aração e gradagem, 4 vezes maiores que o tratamento rotação e consorciamento com culturas anuais e 56 vezes maiores que a pastagem (*Brachiaria humidicola*) sem aração e gradagem. Mesmo sendo diferentes as magnitudes das perdas de solo observadas neste estudo, ratifica-se a importância da cobertura vegetal para a proteção do solo contra erosão.

As menores perdas de solo observadas no tratamento com solo sobre floresta primária neste estudo podem também ser explicadas pela interceptação das gotas de chuvas do dossel da floresta, que possui um extrato vertical muito diversificado, que fragmenta os pingos das chuvas em frações menores, dissipando a energia sintética no impacto com as folhas, aliado à maior proteção do solo pela existência de uma rica camada de folhas (serapilheira), que fragmenta ainda mais as gotas de chuva, amortecendo o impacto da água sobre o solo, coincidindo com o trabalho realizado por Martins *et al.* (2003), que realizando estudos de perdas de solo por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES) encontraram que três tipos de solos sob floresta primária perdem menos solo do que solos sob cultivo de Eucalipto, mesmo para diferentes declives.

Albuquerque *et al.* (2001) mencionam que maiores teores de matéria orgânica encontrados em solos de floresta primária condicionam agregados de maior estabilidade e conseqüentemente melhor estrutura e maior permeabilidade, o que provavelmente também estaria explicando o baixo valor de perda de solo deste estudo na área de floresta primária. Para Garcia-Fayos (2004), a vegetação interfere no sentido de minimizar a erosão na medida em que aumenta a estabilidade dos agregados do solo, aumenta a coesão do solo, protege do impacto das gotas de chuva, aumenta a capacidade de infiltração e reduz o escoamento superficial.

O resultado da análise de variância para perda de água mostra diferença estatística significativa entre os tratamentos e entre os índices de erosividade (EI_{30}) de cada tratamento. Porém observa-se que as perdas de água foram semelhantes entre a parcela com solo descoberto e solo coberto com liteira, mas significativamente menor na área com solo coberto por floresta primária (Figura 18). Isto provavelmente está relacionado com a capacidade reduzida de infiltração e transmissão de água nos horizontes subsuperficiais que foram

expostos em superfície após a retirada dos horizontes superficiais da jazida onde estão instaladas as parcelas coletoras (Teixeira *et al.*, 2006b, 2007). Este processo estaria agravado pelos elevados teores de silte nestas camadas (Arruda, 2005) e a baixa resistência dos agregados que ficam expostos na superfície (Martins *et al.*, 2004).

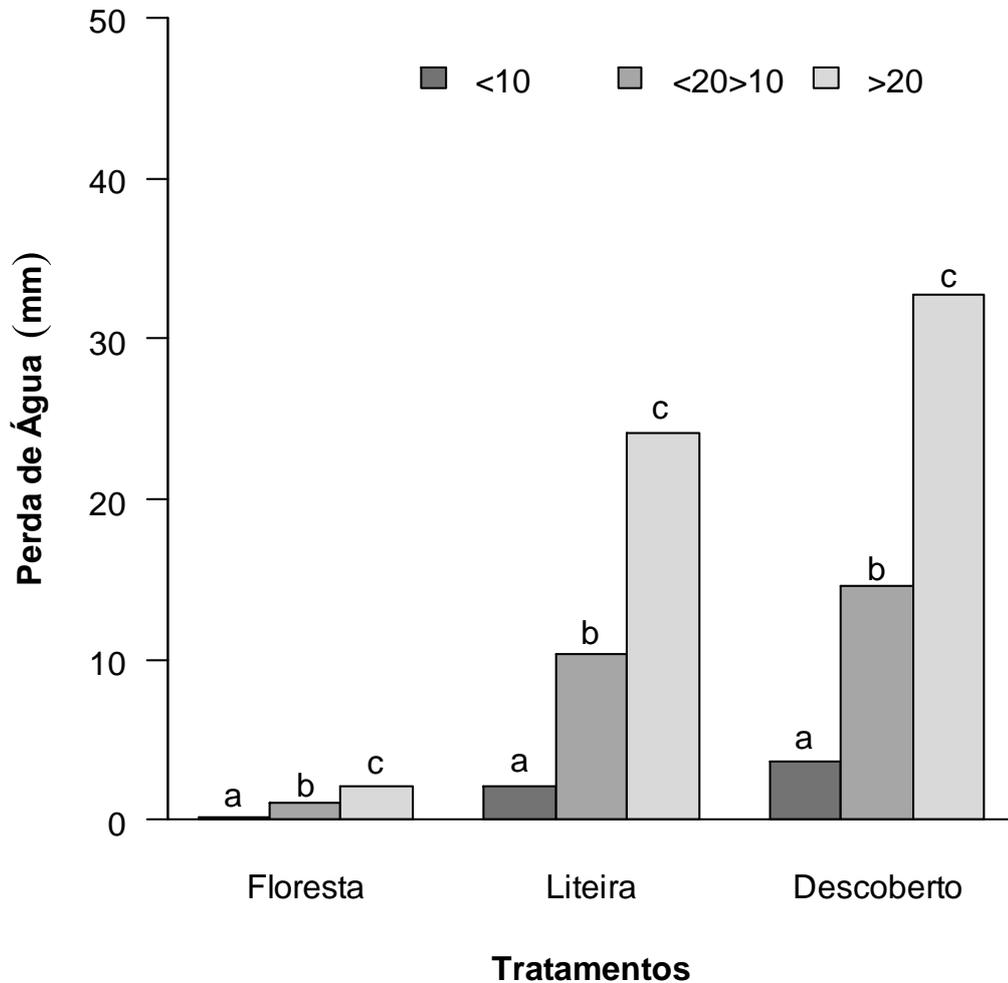


Figura 18. Valores médios de perda de água dos tratamentos solo descobertos, solo com liteira e solo sob floresta primária nos diferentes Índices de erosividade EI_{30} (> 20 , $< 20 < 10$, < 10). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM. (médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%).

A ausência de proteção do solo devido a remoção da cobertura vegetal e dos horizontes superficiais da jazida, combinada aos eventos de maior precipitação, que foram os de maior erosividade, tornou o horizonte subsuperficial exposto em superfície mais suscetível a enxurrada, concordando com Dedececk *et al.* 1986 e Cogo *et al.* 2003, que afirmam que a cobertura vegetal oferece a proteção necessária ao solo durante chuvas altamente erosivas.

6.2. Fatores da equação universal de perda de solo (EUPS)

6.2.1. Fator erosividade (R)

Foram coletados 36 eventos de chuva ao longo do experimento, sendo que o maior e menor índice de erosividade (EI_{30}) foi de 47,11 e 0,13 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, quando a precipitação de cada evento foi de 46 e 1 mm, respectivamente (Tabela 1). Cabe ressaltar que o maior índice de erosividade (EI_{30}) foi observado em um único dia (31 de maio de 2010) e em um curto período de tempo (90 minutos). Fato similar também foi observado por Macedo *et al.* (2007) na região de Urucu. Erosividade muito alta também foi observada na região de Aracruz (ES), onde em apenas um único dia ocorreu uma precipitação de 230 mm, que gerou uma erosividade de 9.552 mm ha⁻¹ h⁻¹ (Martins, 2005).

Na Tabela 1, de forma geral, observa-se que foram mais comuns chuvas com maior índice de erosividade (> 20 MJ mm ha⁻¹) produzirem maiores perdas de solo; entretanto, foram também observados valores de baixo índice de erosividade (< 10 MJ mm ha⁻¹), produzindo grandes perdas de solo, principalmente no solo descoberto. Isso pode estar atribuído, provavelmente, a variabilidade do grau de umidade antecedente do solo por ocasião das chuvas. Este efeito poderia estar sendo atenuado nas parcelas com liteira e floresta primária pelo efeito da serapilheira e da cobertura vegetal. Silva *et al.* (2009) também observaram que algumas chuvas de baixa erosividade produziam maiores perdas de solo em comparação às altas, indicando que, possivelmente, a umidade antecedente do solo estava alta em alguma época do ano.

Na Figura 11 observa-se que os valores do índice de erosividade (EI_{30}) apresentam as mesmas tendências dos valores de precipitação, fato que também foi observado por Marques (1996). Aparentemente, os maiores e menores valores de precipitação dos 36 eventos de chuva coletados neste estudo correspondem aos meses encontrados na estação chuvosa (dezembro a maio) e estação seca (junho a novembro) respectivamente, referentes à cidade de Coari (Macedo *et al.*, 2007) e à região de Urucu (Arruda, 2005), época em que se observa os maiores e menores valores de erosividade respectivamente.

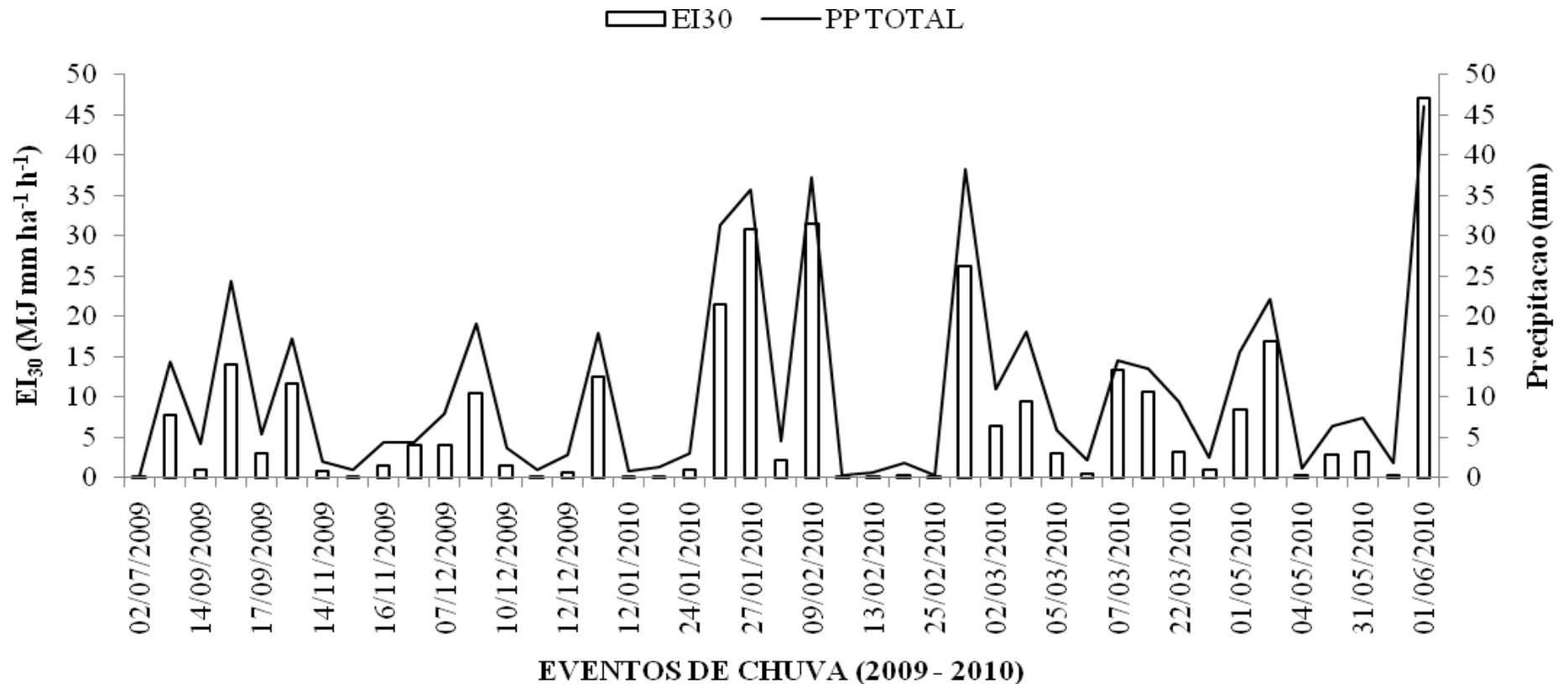


Figura 19. Distribuição da erosividade e da precipitação de cada evento de chuva coletado no período de (julho de 2009 a julho de 2010). Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.

Na Tabela 2 são observados os dados de precipitação e erosividade das chuvas mensais referentes à Base de Operações Geólogo Pedro de Moura durante o período estudado. Observa-se que a precipitação total durante o período de estudo foi de 2.335,5 mm. O regime de precipitação pluviométrica se divide em dois períodos: o primeiro, que corresponde a um período chuvoso, compreendendo os meses de dezembro a junho, onde os riscos de perda de solo por erosão hídrica são aumentados devido ao maior poder erosivo das chuvas (82%) e um segundo período, correspondente a um período seco que compreende os meses de julho a novembro, época em que é recomendado para a realização de práticas de manejo devido o solo ficar exposto ao impacto das gotas de chuva.

Lopes e Brito (1993) também observaram que na região do médio São Francisco, há duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca; a estação chuvosa corresponde ao período de maior risco à erosão, enquanto no período seco o risco é quase nulo.

Tabela 2. Valores mensais e totais da precipitação, do índice de erosividade e da erosividade da chuva no período de julho de 2009 a junho de 2010 na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	TOTAL
Precipitação (mm)												
102,5	93,2	114,4	153,8	150,8	259,4	264,1	141,2	221,6	288,2	282	264,3	2.335,5
Índice de erosividade – EI (MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹)												
241,8	205,7	291,6	482,0	466,2	1.172,2	1.208,5	416,8	896,8	1.401,9	1.351,0	1.210,1	9.344,6*

*Valor do fator erosividade (R)

O mês de maior precipitação e maior poder erosivo no período de estudo foi abril, totalizando 288 mm e 1.401,93 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹ respectivamente, contrastando com o mês de agosto, que apresentou o menor valor de precipitação e menor poder erosivo, 93 mm e 205,70 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 2). De forma geral, os valores de precipitação não apresentaram muitas diferenças quando comparados com os valores de precipitação obtidos por Aguiar (2001), Arruda (2005) e Macedo *et al.* (2007), com exceção dos meses de fevereiro e junho, fato que poderia estar associado às anomalias positivas de precipitação registradas no estado do Amazonas neste ano (INMET, 2010).

O fator erosividade da chuva (R) encontrado foi de 9.344,59 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 2). Estes valores são bem próximos aos encontrados por Arruda (2005) para a localidade de Urucu, 10.326,72 MJ ha⁻¹ mm⁻¹ ano⁻¹ e aos encontrados por Macedo *et al.*

(2007) ($8.899,90 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e diferente do encontrado por Oliveira Jr. e Medina (1990), $14.129,6 \text{ MJ ha mm}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a cidade de Manaus.

Na Figura 11 observa-se que os eventos de maior índice de erosividade EI_{30} ocorreram em menor frequência e foram responsáveis pela maior parte das perdas de solo e os eventos de menor índice de erosividade (EI_{30}) ocorreram em maior frequência e, com algumas exceções, explicadas pela elevada umidade antecedente do solo, foram responsáveis por pequenas perdas de solo. Assim, eventos de alta energia podem, eventualmente, provocar baixas perdas de solo, especialmente no solo com baixa umidade antecedente.

6.2.2. Fator erodibilidade (K)

Segundo Wischmeier (1972), o coeficiente angular (b) das equações de regressão obtidas por meio das variáveis erosividade (expressa pelo índice EI_{30}) e as perdas de solo na determinação da erodibilidade, apresenta uma boa estimativa deste fator.

Os modelos $A = 0,6324EI_{30} - 1,4443$ ($R^2 = 0,78^*$) para o solo descoberto, $A = 0,0079EI_{30} + 0,0179$ ($R^2 = 0,62^*$) para o solo sob liteira e $A = 0,0004EI_{30} + 0,0004$ ($R^2 = 0,62^*$) para o solo sob floresta primária, consideram valores anuais, onde o maior valor do coeficiente de determinação foi obtido entre o EI_{30} e as perdas de solo no tratamento com solo descoberto. Os tratamentos de solo com liteira e solo sob floresta primária apresentam um reduzido ajuste ao modelo linear, indicado pelos baixos coeficientes de determinação (Figura 11). Na mesma figura, os três tratamentos apresentaram aumento das perdas de solo com o incremento do EI_{30} . Ainda observa-se uma concentração dos pontos próxima a origem dos pontos cartesianos, como também observado por Biscaia *et al.* (1981), mas também pode-se inferir que existe uma variação ampla tanto para baixo quanto para altos índices de erosividade nos três tratamentos, o que pode ser explicado pelo curto período de tempo e reduzido número de eventos estudados (Bertol,1994). Isto mostra que algumas chuvas de alta erosividade ocasionaram baixas perdas de solo e algumas chuvas de baixa erosividade ocasionaram altas perdas de solo. Esse comportamento pode ser explicado principalmente pela variação da umidade antecedente do solo ao evento de chuva, conforme discutido anteriormente.

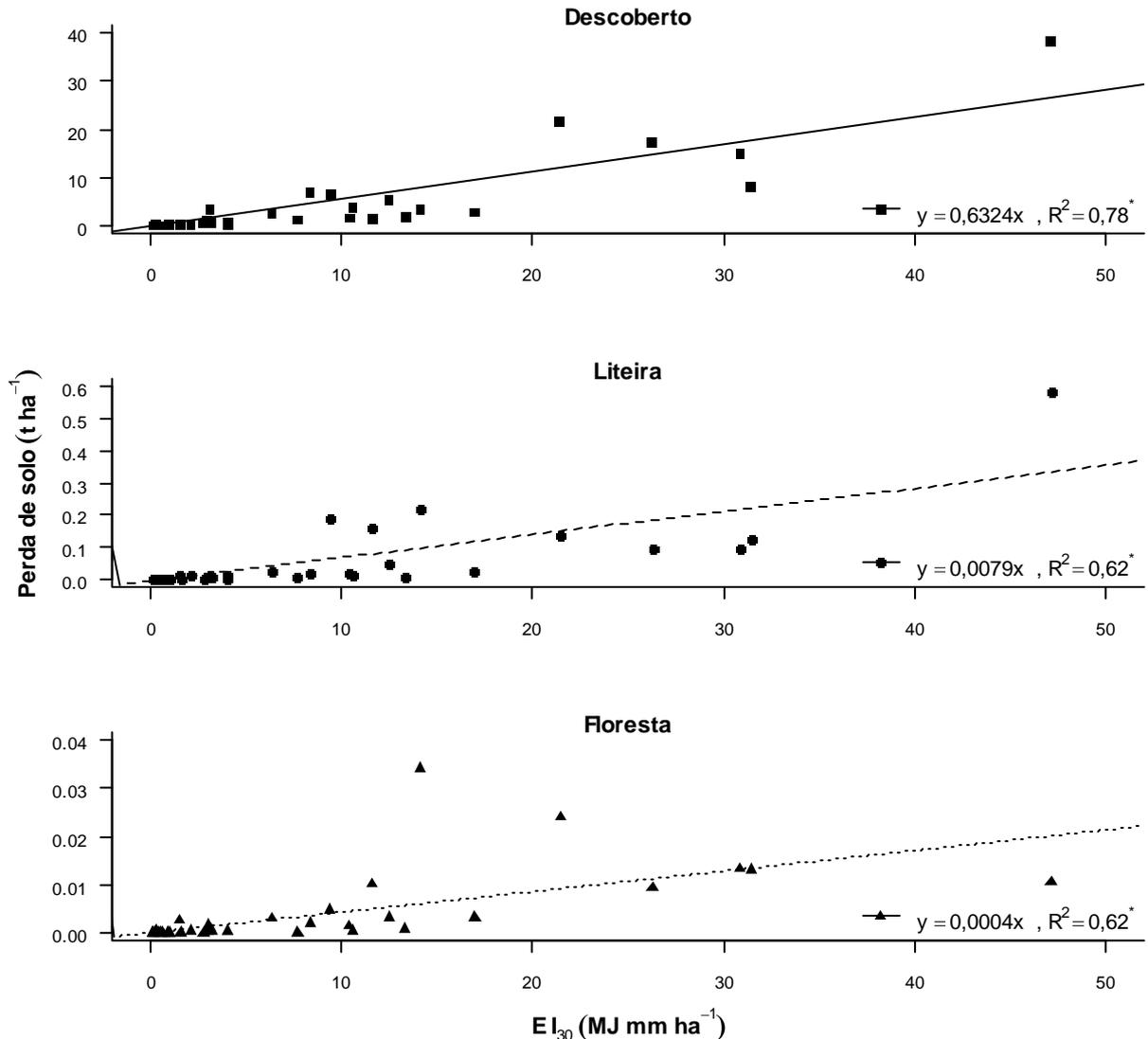


Figura 20. Regressão linear simples entre as perdas de solo e o índice de erosividade (EI_{30}), para os tratamentos solo descoberto, solo com liteira e solo sob floresta primária na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari - AM.

O coeficiente angular (b) da equação de cada tratamento foi corrigido pelo fator topográfico (LS) para determinação do fator erodibilidade (K) de cada tratamento. Para a obtenção do fator topográfico, determinou-se o comprimento e a declividade de todos os tratamentos (Tabela 3). Nessa tabela também observam-se os valores do fator topográfico, onde o maior valor encontrado de 1,23 corresponde ao tratamento solo sob floresta primária em quanto o menor de 0,70 correspondem aos tratamentos solo descoberto e solo sob liteira.

O maior valor do fator topográfico do tratamento solo sob floresta primária foi devido a maior declividade da área. Apesar disso, esse maior valor pouco influenciou na perda de solo e água quando comparado com o solo descoberto.

Tabela 3. Comprimento, declividade, coeficiente angular b, fator topográfico e erodibilidade dos tratamentos.

Tratamentos	Comprimento	Declividade	Coeficiente	Fator	Fator
	m	%	Angular b	Topográfico (LS)	erodibilidade (K)
Solo descoberto	22	7	0,6324	0,70	0,9026
Solo com liteira	22	7	0,0079	0,70	0,0112
Solo sob floresta	11	13	0,0004	1,23	0,0032

Os coeficientes depois de corrigidos pelo fator topográfico dos respectivos tratamentos permitiram obter os valores do fator K dos tratamentos, a saber: 0,9026, 0,0112 e 0,0032 t ha MJ⁻¹ mm⁻¹ para os tratamentos solo descoberto, solo com liteira e solo sob floresta primária, respectivamente (Tabela 3).

O valor obtido para K no tratamento solo descoberto é considerado muito alto de acordo com a classificação estabelecida por Ranzani (1980), para Cambissolos no estado do Amazonas. Santos *et al.* (2002) mencionam que a erosão tende a ser maior em solos com maiores teores de silte e areia e menor nos solos argilosos, devido a baixa agregação e maior erodibilidade dessas partículas, sendo facilmente dispersos e transportados, constituindo um dos fatores mais importante da erodibilidade, devido apresentar semelhança de comportamento com a fração areia fina do solo.

O valor muito alto do fator K no tratamento solo descoberto foi devido provavelmente à remoção dos horizontes A, B e parte do horizonte C da jazida 21, alterando as propriedades físicas e carbono orgânico total, aliado aos elevados valores de silte encontrados nas duas áreas estudadas (Tabela 4) como mencionado por Teixeira *et al.* (2007), Arruda (2005) e Molinaro (2005), onde as partículas do tamanho de areia fina e silte predominantes nos horizontes superficiais aumentam a susceptibilidade ao processo erosivo. De forma geral, observa-se que as características químicas e físicas do solo da jazida 21 são bem diferentes das do solo da área de floresta primária adjacente, como consequência das atividades antrópicas nela realizadas.

O valor de K encontrado no tratamento solo descoberto é muito superior ao valor médio anual (0,03 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹) observado em parcelas instaladas em campo por Silva *et al.* (2009) para um Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, ao valor de 0,01 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ e 0,009 Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹ encontrado por Bertol *et al.* (2002) para um Cambissolo Húmico de

Lages (SC) e por Silva *et al.* (1997) para um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa de Goiânia (GO).

Estudos nos quais se analisou a influência da umidade na determinação do fator K para chuvas individuais foram realizados por Wischmeier (1976), constatando que eventos ocorridos em períodos extremos, em solo muito seco ou muito saturado, provocam variações no valor de erodibilidade. Segundo Wischmeier e Mannering (1969), na equação de regressão $A = a + bx$, o coeficiente (**a**) representa outras influências no fenômeno, tais como a umidade antecedente, infiltração anterior ao escoamento e retenção por rugosidade superficial. Isto também mostra a dificuldade que existe para determinar a erodibilidade devido às características intrínsecas de cada solo em particular e de sua umidade no momento do evento erosivo.

Os teores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e K^+ da jazida 21 são bem superiores quando comparados aos da floresta primária, onde o pH (H_2O) foi alcalino (7,19) e o teor de Ca^{2+} ($7,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi elevado. Isto é devido ter sido realizada na jazida 21 uma calagem (2 t ha^{-1}), uma adubação com 200 gramas de formulado 10-30-10 (N- P_2O_5 - K_2O) e 50 g de sulfato de magnésio por cova durante a implantação do experimento realizado por Rodrigues *et al.* (2005). Já os teores de alumínio trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), obviamente foram influenciados pela calagem, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Atributos químicos e físicos das áreas em estudo.

Local	Características Químicas (0 - 10 cm)												
	pH	C	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al ⁽¹⁾	SB ⁽²⁾	V ⁽³⁾	m ⁽⁴⁾		
	H_2O	g kg^{-1}	mg dm^{-3}		----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----						%		
Jazida 21	7,2	5,3	0,7	32,3	7,1	0,6	0,0	0,0	7,8	100	0,0		
Floresta	3,7	24,9	2,0	0,1	0,1	0,2	2,3	8,2	0,38	4,5	85,5		
Local	Características Físicas (0 - 10 cm)												
	AG ⁽⁵⁾	AF ⁽⁶⁾	AT ⁽⁷⁾	SIL ⁽⁸⁾	ARGILA	Ds ⁽⁹⁾	Dp ⁽¹⁰⁾	MP ⁽¹¹⁾	MIP ⁽¹²⁾	PT ⁽¹³⁾	ADA ⁽¹⁴⁾	GF ⁽¹⁵⁾	DMG ⁽¹⁶⁾
	----- g kg^{-1} -----					Mg m^{-3}	----- % -----				g kg^{-1}	%	mm
Jazida 21	27	144	171	473	348	1,6	1,2	16,8	23,1	39,9	250,7	0,7	0,4
Floresta	9	300	309	602	87	0,8	2,5	25,1	43,9	69,0	166,7	0,3	2,2

¹Acidez potencial; ²Soma de bases; ³Saturação por bases; ⁴Saturação por alumínio; ⁵Areia grossa; ⁶Areia fina; ⁷Areia total; ⁸Silte; ⁹Densidade do solo; ¹⁰Densidade de partículas; ¹¹Macroporos; ¹²Microporos; ¹³Porosidade total; ¹⁴Argila dispersa em água; ¹⁵Grau de floculação; ¹⁶Diametro médio geométrico.

Os teores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, K^+ , Al^{3+} , H+Al, V e m encontrados na área de floresta primária adjacente estão bem próximos aos encontrados em outros trabalhos realizados na

BOGPM (Falcão *et al.* 2004; Moreira e Costa, 2004; Rodrigues *et al.* 2005; Moreira *et al.* 2006; Ribeiro, *et al.* 2006), onde se apresentam com baixa fertilidade natural, caracterizados pelos baixos teores de nutrientes. Já os valores de alumínio trocável (Al^{3+}) foram superiores a $2,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, estando dentro da faixa considerada muito alta (Ribeiro *et al.* 1999), provavelmente ao fato desses solos serem originários da formação Geológica Solimões, que apresentam teores naturalmente altos de Al^{3+} , conforme estudos realizados por Marques *et al.* (2002). Entretanto, esses autores discutem que esses teores de Al^{3+} trocáveis extraíveis por KCL provavelmente não refletem a concentração desse elemento na solução do solo.

O teor de Carbono (C) no solo da jazida 21 foi menor do que na área de floresta primária adjacente (Tabela 4Tabela 3), devido provavelmente ao desmatamento desta área e consequente remoção do horizonte A da jazida (Moreira e Costa, 2004; Teixeira *et al.* 2007). O resultado do teor de carbono orgânico na área de floresta primária adjacente era esperado, devido ao aporte de matéria orgânica proveniente da própria floresta ser em torno de 13 Mg ha^{-1} (Luizão, 1989).

Os maiores teores de areia fina (AF), areia total (AT) e silte foram observados na área de floresta primária, contrapondo-se à fração areia grossa (AG) e argila, que apresentam-se em menores teores (Tabela 4). Também observa-se nas duas áreas estudadas elevados valores de silte o que poderia estar relacionado com a sua origem (formação Solimões). A fração areia nas duas áreas é predominantemente composta por areia fina, o qual comporta-se de forma semelhante ao silte, acarretando o aumento da erodibilidade dos solos (Wischmeier *et al.*, 1971).

A diferença observada entre a densidade do solo (Ds) da jazida 21 e da área de floresta primária é o resultado das práticas de manejo impróprias (tráfego de maquinaria pesada) e do uso do solo inadequado, acrescido dos elevados teores de silte, que ao ser levados facilmente pelas enxurradas, acabam tampando e ocupando os espaços deixados pelas partículas do solo. Os elevados valores de Ds encontrados na jazida 21 (Tabela 4) podem também explicar o alto valor de K do tratamento solo descoberto deste estudo e também pela reduzida capacidade de infiltração e transmissão de água no horizonte exposto (Teixeira *et al.*, 2006a). A alteração da Ds na Jazida 21 é mais expressiva sobre a micro porosidade (MP), com consequente diminuição da porosidade total (PT). Apesar de ambas as áreas apresentarem maior microporosidade, esse atributo é mais expressivo na área de floresta (Tabela 4).

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados da área de floresta foi superior ao da jazida 21 (Tabela 4), fato que pode ser atribuído ao maior teor de carbono orgânico (C) e seu respectivo papel na formação e estabilização de agregados, por meio do acúmulo de liteira na superfície e menor mobilização do solo para sua incorporação.

Encinas *et al.* (2009), realizando estudos sobre argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) em clareiras com diferente idade de reflorestamento e em área de floresta da primária da BOGPM, encontraram valores bem próximos aos encontrados na jazida 21 e na área de floresta deste estudo. Esses valores elevados de ADA nas áreas reflorestadas refletem as modificações na camada superficial destes locais, o que favorece a desagregação do solo, agravado ainda, em decorrência das práticas de calagem e adubação, que promovem à dispersão da argila e aumento dos valores de ADA.

De acordo com Jucksch (1987), Sumner (1992) e Nunes (2003), a dispersão de argila se dá pelas intensas calagens e adubações realizadas nos solos quando em produção. Do ponto de vista agrícola, Lemos & Silva (2005) afirmam que a floculação é importante para o controle da erosão, já que propicia a formação de agregados estáveis ou grânulos. Isso se justifica, pois ocorre uma maior permeabilidade do solo à penetração das águas, favorecendo o crescimento vegetal (Buckman, 1979 *apud* Lemos e Silva, 2005). Eltz *et al.* (2001) consideram que quanto maior o teor de argila dispersa em água, menores são as taxas de infiltração da água no solo e maior a erodibilidade entre sulcos. Os mesmos autores consideram como limite crítico para este processo, o teor de argila superior ou igual a 35%.

6.2.3. Fator uso do solo, manejo e práticas conservacionistas (CP)

O valor dos fatores CP para o tratamento solo descoberto foi considerado 1 devido ao solo permanecer completamente descoberto e sem nenhum tipo de prática conservacionista que possa diminuir a perda pela erosão hídrica. Os fatores CP do tratamento solo com liteira obtidos por meio das razões de perda de solo e do índice de erosividade foi de 0,004 e, para floresta primária, foi de 0,0017. Por não existir no Brasil valores destes fatores utilizando liteira de floresta primária, torna-se de fundamental importância a determinação destes parâmetros na aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) a fim de subsidiar o planejamento das atividades de uso da terra.

O valor obtido no tratamento com liteira indica um controle eficiente da erosão por parte da cobertura oferecida pela liteira, que possui a capacidade de atenuar o efeito dos

impactos das gotas de chuva sobre o solo e o arraste das partículas, apesar de não ter reduzido significativamente o escoamento superficial.

Albuquerque *et al.* (2005), determinando os fatores da EUPS em Sumé (PB), encontraram que o efeito da cobertura vegetal sobre as perdas médias anuais de solo contribuiu para que as mesmas fossem reduzidas de 65,37 t ha⁻¹(parcela padrão) para 0,37 t ha⁻¹ representando uma redução de 99,43% nas perdas de solo. De forma semelhante, Margolis *et al.* (1985) determinando os fatores da EUPS em Caruaru (PE), encontraram que os efeitos da cobertura vegetal sobre as perdas médias anuais de solo por erosão caíram de 29,11 t ha⁻¹ para 0,025 t ha⁻¹. Significando uma redução da perda de solo de 99,9 %. Corroborando com tal estudo o efeito da proteção da liteira sobre as perdas de solo contribuiu para que as mesmas fossem reduzidas de 5.909 para 0,3 t ha⁻¹ (Tabela 5), representando uma redução de 99,95%, indicando a importância desta prática no controle das perdas de solo na BOGPM.

Na Tabela 5 observa-se que a maior e menor perda de solo foi de 886,58 e 130,09 t ha⁻¹ ano⁻¹, que correspondem aos meses de abril e agosto, respectivamente. De acordo com os resultados observados na Tabela 5, a perda de solo apresentou o seguinte comportamento em relação a cobertura do solo: solo descoberto (5909,52 t ha⁻¹ ano⁻¹) > solo coberto com liteira de floresta (0,30 t ha⁻¹ ano⁻¹) > solo sob floresta primária (0,06 t ha⁻¹ ano⁻¹). Este comportamento também foi observado por Cardoso *et al.*, 2004. Ainda, pode-se observar que a maior perda de solo durante todo o estudo foi no período chuvoso (dezembro a junho) devido provavelmente a maior erosividade e ao maior número de eventos de chuva ocorridos durante esse período.

Com os valores dos fatores da EUPS encontrados foram estimados os valores de perda de solo da BOGPM nos diferentes tratamentos (Tabela 5). O valor estimado no tratamento solo descoberto (5.909,52 t ha⁻¹ ano⁻¹) é bem próximo ao encontrado por Arruda (2005) (5.678,38 t ha⁻¹ano⁻¹) em uma área sob as mesmas condições. Os valores encontrados nos tratamentos solo coberto com liteira (0,3 t ha⁻¹ ano⁻¹) e solo sob floresta primária (0,06 t ha⁻¹ ano⁻¹) são muito próximos aos encontrados no tratamento com eucalipto (0,68 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e mata nativa (0,047 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e muito diferentes ao tratamento solo descoberto (2188 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em um Argissolo Amarelo determinado por Martins (2005) em Minas Gerais.

Tabela 5. Valores de perda de solo estimados pela equação universal de perda de solo (EUPS) no período de estudo, nos tratamentos: solo descoberto, com liteira e floresta primária. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

ANO	MÊS	PERDA DE SOLO					
		Solo descoberto		Solo com liteira		Solo sobre floresta	
		t ha ⁻¹ ano ⁻¹	%	t ha ⁻¹ ano ⁻¹	%	t ha ⁻¹ ano ⁻¹	%
2009	Julho	152,92	2,59	0,0076	2,53	0,0016	2,67
	Agosto	130,09	2,20	0,0065	2,17	0,0013	2,17
	Setembro	184,32	3,12	0,0092	3,07	0,0019	3,17
	Outubro	304,83	5,16	0,0152	5,07	0,0032	5,33
	Novembro	294,80	4,99	0,0147	4,90	0,0031	5,17
	Dezembro	741,29	12,54	0,0370	12,33	0,0079	13,17
2010	Janeiro	764,27	12,93	0,0381	12,70	0,0082	13,67
	Fevereiro	263,61	4,46	0,0131	4,37	0,0028	4,67
	Marco	567,16	9,60	0,0283	9,43	0,0060	10,00
	Abril	886,58	15,00	0,0443	14,77	0,0095	15,83
	Maior	854,40	14,46	0,0426	14,20	0,0091	15,17
	Junho	765,25	12,95	0,0382	12,73	0,0082	13,67
Total	t ha⁻¹ ano⁻¹	5.909,52	100	0,30	100	0,06	100

Perdas de solo por erosão hídrica foram quantificadas em vários estados do Brasil utilizando métodos diretos e indiretos. No município de Mucajaí (RO), utilizando métodos diretos para quantificar as perdas de solo sob pastagem e floresta primária provocada por chuvas naturais, foram de 1.128 e 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Barbosa e Fearnside, 2000). Bono *et al.* (1996), em São João del Rei (MG), encontraram perdas de solo em diversos sistemas, que variaram de 18,0 a 6,8 t ha⁻¹ ano⁻¹ para pastagens nativas e *Brachiaria brizantha* a lanço com escarificação de toda a parcela, e 39,7 a 24,4 t ha⁻¹ ano⁻¹ para pastagens nativas e *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em covas respectivamente, utilizando métodos diretos. Em Lavras, MG, utilizando-se os mesmos métodos, determinaram-se perdas de solo com valores médios anuais de 205,65 e 14,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em um Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho sem cobertura (Silva *et al.*, 2005). Albuquerque *et al.* (2005), também utilizando métodos diretos para determinar os fatores da Equação Universal de Perda de Solo no município de Sume (PB), encontraram valores médios de 15,40 e 33,36 t ha⁻¹ ano⁻¹ para palma morro abaixo e palma em nível, respectivamente. Os valores encontrados por esses autores, mesmo quantificados em áreas de floresta primária ou utilizando diferentes plantas como cobertura, são superiores aos encontrados neste estudo, fato que provavelmente estaria relacionado às

características intrínsecas dos solos onde foram determinados e ao fator erosividade da chuva, que em cada localidade se apresentam com duração, intensidade e frequência diferente.

O monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica, por meio de comparação com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas, é imprescindível para o manejo adequado das atividades agrícolas. A FAO (1967) admite perdas da ordem de $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos profundos, permeáveis e bem drenados; 2 a $4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas intermediárias aqueles limites. Nesse sentido, os elevados valores encontrados neste estudo estariam acima dos limites e considerados como as máximas perdas de solo por erosão hídricas já encontradas no Brasil.

Estudos realizados em floresta primária mostram que são capazes de interceptar em torno de 25,6% a 11,6% do total de chuvas (Ferreira *et al.* 2005). Outros estudos mostram que nos arredores de Manaus, a interceptação da chuva pela floresta chega em média a 23% da precipitação (Franken *et al.* 1992) e na Amazônia Venezuelana, 95% da precipitação chega ao solo (Jordan & Heuveldop, 1981), em mata atlântica a interceptação pluviométrica chega a 23,9% (Almeida e Soares, 2003) . Isto provavelmente também contribuiu para a obtenção dos menores valores de perda de solo sobre floresta primária desse estudo (Tabela 5).

6.3. Estimativa das perdas de solo por meio do método da mudança da superfície do solo (método dos pinos)

As perdas de solo no tratamento solo descoberto avaliado pelo método da mudança de nível da superfície do solo variaram de 108 a 190 t ha⁻¹ num período de 12 meses de estudo (Figura 21). Este valor está mais próximo aos encontrados por Arruda (2005) (254,43 t ha⁻¹) do que os encontrados por Costa (2010) (63,2 t ha⁻¹), utilizando o mesmo método para estimar a perda de solo na região de Urucu em uma área de solo descoberto.

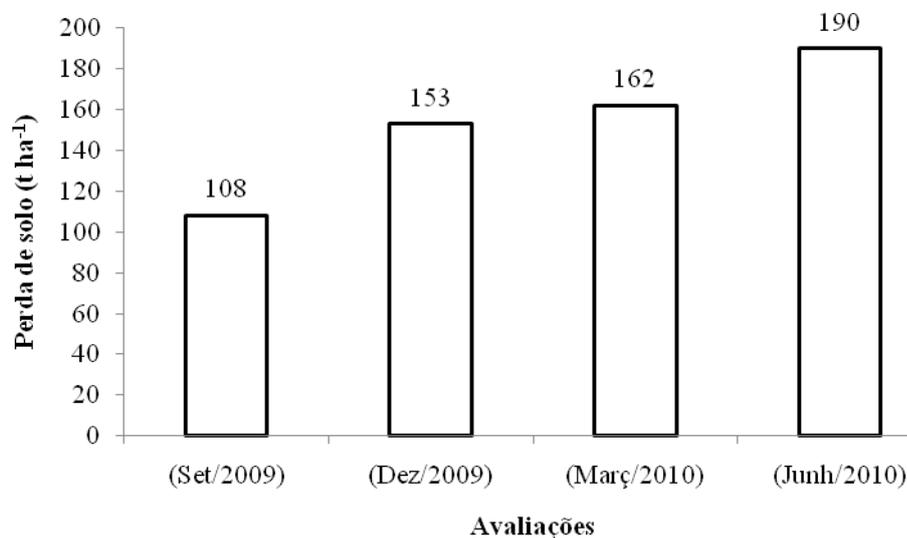


Figura 21. Perdas de solo determinadas pelo método da variação do nível da superfície do solo no tratamento solo descoberto. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Outros estudos utilizando o mesmo método em Aracruz, ES em solo descoberto, as perdas variaram de 18 a 66 t ha⁻¹ ano⁻¹ em um Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, de 0,8 a 1,7 t ha⁻¹ ano⁻¹ em um Plintossolo e de 0,9 a 4 t ha⁻¹ ano⁻¹ em um Argissolo Amarelo textura media argilosa (Cardoso *et al.* 2004). No Município de São João del Rei, MG, em um Cambissolo distrófico as perdas de solo variaram de 3,4 a 151,2 t ha⁻¹ em um solo descoberto. No entanto em uma área de pastagem nativa no mesmo município as perdas variaram de 6,8 a 18 t ha⁻¹ ano⁻¹ para um Latossolo e de 24,4 a 39,7 t ha⁻¹ ano⁻¹ para um Cambissolo (Bono *et al.* 1996).

Quando os métodos utilizados para calcular a perda de solo neste estudo foram comparados, observou-se uma grande diferença. O método da parcela padrão estimou a perda de solo em $5.909 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. No entanto, o método por meio da variação da superfície do solo estimou a perda de solo em $190 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 22).

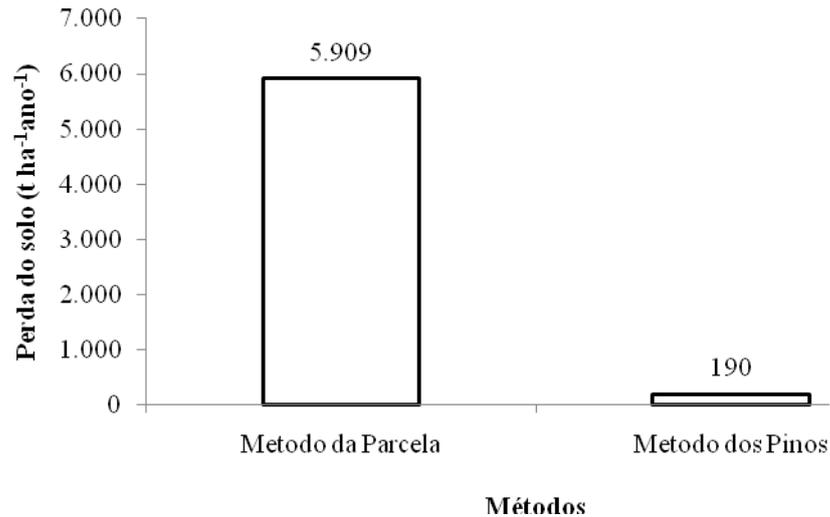


Figura 22. Comparação de perdas de solo determinadas pelo método da parcela padrão e pela variação do nível da superfície do solo no tratamento solo descoberto. Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Coari – AM.

Estes resultados coincidem com os estudos de perda de solo pela alteração da superfície do solo em sistemas florestais realizados por Cardoso *et al.* (2004) no município de Aracruz (ES). Os resultados obtidos por estes autores mostraram que o método da mudança na superfície do solo apresentou valores próximos do método da parcela-padrão para os tratamentos Eucalipto e Floresta Natural nos três diferentes solos estudados, indicando seu potencial para uso em estudos dessa natureza, com exceção do tratamento solo descoberto, onde os valores encontrados foram bem abaixo dos encontrados pela parcela padrão.

7. CONCLUSÕES

1. As perdas de solo e água foram maior no tratamento solo descoberto ($5909,52 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; 77%), seguido pelo tratamento solo com liteira ($0,30 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; 53%) e solo sob floresta primária ($0,06 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; 5%).
2. Não houve diferença de perda de solo entre o solo coberto por floresta primária e o solo coberto com liteira, mostrando a eficiência da cobertura do solo na redução do processo erosivo com a qual é possível reduzir as perdas de solo em até 99,95 %.
3. A perda de água no solo descoberto não teve diferença quando comparado com o solo coberto com liteira. Mas, a perda de água foi muito menor no solo sob floresta primária.
4. O valor de erosividade determinado foi de $9.344,59 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os valores de erodibilidade determinados para o solo descoberto, com liteira e sob floresta primária foram de 0,9026; 0,0112 e 0,0032 $\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente. Os valores de uso do solo, manejo e práticas conservacionistas para o solo com liteira e sob floresta primária foi de 0,0040 e 0,0017, respectivamente.
5. O método da mudança da superfície do solo estimou valores de perda de solo muito inferiores (190 t ha^{-1}) aos do método da parcela padrão (5.909 t ha^{-1}) em solo descoberto.
6. Os valores de perda de solo estimados pela EUPS para as condições de solo descoberto na BOGPM foram os maiores já registrados para o Brasil, o qual está acima dos aceitados pela FAO. Mas, a simples cobertura do solo com liteira coloca os valores em níveis aceitáveis, o que sugere seu uso para controle da erosão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, F.E.O. 2001. *Análise climática da Província Petrolífera do Rio Urucu (AM). Identificação de possíveis impactos do clima de uma área de floresta tropical sob processo de intervenção antrópica e seus reflexos em meso e macro escala*. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 352pp.

Albuquerque, A.W.; Filho, G.M.; Santos, J.R.; Costa, J.P.V.; Souza, J.L. 2005. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(2): 153-160.

Albuquerque, A.W.; Lombardi Neto, F.; Srinivasan, V.S. 2001. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé, (PB). *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, 25(1): 121-128.

Albuquerque, A.W. 1997. *Determinação de fatores para a equação universal de perdas de solo nas condições de Sumé-PB*. Tese Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 100pp.

Almeida, A.C.; Soares, J.V. 2003. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa Leste do Brasil. *Revista Arvore*. 27(2): 159-170.

Alvarenga, R.C.; Fernandes, B.; Silva, T.C.A.; Resende, M. 1986. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10: 273-277.

Amaral, I.L. 1996. *Diversidade florística em floresta de terra firme, na região do rio Urucu – AM*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 104pp.

Arruda, W.C. 2005. *Estimativa dos processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura, Urucu–Coari–AM*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. 80pp.

Arruda, W.C.; Lima, H.N.; Forsberg, B.R.; Teixeira, W.G. 2004. Estimativa de erosão em clareiras através da mudança do relevo do solo por meio de pinos. In: *I Workshop Técnico Científico da Rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus. Fundação Djalma Batista, CD ROM.

Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 2000. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, 30(4): 601 – 613.

Barretto, A.G.O.P.; Barros, M.G.E.; Sparovek, G. 2008. Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 2443-2460.

Barros L.S.; Vale, Jr.J.F.; Schaefer, C.E.G.R.; Mourão, M.Jr. 2009, Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* Wild e Savana em Roraima, norte da Amazônia. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:447-454.

Bertol, I.; Cogo, N.P.; Levien, R. 1987. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de milho. *R. bras. Ci. Solo*. Viçosa. 11:187-192.

Bertol, I. 1994. Erodibilidade de um cambissolo húmico distrófico determinada sob chuva natural: Primeira aproximação. *R. bras. Ci. Solo*. Campinas. 18:335-338.

Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O.; Leite, D.; Visentin, D.; Cogo, N.P. 2002. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages, (SC). *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 455-464.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F.; Benati Júnior, R. 1975. Equação de Perdas de Solo. Campinas: *Instituto Agrônomo* (Boletim Técnico, 21), 25pp.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1985. *Conservação do solo*. Livro Ceres, Piracicaba, São Paulo 392pp.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. 1990. *Conservação do solo*. Ícone. São Paulo 355pp.

Biscaia, R.C.M.; Rufino, R.L.; Henklain J.C. 1981. Cálculo da erodibilidade (fator k) de dois solos do estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*. 5: 183-186.

- Blake, G.R.; Hartge, K.H. 1986. Particle density. In: Klute, A. (Ed). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy. p. 363-375.
- Bono, J.A.M.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Evangelista, A.R.; Carvalho, M.M.; Silva, M.L.N. 1996. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. *Pasturas Tropicales*, Cali, 18(2): 2-8.
- Cardoso, D.P.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Sáfyadi, T.; Fonseca, S.; Ferreira, M.M.; Martins, S.G.; Marques, J.J.G.S.M. 2004. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 66: 25-37.
- Cogo, N.P. 1988. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica. In: *XXI Congresso brasileiro de ciência do solo*, Campinas, Anais... Campinas, Soc. Bras. Ci. Solo.
- Cogo, N.P.; Levien, R.; Schwarz, R.A. 2003. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 27: 743-753.
- Costa, A.G.Z. 2010. *Estimativa da perda de solo e sua relação com as propriedades físicas em áreas com diferentes tipos de cobertura vegetal na Província petrolífera de Urucu, Coari – AM*. Monografia, Universidade do Norte, UNINORTE. 35pp.
- Dedecek, R.A.; Resck, D.V.S.; Freitas Jr.E. 1986. Perdas de solo água e nutrientes por erosão em Latossolo vermelho escuro nos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 10: 265-272.
- De Maria, I.C., Lombardi Neto, F. 1997. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 21: 263-270.
- Eltz, F.L.F.; Mehl, H.U.; Reichert, J.M. 2001. Perdas de solo e água em um argissolo vermelho amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *R. Bras. Ci. Solo*, 25: 485-493.
- Embrapa. 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ªed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS. 212pp.

Embrapa. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. 2^aed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 306pp.

Encinas, O.C.; Teixeira, W.G.; Macedo, R.S.; Costa, A.G. 2009. Argila dispersa em água e grau de floculação de argilas na camada superficial do solo como parâmetro indicador de recuperação de áreas alteradas na Província petrolífera de Urucu, Coari-AM. *In: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC, Manaus/AM.*

Encinas, O.C.; Teixeira, W.G.; Macedo, R.S.; Costa, A.G. 2010. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo na Província Petrolífera de Urucu, Coari – AM. *In: XVIII Reuniao Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, RBMCSA, Teresina – PI. CD ROM.*

Falcão, N.P.S.; Ferreira, D.S.; Pardo, N.S.B. 2004. Caracterização da fertilidade de solos sob floresta primária e em clareiras reflorestada com diferentes idades na Base Petrolífera de Urucu, AM. *In: I Workshop Técnico Científico da Rede CT-Petro Amazônia, Manaus. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD ROM.*

Fearnside, P.M. 1982. Deforestation in the Brazilian Amazon: How fast is it occurring? *Interciencia* 7: 82-88.

Fearnside, P. M.; Leal, N.F.; Chaves, R.G.; Moreira, F.F.; Keller, M.M.; Custódio, R.A. 1986. Erosão do solo na Amazônia brasileira: métodos de medição e resultados preliminares. Manuscrito (*Departamento de Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA*), 24pp.

Fearnside, P.M. 2003. Homem e Ambiente na Amazônia. *In: Fearnside, P.M. A floresta Amazônica nas Mudanças Globais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. p. 1-8.

Ferraz, R.P.D.; Silva, E.F.; Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Macedo, R.S. 2009. Caracterização pedológica de alguns solos da Província Petrolífera de Urucu, Município de Coari, AM. *Acta Amazonica*. (no prelo)

- Ferreira, S.J.F; Luizão, F.J; Dallarosa, R.L.G. 2005. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonica* 35(1): 55-62
- Fonseca, A.C. 1999. Geoquímica dos Solos. *In: Guerra, A.J.T., Da Silva, A.S., Botelho, R.G.M. (Eds). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.* Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p. 165-193.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1967. *La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo.* Roma. 207pp.
- Forsberg, B.R., Godoy, J.M., Victoria, R.L.; Martinelli, L.A. 1989. Development and erosion in the Brazilian Amazon: A geochronological case study. *GeoJournal*, 19: 399-405.
- Franken, W.; Leopoldo, P.R.; Matsui, E.; Ribeiro, M. de N.G. 1992. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazonica* 12(2):327 – 331.
- Garcia-Fayos, P. 2004. Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. *In: Valadares, F. Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante.* Vol. 11. Ministério de Medio Ambiente, EGRAF S.A. Madrid. p. 309-334.
- Gawona, D. 2003. *URUCU – Impactos sociais, ecológicos e econômicos do projeto de petróleo e gás “URUCU” no estado do Amazonas,* Manaus, AM. 444pp.
- Goch, Y.G.F. 2007. *Efeitos do assoreamento sobre as comunidades de peixes de igarapés do rio Urucu.* Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, AM. 96pp.
- Guerra, A.J.T.; Silva, A.S.; Botelho, R.G.M. 1999. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.* Rio de Janeiro: Bertrand, Brasil. 340pp.
- Guerra, A.J.T. 2007. *O início do processo erosivo. Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.* 3^aed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, Brasil. 340pp.
- INMET, 2010. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br>, Acesso: 15/10/2010.

INPE, 2010. Monitoring of the Brazilian Amazonian Forest by Satellite. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. <http://www.obt.inpe.br> Acesso: 05/06/2010

Jordan, C.F.; Heuvelop, J. 1981. The water budget of an Amazonian rain forest. *Acta Amazonica* 11(1):87-92.

Jucksch, I. 1987. *Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo*. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 37pp .

Klute, A.; Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute A. (Ed). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy. p 687-734.

Lal, R.; Lawson, T.L.; Anastase, A.H. 1980. Erosivity of tropical rains. In: Boodt, M.; Gabriels, D. (Eds). *Assesment of erosion*. Chichester, J. Wiley. p. 3-80.

Lemos, C.F. de; Silva, E.T. 2005. Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, 3(1):11- 18.

Lepsch, I.F.; 2002. *Formação e conservação dos solos*, São Paulo. 178pp.

Lima Filho, D.A.; Matos, F.D.A.; Amaral, I.L.; Revilla, J.; Coelho, L.S.; Ramos, J.F.; Santos, J.L. 2001. Inventário florístico de floresta ombrófila densa de terra firme, na região do Rio Urucu, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 31(4): 565-579.

Lombardi Neto, F.; Bertoni, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônômico. *Boletim Técnico N° 27*. 25p.

Lombardi Neto, F. 1977. *Rainfall erosivity: ista distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil*. Dissertação Mestrado, West Lafayette, Purdue University. 53pp.

Lopes, O.M.N.; Rodrigues, T.E; Oliveira J.R.C. 1999. Determinação de perdas de solo, água e nutrientes em latossolo amarelo, textura argilosa do nordeste Paraense. Belém. Embrapa Amazônia Oriental. *Boletim de pesquisa N° 19*. 36p.

Lopes, P.R.; Brito, L.T.L. 1993. Erosividade da chuva no médio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 1(17): 129-133.

Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in central Amazonian forest. *Geojournal*, 19: 407-417.

Macedo, R.S. ; Teixeira, W.G. ; Martins, G.C. ; Rodrigues, M.R.L. ; Marques, A.O. 2006a. Monitoramento da dinâmica da água pela técnica da Reflectometria no domínio do tempo (TDR) numa clareira na Província Petrolífera de Urucu - Amazonas. In: *XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Aracaju, SE.

Macedo, R.S.; Teixeira, W.G. 2006b. Erosividade das chuvas em eventos de alta intensidade na bacia do rio URUCU – Município de Coari – AM. In: *I Simpósio da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC. Tema: “Desafios e Perspectivas da realidade amazônica: Pesquisa e sustentabilidade”*. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. CD ROM.

Macedo, R.S.; Teixeira, W.G. 2006c. Avaliação da intensidade das chuvas na bacia do rio Urucu – Município de Coari - AM. In: *XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação da Água e do Carbono*, Aracaju. SBCS. CD ROM.

Macedo, R.S.; Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Rodrigues, M.R.L. 2007. Índice de erosividade da chuva em Coari-AM. In: *XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo* Gramado, RS.

Macedo, R.S.; Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Rodrigues, M.R.L. 2008. Caracterização química e física da camada superficial do solo em clareiras com diferentes idades de revegetação na Província Petrolífera de Urucu, Coari-AM. In: *XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das mudanças ambientais*, Rio de Janeiro.

Macedo, R.S.; Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Souza, A.C.G.; Encinas, O.C. 2009. Dinâmica do carbono e nutrientes em solos sob floresta primária e em áreas com diferentes idades de reflorestamento na província petrolífera de Urucu, Coari-AM. In: *XXXII Congresso Bras. de Ciência do Solo: O solo e a Produção de Bioenergia: Perspectivas e Desafios*. Fortaleza, CE.

McGregor, K.C.; Greer, J.D.; Gurley, G.E.; Bolton, G.C. 1969. Erodibility factors for loring

and Lexinton soils. *Journal of soil and water conservation*. Ankeny, 24(6): 231-232.

Margolis, E.; Silva, da A.B.; Jacques, O.F. 1985. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru, (PE). *R. Bras. Ci. Solo*. 9: 165-169.

Marques, J.J.G.S.M. 1996. *Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidades de solos com horizonte B textural no Brasil*. Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Lavras - MG. 119pp.

Marques, J.J.; Teixeira, W.G.; Schulze, D.G.; Curi, N. 2002. Mineralogy of soil with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. *Clay Minerals*. 37: 651.

Martins. G.C.; Teixeira, W.G. 2004. Estabilidade de agregados como indicador da recuperação da estrutura do solo em clareiras na província petrolífera de Urucu. In: *I Workshop Técnico Científico da Rede CT-Petro Amazônia*, Manaus. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD ROM.

Martins, G.C.; Teixeira, W.G.; Macedo, R.S. 2006. Resistência à penetração como indicador da qualidade física do solo na Província Petrolífera de Urucu – Coari – AM. In: *II Workshop Técnico Científico da rede CT-Petro Amazônia*, Manaus. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD-ROM.

Martins, S.G.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Fonseca, S.; Marques, J.J.G.S.M. 2003. Perdas de solo e água em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 27(3): 395-403.

Martins, S.G. 2005. *Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES*. Tese Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 106pp.

Medina, B.F.; Oliveira J.R.C. 1987. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em latossolo amarelo de Manaus, (AM). *R. Bras. Ci. Solo* 11:67-70.

Molinaro, L. 2005. *Função ecológica de espécies arbóreas (Vismia guianensis (Aubl.) Choisy, Inga edulis Mart. e Inga sp.) na sucessão vegetal em áreas degradadas pela exploração petrolífera, na região de Urucu (AM)*. Tese de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM. 79pp.

- Morais, L.F.B.; Silva, V.; Naschenven, T.M.C.; Hardoin, P.C.; Almeida, J.E.L.; Weber, O.L. S.; Boel, E.; Durigon, V. 1991. Índice EI30 e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 15(3): 339-344.
- Moreira, A.; Costa, D.G. 2004. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. *Pesq. agropec. bras.* 39(10): 1013-1019.
- Moreira, A.; Teixeira, W.G. Martins, G.C. 2006. Limitações da fertilidade do solo e uso de fertilizantes e composto orgânico no reflorestamento das áreas de clareiras do pólo petrolífero de Urucu, Amazonas. In: *II Workshop Técnico Científico da rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD-ROM.
- Nascimento, J.G.C. 2009. *A influência da erosão na regeneração de clareiras*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA/UFAM, Manaus-AM. 162p.
- Nunes, L.A.P.L. 2003. *Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG*. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Viçosa, UFV. 102p
- Oliveira, Jr.R.C; Medina, B.F. 1990. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 14: 235-239.
- Panachuki, E.; Sobrinho, T.A.; Vitorino, A.C.T.; Carvalho, D.F.; Urchei, M.A. 2006. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica simulada, em área de integração agricultura-pequaria. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, 10(2): 261-268.
- Pires, J.M. 1973. Tipos de vegetação da Amazônia. Belém, CNPq/INPA/MPEG (*Publicações avulsas*): 179-202.
- Prance, G.T. 1987. Vegetation. In: Whitmore, T.C.C.; Prance, G.T. (Eds). *Biogeography and quaternary history in tropical America*. Oxford: Claredon Prees: p. 28-44.
- Radambrasil. 1978. *Ministério das Minas e Energia, Programa de Integração Nacional: levantamento de recursos naturais*. Rio de Janeiro, 17(Folha SB, 20 Purus): 556pp.

- Ranzani, G. 1980. Erodibilidade de alguns solos do estado do Amazonas. *Acta Amazonica*, Manaus, 10(2): 263-269.
- Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Álvares, V.H. 1999. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª Aproximação, Viçosa. SFSEMG. 359pp.
- Ribeiro, G.A.A.; Teixeira, P.C.; Rodrigues, M.R.L. 2006. Caracterização das propriedades químicas de diferentes solos da província petrolífera de Urucu, AM. In: *II Workshop Técnico Científico da rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD-ROM.
- Rodrigues, M.R.L.; Barros, M.E.; Teixeira, W.G. 2005. Resposta de espécies florestais nativas da Amazônia à adubação em área degradada na província petrolífera de Urucu, AM. In: *I Congresso Internacional PIATAM, Manaus*. Anais... Manaus: Universidade Federal do Amazonas/Centro de Pesquisa da Petrobrás. p. 80.
- Santos, D.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Evangelista, A.R.; Cruz Filho, A.B.; Teixeira, W.G. 1998. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 33(2): 183-189.
- Santos, A.C. 2002. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. *Revista Brasileira de Cartografia*, 54.
- Silva, M.L.N.; Freitas, P.L.; Blancaneux, P.; Curi, N.; Lima, J.M. 1997. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um latossolo-vermelho escuro em Goiânia (GO). *R. Bras. Ci. Solo*. 21: 131-137.
- Silva, M.L.N.; Curi, N.; Lima, J.M.; Ferreira, M.M. 2000. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 35(6): 1207-1220.
- Silva, A.M.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Avanzi, J.C.; Ferreira, M.M. 2005. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1811-1820.
- Sumner, M.E. 1992. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: *Seminário sobre o uso do gesso na agricultura*. Uberaba. Anais. Brasília: Nagy, p.7-40.

Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Iwata, S.A.; Reis, A.R.; Marques, J.J.G. de Sá e Melo; Rodrigues, M.R.L. 2004a. Caracterização e identificação das principais classes de solo da província petrolífera do Rio Urucu, Amazonas. In: *I Workshop Técnico Científico da Rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus: Fundação Djalma Batista, CD-ROM.

Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Iwata, S.A.; Souza, G.K.A.; Reis, A.R.; Marques, J.J.G. de Sá e Melo; Falcão, N.P. 2004b. Indicadores físicos da qualidade do solo no monitoramento da recuperação de clareiras da província petrolífera de Urucu, Amazonas. In: *I Workshop Técnico Científico da Rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus. Fundação Djalma Batista, CD ROM.

Teixeira, W.G; Martins, G.C; Macedo, R.S. 2006a. 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 de Avaliação Técnica e Científica*. Rede CTPetro - Amazônia. Manaus. Fundação Djalma Batista, CD - ROM.

Teixeira, W.G; Macedo, R.S.; Martins, G.C.; Rodrigues, M. do R. L. 2006b. A Dinâmica da água no solo numa área de revegetação da Base de Operações Geólogo Pedro de Moura – Coari – AM. In: *II Workshop de Avaliação Técnica e Científica da Rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus. Fundação Djalma Batista, CD - ROM.

Teixeira, W.G.; Macedo, R.S.; Martins, G.C.; Warley, A.C. 2006c. Processos erosivos na Base Geólogo Pedro de Moura – Coari – AM: A presença de “demoisseles” e a relação com a intensidade e erosividade das chuvas e erodibilidade do solo. In: *II Workshop Técnico Científico da rede CT-Petro Amazônia, Manaus*. Rede CT-Petro Amazônia. Manaus. Fundação Djalma Batista, CD-ROM.

Teixeira, W.G.; Martins, G.C.; Macedo, R.S.; Rodrigues, M. R. L. 2007. 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. In: *XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Gramado -RS. Núcleo Regional Sul, CD ROM.

Teixeira, W. G.; Shinzato, E.; Martins, G. C.; Macedo, R. S.; Encinas, O. C.; Rodrigues, M. do R. L. 2009. Caracterização dos principais ambientes pedológicos na Base de Operações

Geólogo Pedro de Moura, Amazônia Central Brasileira. In: *XVIII Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo. San José, Costa Rica, CD - ROM.*

Vieira, A.F.G; Molinari, D.G; Albuquerque, A.R da C. 2005. Dinâmica erosiva em estradas: BR - 174 e Urucu (Amazonas). *Anais II Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro Oeste.* UFG, Goiânia. p. 49-57.

Vieira, L.S.; Santos, P.C.T.C. 1987. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais.* São Paulo: Ceres. 416pp.

Wischmeier, W.H.; Johnson, C.B.; Cross, B.V. 1971. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation.* Ankeny, 26(5): p. 189-193.

Wischmeier, W.H.; Mannering, J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 33(1): 131-137.*

Wischmeier, W.H.; Smith D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Un., 39(2): 285-291.*

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky mountains. *Agriculture Handbook.* (282).

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1972. *Predicting rainfall erosion loss from cropland east of the rocky mountains.* Washington, USDA. (*Agriculture Handbook 282*), 47pp.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, DC, USDA, (*Agriculture Handbook, 537*): 58pp.

Wischmeier, W.H. 1976. Cropland erosion and sedimentation. In: *ARS-EPA. Control of water pollution from cropland. An Overview* Washington USDA, 2(3): 31-57.

Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of America Society of Agronomy, 28: 337-357.*