

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Erosão Hídrica sob Chuva Simulada em Diferentes  
Classes de Solos e Coberturas Vegetais na Província  
Petrolífera de Urucu – Coari, AM**

**Frederico Santos Machado**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**EROSÃO HÍDRICA SOB CHUVA SIMULADA EM DIFERENTES  
CLASSES DE SOLOS E COBERTURAS VEGETAIS NA PROVÍNCIA  
PETROLÍFERA DE URUCU - COARI, AM**

**FREDERICO SANTOS MACHADO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Marcos Bacis Ceddia**

*e Co-orientação do Professor*  
**Daniel Fonseca de Carvalho**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Maio de 2010

551.57098113

M149e

T

Machado, Frederico Santos, 1978-.

Erosão hídrica sob chuva simulada em diferentes classes de solos e coberturas vegetais na província petrolífera de Urucu - Coari, AM/Frederico Santos Machado - 2010.

56 f.: il.

Orientador: Marcos Bacis Ceddia.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 112-124.

1. Chuvas - Frequência de intensidade - Amazônia - Teses. 2. Solos - Erosão - Amazônia - Teses. 3. Erosão - Amazônia - Teses. I. Ceddia, Marcos Bacis, 1968-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

**FREDERICO SANTOS MACHADO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/05/2010

---

Marcos Bacis Ceddia. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ

---

Paulo Negrais Carneiro Seabra. Dr. PETROBRAS

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Ao Professor Dr. Marco Bacis Ceddia pela orientação, amizade e atenção.

Aos Professores Drs. Daniel Fonseca de Carvalho e Carlos Alberto Alves Varella por suas valiosas co-orientações em suas respectivas áreas do conhecimento.

A PETROBRAS, especialmente as Gerências do CENPES de RH e do PDEDS.

Aos meus gerentes Pedro Penido Duarte Guimarães e Viviana Canhão Bernardes G. Coelho pela liberação parcial e, às vezes total, além da oportunidade concedida para minha capacitação profissional.

Aos meus colegas de gerência Talita de Azevedo Aguiaro, Eduardo Barcelos Platte, Sirayama de Oliveira Ferreira Lima e Jorge Eduardo Santos Paes pelo apoio, incentivo e compreensão nos momentos de ausência necessários para este trabalho.

A UFRRJ pela acolhida.

Ao Departamento de Solos e ao Curso de Pós-graduação em Agronomia – Ciência do Solo pela divulgação de conhecimentos tão importantes.

A equipe da gerência de SMS da Unidade Organizacional Amazônia e em especial ao Eduardo Paschoal Rodrigues pelo apoio operacional.

Ao Coordenador do Projeto EcoUrucu Paulo Negrais C. Seabra pelos recursos logísticos fornecidos.

A Minha família pelo exemplo de vida.

A Vanessa Ferreira dos Santos pela compreensão e ajuda nas horas difíceis.

Ao Professor Dr. Alexandre Ravelli Neto e aos colegas de UFRRJ Andre Luis O. Villela, Gilson A. Barreira, Jose Geraldo Simões, Diego C. Loureiro, Eduardo O. Estiliano, Orlando Carlos H. Tavares e Lenilson dos S. Mota no apoio de campo e na tabulação dos dados.

A todos aqueles que, embora não tenham sido citados aqui, colaboraram na execução deste trabalho.

## RESUMO

MACHADO, Frederico Santos. **Erosão hídrica sob chuva simulada em diferentes classes de solos e coberturas vegetais na Província Petrolífera de Urucu - Coari, AM.** 2010. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

A erosão hídrica é um dos principais impactos ambientais na região da Amazônia Central, causando sérias conseqüências, inclusive econômicas, para a implantação e recuperação de locações operacionais de exploração e produção de petróleo e gás natural da PETROBRAS S/A. Este estudo foi realizado na Província Petrolífera de Urucu, município de Coari (AM) e teve como objetivo quantificar a perda de solo (PS) e o escoamento superficial (ES) em diferentes grupos de solo e coberturas vegetais, utilizando um simulador de chuva portátil. Foram efetuadas 16 baterias de testes, sendo 4 baterias para cada grupo de solo (ARGISSOLO AMARELO Alítico, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico, CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico e CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico). Em cada bateria foram realizados três repetições nas seguintes coberturas: floresta, floresta sem serrapilheira e gramínea. As classes de solo não diferiram significativamente entre si ao nível de 5%, segundo o teste de Tukey. Para a PS, a porcentagem de carbono orgânico e a densidade do solo têm grande importância para os grupos de solo. Esses atributos, mais a areia fina e argila influenciaram o ES. Também foi possível observar que o escoamento foi o atributo com maior coeficiente de correlação com a perda de solo. A conversão das áreas de floresta em gramínea aumentou em no mínimo quatro vezes a lâmina de água escoada, passando de 14,2 mm para 57,7 mm na gramínea e, no mínimo, duas vezes a massa de solo perdida, chegando a 35,8 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> na gramínea. Apesar desses valores, as áreas cobertas por gramíneas apenas diferiram significativamente das áreas de florestas em relação ao ES. Quando se retira a serrapilheira em solos florestais, os valores de escoamento dobram, enquanto que as perdas aumentam em 40%. Os atributos que tiveram importância para as classes de solo foram os mesmos para os tipos de coberturas, porém com diferenças no atributo teor de argila para a perda de solo e no teor de areia grossa para o escoamento. Para os tratamentos estudados, o escoamento continua sendo o atributo com maior coeficiente de correlação com a perda.

**Palavras-chave:** Perda de solo. Escoamento superficial. Simulador de chuva.

## ABSTRACT

MACHADO, Frederico Santos. **Hydric erosion under simulated rainfall in different soil classes and vegetal covers in the Petroliferous Province of Urucu - Coari, AM.** 2010. 60p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The hydric erosion is one of main environmental impact in Central Amazonia region, causing serious economic consequences for implantation and recovery of operational locations of PETROBRAS S/A oil and natural gas exploration and production sites. This study was carried through in Petroliferous Province of Urucu, municipality of Coari (AM). The objective was to quantify soil loss (SL) and runoff (SD) in different soil classes and under vegetal coverings using a portable rain simulator. Sixteen batteries of tests were done, eight batteries for each soil class (Fluventic Dystrustepts e Kanhaplic Haplustults). For each battery three repetitions had been made in the following covers: forest, forest without litter and grass. The results of Tukey test at 0.05 level showed that soil classes were not significantly different between themselves. On the other hand, the organic carbon percentage and the soil bulk density had greatest importance for the soil loss. These attributes, plus fine sand and clay, influenced most in the runoff. It was also possible to observe that runoff was the attribute of highest correlation with soil loss. The conversion of forest areas into grass increased, at least, four times the water runoff, changing it from 14.2 mm to 57.7 mm in the grass area, and, at least, two times loss of soil mass, achieving the value of 35.68 t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> in the grass area. Although with these values, grassy areas only differed significantly from the forest areas in the runoff. The runoff values tend to increase twofold when litter is removed from the forest soils, while the soil losses increased 40%. The attributes that were important for the soil classes were the same for cover types, however with differences in the attribute clay content for soil loss, and coarse sand for runoff. For the studied treatments, the attribute that showed highest correlation with soil loss was runoff.

**Key words:** Soil loss. Runoff. Rainfall simulator.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1  |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....   | 2  |
| 2.1. Área de Estudo .....   | 2  |
| 2.1.1. Geologia .....   | 2  |
| 2.1.2. Geomorfologia e clima .....  | 5  |
| 2.1.3. Solos .....  | 7  |
| 2.2. Erosão Hídrica .....   | 15 |
| 2.2.1. O processo erosivo e pesquisas no Brasil.....                        | 15 |
| 2.2.2. Métodos de determinação de erosão.....                               | 18 |
| 2.2.3. Modelos de predição de erosão .....                                  | 27 |
| 2.2.4 Estudos de erosão hídrica na província petrolífera de Urucu.....      | 28 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 31 |
| 3.1. Experimento de Campo .....   | 31 |
| 3.2. Procedimento dos Testes .....  | 33 |
| 3.3. Procedimentos de Campo com o Simulador de Chuva .....                  | 34 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 35 |
| 4.1. Efeito do Grupo de Solo sobre o Escoamento e a Perda de Solo .....     | 35 |
| 4.2. Efeito do Tipo de Cobertura sobre o Escoamento e a Perda de Solo ..... | 41 |
| 5. CONCLUSÕES .....   | 45 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 46 |
| 7. ANEXOS .....   | 51 |

## 1. INTRODUÇÃO

A Província Petrolífera de Urucu (PPU) é composta por cinco campos de exploração e produção de petróleo e gás natural e está localizada no município de Coari, estado do Amazonas. A PPU está inserida na Bacia Sedimentar do Solimões, região onde se encontra a segunda maior reserva de gás do Brasil e se produz o petróleo de melhor qualidade do país.

Um dos principais impactos ambientais na região tem sido a perda de solo resultante da erosão hídrica, causando sérias conseqüências para as locações operacionais que precisam ser desmatadas para sua implantação ou redimensionamento, além de dificultar a recuperação destas.

Em trabalhos anteriores, observou-se que o regime pluviométrico contribui com altos índices de erosividade e que o solo, em algumas localidades, tem como características uma capacidade reduzida de infiltração e condução de água, altos teores de silte nas camadas subsuperficiais e baixa resistência dos agregados na superfície do solo. Porém, estes trabalhos não correlacionam às perdas de solo e o escoamento superficial para diferentes tipos de solos.

Assim, esta dissertação tem por objetivo quantificar a perda de solo e escoamento superficial em diferentes classes de solos e coberturas vegetais na Província Petrolífera de Urucu, por meio de dados obtidos com o simulador de chuva relacionados a atributos físicos e químicos do solo.

Espera-se que este trabalho possa auxiliar o planejamento e gestão territorial e ambiental futuro da PPU, na abertura e licenciamento de novas locações, além da recuperação das áreas impactadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

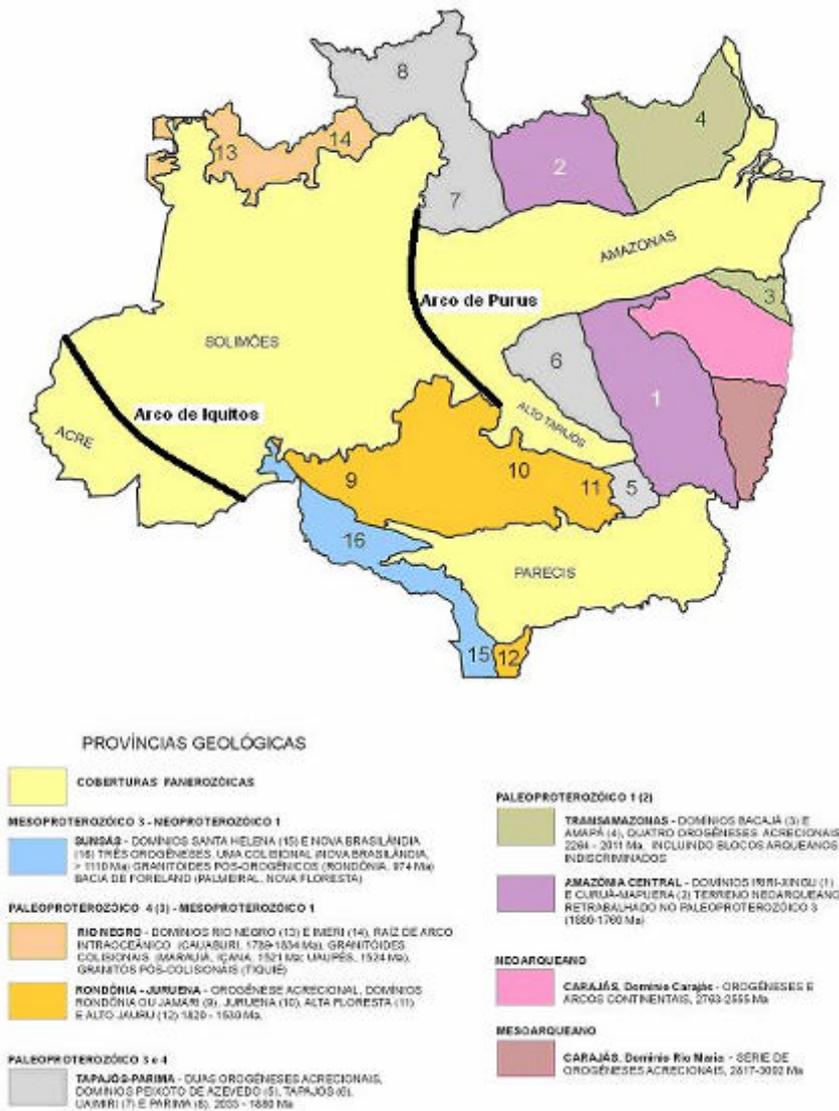
### **2.1. Área de Estudo**

Neste item, serão apresentados dados de geologia, geomorfologia e solos da Província Petrolífera de Urucu. É importante ressaltar que a região não apresenta estudos detalhados do ambiente, especificamente geologia, geomorfologia e solos. Desta forma, a revisão apresentada a seguir se baseou amplamente em documentos produzidos por ALMEIDA (1977), SANTOS (2003), BARATA & CAPUTO (2007) e BRASIL (1978). Esta última, BRASIL (1978), representa a única fonte que cobre toda a região de estudo com informações de geomorfologia e solos na escala 1:250.000. Cabe ressaltar que para o item solos, além de BRASIL (1978), compilou-se dados, a partir de documentos da EMBRAPA (1999), PETROBRAS (2009) e PETROBRAS (2010).

Considerando as informações acima citadas, a revisão apresentada é consequência da interpretação e análise comparativa destes documentos, o que norteou o uso de alguns termos utilizados pelas obras citadas.

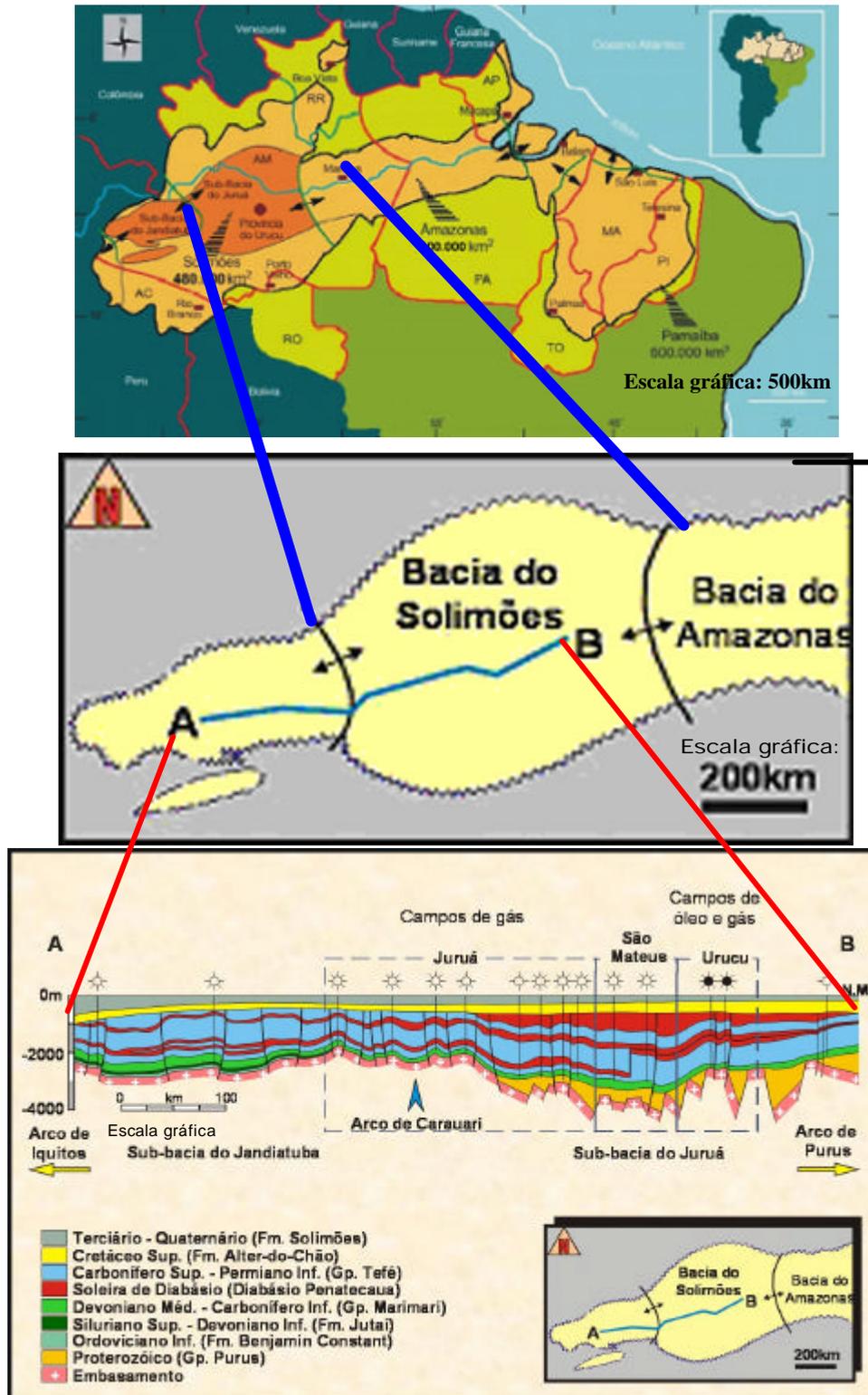
#### **2.1.1. Geologia**

O Território Nacional foi compartimentado em dez Províncias Estruturais, por ALMEIDA (1977), com base em suas feições estratigráficas, tectônicas, metamórficas e magmáticas. De acordo com esse autor, as Províncias Estruturais, são: São Francisco, Borborema, Tocantins, Parnaíba, Paraná, Amazônica, Mantiqueira, Rio Branco, Tapajós e Costeira. A área de estudo se insere na Província Estrutural Amazônica, uma grande área sedimentar, compartimentada por altos (arcos) do embasamento em três bacias conhecidas como do Acre, Solimões e Amazonas. A Província Petrolífera de Urucu se insere na bacia do Solimões, a qual se separa da bacia do Acre pelo arco de Iquitos e da Bacia do Amazonas pelo arco de Purus (Figura 1).



**Figura 1** – Províncias geológicas da região da Amazônia Legal. Fonte: SANTOS (2003)

Toda a Província Amazônica, e por consequência a Bacia do Solimões, do ponto de vista geocronológico, foi formada no Eon Fanerozóico (vida visível, aparente), o qual compreende as Eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica. De acordo com BARATA & CAPUTO (2007), a estratigrafia da Bacia do Solimões é composta por duas seqüências de 1ª Ordem, Paleozóica e Mesozóico-Cenozóica (Figura 2).

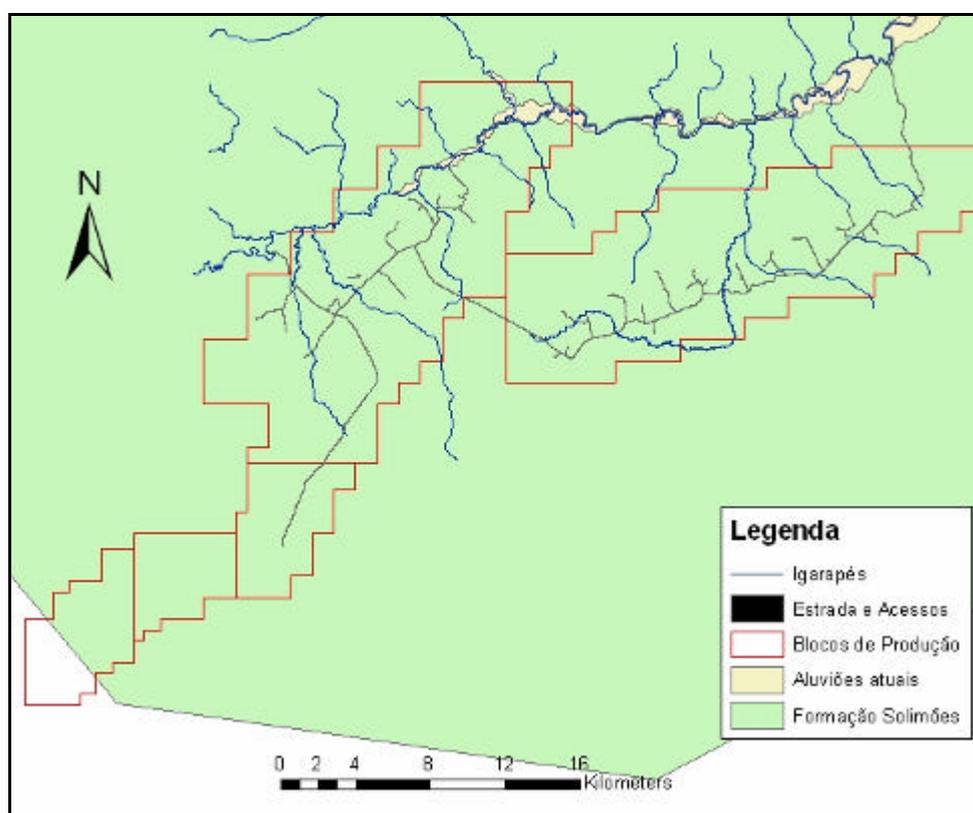


**Figura 2 – Arcabouço estratigráfico da Formação Solimões.** Fonte: BARATA & CAPUTO (2007)

A Seqüência Paleozóica é composta por quatro seqüências de 2ª Ordem, quais sejam: 1- Ordoviciano Inferior, 2- Siluriano Superior-Devoniano Inferior, 3- Devoniano Médio-Carbonífero Inferior e 4- Carbonífero Superior-(Permiano Inferior). Enquanto que a seqüência Mesozóico-Cenozóica é composta de duas seqüências de 2ª Ordem (Cretácea e Terciário-Quaternário).

Os sedimentos depositados no Período Terciário-Quaternário (Formação Solimões - TQs) é que definem o material de origem dos solos da área de estudo. Esses sedimentos se assentam à formação Alter do Chão, associados ao período Cretáceo. A Formação Solimões guarda características deposicionais similares com as da formação Alter do Chão, tornando-se bastante difícil sua diferenciação em campo. Basicamente, a Formação Solimões (TQs – Figura 3) é composta de arenitos muito finos e médios com níveis grosseiros e conglomeráticos. A matriz dos sedimentos é argilosa, localmente feldspáticos, micáceos e ferruginosos intercalados ou interdigitados com argilitos e siltitos em contato transicional; siltitos e argilitos sílticos, lentes de arenitos finos e médios, localmente grosseiros, às vezes ferruginosos.

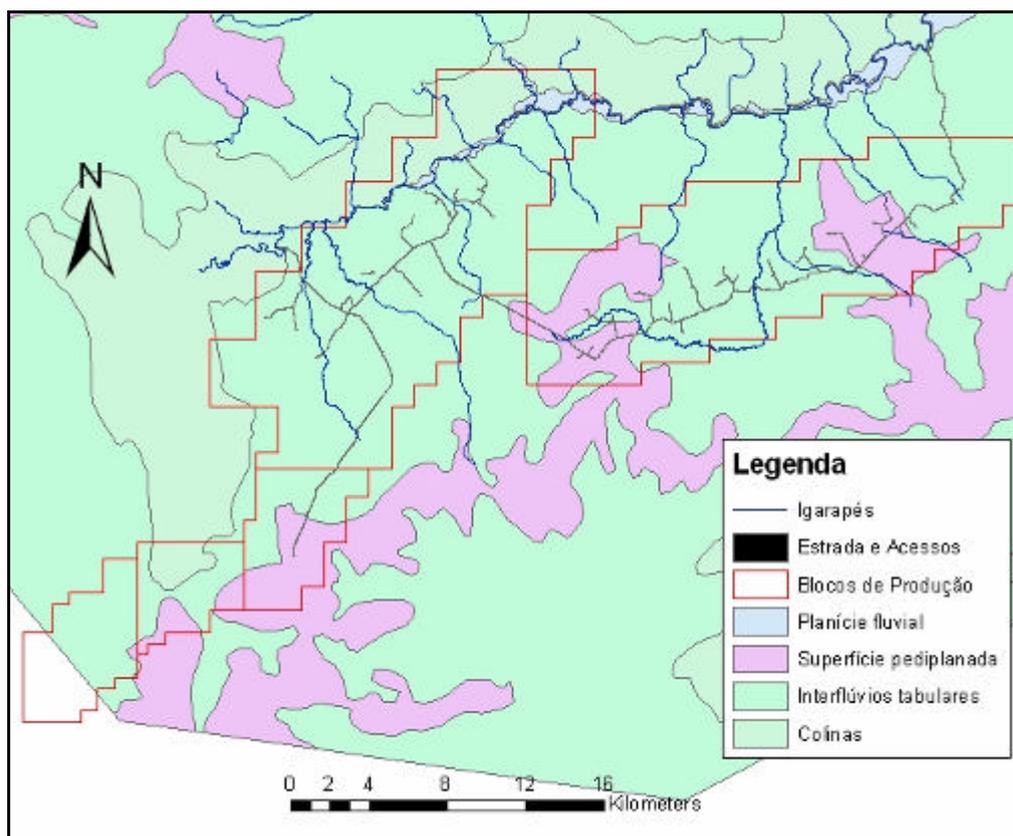
Os aluviões Holocênicos do Período Quaternário (Ha e Hai – Figura 3) são os depósitos relacionados à rede de drenagem amazônica atual, sobreposto à Formação Solimões. Litologicamente é composto de argila, silte e areia muito fina e grosseira; níveis limoníticos; pelotas e argila; lentes de conglomerados.



**Figura 3** – Formação geológica na área de estudo. Fonte: Adaptado de BRASIL (1978)

### 2.1.2. Geomorfologia e clima

O estudo geomorfológico da área referente à folha SB 20 Purus (BRASIL, 1978) se fundamentou em: altimetria relativa, homogeneidade das formas de relevo e interpretação e análise da imagem de radar. Assim, compartimentou-se a Folha SB 20 Purus em quatro domínios Morfoestruturais denominados: Planície Amazônica, Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, Planalto Rebaixado da Amazônia (Occidental) e Serras e Chapadas do Cachimbo. Após avaliação interpretativa dos domínios morfoestruturais, constatou-se que a área de estudo pertence ao domínio Planalto Rebaixado da Amazônia (Occidental). Esse Domínio é constituído de relevos dissecados em interflúvios tabulares (T21 e T31), superfícies pediplanadas (EP2), colinas (C11) e planícies fluviais (Apf) (Figura 4).



**Figura 4** – Compartimentos geomorfológicos na área de estudo. Fonte: Adaptado de BRASIL (1978)

Segundo PETROBRAS (2007), o relevo dissecado denominado interflúvio tabular apresenta topo aplainado, separados geralmente por vales em forma de V, e/ou localmente por vales de fundo plano mapeados em diferentes índices de dissecção. Os relevos superfícies pediplanadas constituem superfícies de aplainamento elaboradas por processos de pediplanação, esculpida em litologias pré-cambriana e pliopleistocênica. As superfícies pediplanadas (pediplanos Neopleistocênico) correspondem às áreas conservadas pela erosão e ocorrem em trechos descontínuos localizados nos topos dos divisores de água dos rios. As colinas possuem relevo de topo convexo, separados por vales em forma de V, mapeados com diferentes índices de dissecção. As planícies fluviais consistem de áreas aplainadas resultantes de acumulação fluvial periódica ou permanente alagada, geralmente comportando diques marginais ou processos de colmatagem.

De acordo com BRASIL (1978), a área da folha Rio Purus é subdividida em quatro Domínios Morfoclimáticos, quais sejam: Planaltos e Depressão Dissecados e Superfícies Pediplanadas, Áreas Dissecadas e/ou Pediplanadas, Superfícies Pediplanadas e Áreas Dissecadas e faixa de Transição Planície Amazônica. A área de estudo pertence ao Domínio Morfoclimático Planaltos e Depressões Dissecadas e Superficiais Pediplanadas. Além das informações geológicas e morfoestrutural apresentadas, a área possui clima Eutermaxérico, caracterizado pela ausência de período seco no ano e chuvas mais intensas entre dezembro e maio. As temperaturas na área são elevadas com amplitude térmica significativa entre valores absolutos diurnos e noturnos, no entanto, as médias mensais máximas e mínimas acusam pequena amplitude.

Sob essas condições climáticas, os sedimentos inconsolidados da Formação Solimões comportam-se como pouco resistentes ao processo erosivo. Os solos associados a esse domínio Morfoclimático são: Argissolos Vermelho Amarelo e Plintossolos (topo dos

interflúvios esculpidos da Formação Solimões), e Gleissolos, Neossolos Flúvicos, Neossolo e Quartzarênico e Espodossolos (Planícies fluviais – Holoceno). As concreções ferruginosas encontradas em alguns solos, provavelmente se formaram no período intermediário entre a pediplanação (Neopleistocênio - clima seco) e o clima úmido vigente. Assim, o clima seco que elaborou o Pediplano Neopleistocênico foi gradativamente substituído pelo clima úmido, sendo que neste período intermediário ocorreram oscilações capazes de promover o aparecimento de concreções ferruginosas (PETROBRAS, 2007).

### 2.1.3. Solos

As primeiras informações de solos da Província Petrolífera de Urucu foram obtidas a partir do mapeamento de solos do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978). De acordo com esse trabalho, dentre as unidades de mapeamento ocorrentes na região, resumidas na Tabela 1, na Província são encontradas apenas as unidades de mapeamento PVa17, HLra 4 e HGPa2. A unidade de mapeamento PVa17 predomina nos bordos dissecados dos interflúvios tabulares, sendo composta principalmente por solos classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico. Nas partes centrais e planas, predomina a unidade de mapeamento HLra4 (composta, principalmente de PLINTOSSOLOS ARGILÚVICOS Alumínico típico). A HGPa2 formada pela associação de GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico e PLINTOSSOLOS ARGILÚVICOS Alumínico típico, encontra-se restrita as planícies fluviais do Rio Urucu.

**Tabela 1** – Descrição das Unidades de Mapeamento (UM) na Folha Tefé (SB 20 VA).

| UM     | Descrição <sup>1</sup>   |
|--------|--|
| PVa 8  | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico plíntico textura argilosa e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abrupático textura média Floresta aberta e densa relevo plano.   |
| PVa 17 | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico textura argilosa, ARGISSOLO AMARELO Alumínico plíntico textura argilosa e ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico textura média Floresta densa relevo suave ondulado e ondulado com topos esbatidos. |
| PVa 18 | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico textura argilosa, ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico plíntico textura argilosa e LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso típico textura argilosa Floresta densa relevo suave ondulado e plano.           |
| HLra 4 | Associação de PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico textura argilosa Floresta densa e aberta relevo plano e suave ondulado e ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico textura argilosa Floresta Aberta e densa relevo suave ondulado                        |
| HGPa2  | Associação de GLEISSOLO HÁPLICO Alítico típico textura argilosa e PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico textura argilosa Floresta aberta aluvial relevo plano  |

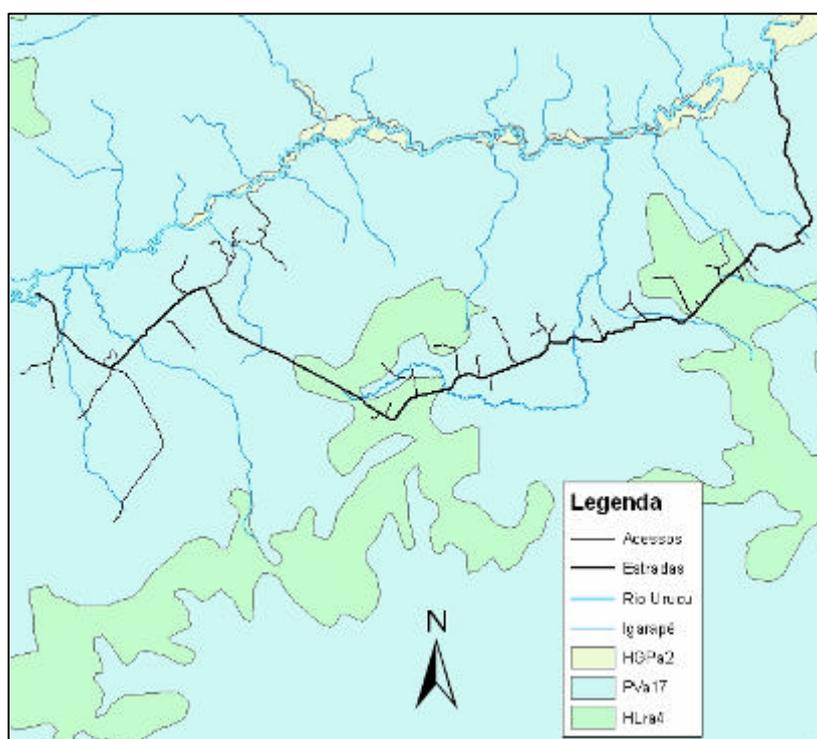
<sup>1</sup> Classificação de solos segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006). Fonte: BRASIL (1978).

Segundo EMBRAPA (2006), os argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte subsuperficial B textural (Bt) imediatamente abaixo dos horizontes A ou E, com argila de atividade baixa ou argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, além disso, com horizontes plíntico ou glei, se presente, não satisfazendo os critérios para Plintossolo ou Gleissolo. Os

Plintossolos também são solos constituídos por minerais, porém apresentam horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário dentro de 40cm da superfície ou dentro de 200cm da superfície quando precedidos de horizonte glei, ou imediatamente abaixo do horizonte A, ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante. Os Gleissolos, além de serem constituídos por material mineral, apresentam horizonte glei nos primeiros 150cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para ser considerado Organossolo, não apresentando horizonte vértico ou Bt com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura arenosa ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até contato lítico, caso este tenha horizonte plíntico, deverá estar à profundidade superior a 200cm da superfície.

Analisando os relatórios do RADAMBRASIL, é possível notar algumas características comuns nos vários perfis de solo analisados em locais próximos como no Município de Coari-AM, quais sejam: são solos formados a partir de sedimentos da Formação Solimões, com valores relativamente altos da fração granulométrica silte, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), baixa saturação de bases, pH ácido, elevada toxidez de alumínio e baixos teores de Fósforo. Em termos práticos, trata-se de solos de baixa qualidade química ao desenvolvimento da maioria das plantas de interesse econômico e com alta erodibilidade, em função dos elevados teores de silte.

Na Figura 5 são apresentados os mapas gerados por BRASIL (1978) para as folhas Purus (SB 20), Tefé (SB 20 VA) e da base de Urucu (sobreposição do vetor com limites da base na folha Tefé).



**Figura 5** – Unidades de mapeamento de solo na área de estudo. Fonte: Adaptado de BRASIL (1978)

Em função da escala relativamente pequena do projeto RADAMBRASIL (Exploratório 1:1.000.000) o número de unidades de mapeamento encontrado na área é relativamente pequeno e composta de associações com até 3 componentes, procurou-se

informações mais detalhadas sobre levantamentos de solos em regiões com características semelhantes à área de estudo. No ano de 1999 a EMBRAPA-SOLOS publicou o Levantamento de Reconhecimento de Baixa Intensidade das Terras do Pólo Juruá – Solimões – Amazonas. Este trabalho, em escala 1:250.000, cobre parte da Folha SA 19-Juruá e SA 20-Manaus nas quadrículas SA 19 ZD, SA 20 YA e SA 20 YC, possuindo como limites ao norte o Rio Solimões, a leste o Lago de Tefé, a oeste o Rio Juruá, não tendo ao sul limites naturais. A importância desse trabalho para o presente relatório é a possibilidade de se avançar um pouco mais nas informações de solos da base de Urucu. Embora a publicação da EMBRAPA não contemple a área de estudo, acredita-se que os solos mapeados nas folhas SA 19 ZD, SA 20 YA e SA 20 YC, por apresentarem mesmo material de origem, geomorfologia, clima e vegetação, sejam bastante parecidos. As unidades de mapeamento de solos encontradas no Pólo Juruá-Solimões são: PVa1, PVa2, PVa3, PVa4, GXbd, GXve, RUve. Na Tabela 2 são apresentadas as descrições das unidades de mapeamento.

Constata-se que a maior parte da área (85,1%) é composta de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, variando com relação à ocorrência de caráter plúntico, aluminico, álico, distrófico e abruptico. Observa-se também que a textura está entre argilosa e média. Também não são encontradas unidades de mapeamento específicas com denominação de Plintossolo, denotando que esta classe ocorre em menor proporção na região. Estas diferenças também são conseqüências de adequações ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), já que parte dos solos antes classificada como Plintossolo foi reorganizada em subdivisões de Argissolo, caso, por exemplo, dos Argissolos caráter plúntico.

Segundo PETROBRAS (2007), independente das classes de solos, constata-se que em grande parte da área os solos apresentam baixa saturação de bases trocáveis essenciais às plantas, bem como elevada concentração de alumínio (álico ou aluminico), podendo atingir valores de até  $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . De acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2006), solos que apresentam em seu horizonte B (ou C na ausência de B), teores de alumínio extraível =  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de solo associado a atividade de argila <  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila e saturação de alumínio = 50%, e/ou saturação de bases < 50%, são classificados como de caráter aluminico. Em termos práticos a elevada concentração de Alumínio extraível nos solos é prejudicial a sobrevivência e desenvolvimento das plantas, pois este é capaz de reduzir o desenvolvimento radicular e a solubilidade de elementos essenciais a estes vegetais no solo. A redução do crescimento das raízes diminui a capacidade da planta em obter água e nutrientes do solo, em virtude do menor volume do solo explorado, tornando-a, portanto, menos produtiva e mais susceptível a stress.

Considerando que a vegetação nativa é, atualmente, a principal responsável pelo controle dos processos erosivos, e que muitas das áreas impactadas por erosão na base de Urucu terão que ser revegetadas é importante considerar a baixa fertilidade natural dos solos e a presença de alumínio extraível em níveis tóxicos às plantas. Portanto deve-se avaliar a necessidade de incorporar calcário ao solo, elevando assim o pH e insolubilizando este alumínio tóxico. Porém na região, existe uma baixa disponibilidade de calcário, devendo-se considerar nas estratégias de ação, a prospecção e seleção de espécies nativas para revegetação das áreas degradadas (PETROBRAS, 2007).

**Tabela 2** – Descrição das Unidades de Mapeamento (UM) no Pólo Juruá – Solimões.

| <b>UM</b>    | <b>Expressão Territorial</b> | <b>Descrição<sup>1</sup></b>   |
|--------------|------------------------------|--|
| <b>PVAa1</b> | 9,5%                         | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico + ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico + NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, todos de textura média/argilosa, A moderado, álicos, fase floresta equatorial subperenifólia relevo plano.  |
| <b>PVAa2</b> | 50,4%                        | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico, relevo plano + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico plíntico, relevo suave ondulado + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abrupto, todos de textura média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico, latossólico, textura média, ambos relevo plano + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alumínico típico, textura argilosa relevo plano, todos A moderado, álicos, fase floresta equatorial subperenifólia. |
| <b>PVAa3</b> | 7,6%                         | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico, típico, relevo plano + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico, plíntico, relevo suave ondulado + ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico, relevo plano, todos de textura média/argilosa, A moderado, álicos, fase floresta equatorial subperenifólia.  |
| <b>PVAa4</b> | 7,6%                         | Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico plíntico textura média/argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média/argilosa, ambos A moderado, álicos, fase floresta equatorial subperenifólia relevo plano.  |
| <b>GXbd</b>  | 3,6%                         | Associação de GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico, típico, fase floresta equatorial perenifólia de várzea relevo plano de várzea + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plíntico fase floresta equatorial subperenifólia relevo plano, ambos de textura média/argilosa, A moderado, álicos.   |
| <b>GXve</b>  | 18,2%                        | Associação de GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico, textura argilosa/muito argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura argilosa, álico + NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico gleissólico textura indiscriminada, todos A moderado, fase floresta equatorial perenifólia de várzea relevo plano.   |
| <b>RUve</b>  | 3,1%                         | Associação de NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico textura média/siltosa + NEOSSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico típico textura indiscriminada + GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófica típico textura argilosa, A moderado, fase floresta equatorial perenifólia de várzea relevo plano.   |

<sup>1</sup> Classificação de solos segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2006). Fonte: EMBRAPA (1999)

A partir de 2006, no âmbito do projeto CTPETRO, PETROBRAS (2009) apresenta relatório intitulado Caracterização pedológica de alguns solos na Província Petrolífera de Urucu, município de Coari, AM. Neste relatório, são descritos com detalhe os 6 perfis de solo

ao longo da base de Urucu, com suas análises químicas e físicas completas. Basicamente, embora tenham sido encontradas algumas diferenças nas classes de solos, confirmou-se para o local a baixa fertilidade natural dos solos e o elevado teor de silte (Tabela 3).

**Tabela 3** – Classificação taxonômica de alguns solos da província de Urucu.

| Perfil | Classificação <sup>1</sup>   |
|--------|--|
| 01     | CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico plúntico textura média/argilosa A fraco       |
| 02     | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico textura média/argilosa A fraco |
| 03     | CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico textura siltosa A moderado         |
| 04     | CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico argissólico textura média/argilosa A fraco    |
| 05     | CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico textura média A fraco         |
| 06     | GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico textura siltosa A fraco             |

<sup>1</sup> SiBCS, EMBRAPA (2006). Fonte: PETROBRAS (2009)

Além da baixa fertilidade natural dos solos, destaca-se também a pequena espessura dos horizontes superficiais (O e/ou A), comumente com no máximo 10 cm de espessura. Nessa camada, são encontrados os maiores teores de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, demonstrando a importância da manutenção da matéria orgânica na ciclagem de nutrientes e conseqüentemente da sustentabilidade desse sistema. Do ponto de vista físico, nota-se uma acentuada elevação da densidade do solo, logo abaixo do horizonte superficial. Esse comportamento é esperado em função da redução do teor de matéria orgânica em profundidade, aliado à elevação da pressão das camadas superiores.

Segundo o mapa detalhado de solos do entorno da malha viária da Província Petrolífera de Urucu (PETROBRAS, 2010) foram encontradas nove unidades de mapeamento (UM) (Tabela 4).

**Tabela 4** – Unidades de mapeamento segundo levantamento de solos em PETROBRAS (2010)

| Unidade de mapeamento                         | Área (ha)      | %            |
|---|----------------|--------------|
| UM1 – Unidade Simples ( <b>GXvd</b> )         | 91,7           | 1,2          |
| UM2 - Unidade Simples ( <b>ESKg</b> )         | 11,0           | 0,1          |
| UM3 – Unidade Simples ( <b>CXbd</b> )         | 1.529,0        | 19,2         |
| UM4 – Complexo ( <b>PVAal - CXal - CXbd</b> ) | 1.703,9        | 21,4         |
| UM5 - Unidade Simples ( <b>CXal</b> )         | 1.491,7        | 18,7         |
| UM6 - Complexo ( <b>CXal – PVAa</b> )         | 297,9          | 3,7          |
| UM7 - Complexo ( <b>CXal – PAd</b> )          | 1.073,1        | 13,5         |
| UM8 - Complexo ( <b>PAal – PAd</b> )          | 1.394,9        | 17,5         |
| UM9 - Unidade Simples ( <b>PACd</b> )         | 373,3          | 4,7          |
| <b>Área total mapeada</b>                     | <b>7.966,5</b> | <b>100,0</b> |

Segue abaixo, a descrição das UM's citadas na Tabela 4:

A Unidade de mapeamento simples número 1 (UM1) refere-se à classe de solo GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado (GXvd). E nesta ocorrem inclusões de CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado muito mal drenado hiperdistrófico (CXvd), NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico A moderado extremamente drenado (RYbd) e ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado

imperfeitamente drenado (PAd). Esta unidade de mapeamento se restringe às áreas das calhas dos principais igarapés e terraços no entorno do curso d'água principal. Embora seja comum a ocorrência de baixadas e igarapés ao longo da base de Urucu, a maioria desses locais é comumente preenchida com sedimentos trazidos pelos processos erosivos naturais, tornando as baixadas entulhadas. O acúmulo de sedimentos em um ambiente úmido, no entanto, nem sempre é suficiente para a formação de Gleissolos em grandes extensões (seqüência de horizontes A-AC-Cg). Esta unidade ocorre na calha dos igarapés Tartaruga, Onça e Tamanduá e também em um grande tributário do igarapé Tartaruga. O principal igarapé onde se encontra esta unidade de mapeamento é o do Córrego da Onça, próximo ao pólo Arara.

A unidade de mapeamento simples número 2 (UM2) refere-se à classe de solo ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico dúrico (ESKg). Ocorrem inclusões de GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado (GXvd), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico A moderado muito mal drenado hiperdistrófico (CXvd) e NEOSSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico A moderado extremamente drenado (RYbd). Esta unidade de mapeamento se restringe ao entorno do curso d'água principal do Igarapé Tamanduá. O ambiente é caracterizado pelo acúmulo de sedimentos arenosos (areia fina), com presença de seqüência de horizontes A-E-EB-Bhs. O horizonte Bhs ocorre na profundidade média de 1 metro, formando uma camada adensada com forte cimentação devido à concentração de colóides de natureza orgânica e provavelmente óxidos de ferro e alumínio. Esta camada causa o impedimento da drenagem (Ortstein). Embora não tenham sido encontrados durante a sondagem de campo na região do Igarapé Tamanduá, é provável a ocorrência das classes de solos Gleissolo, Cambissolo, Neossolo e Argissolo Amarelo.

A Unidade de mapeamento simples número 3 (UM3) é representada por CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado moderadamente drenado textura média. Inclusão de NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico A moderado eutrófico (RYq) e ARGISSOLO AMARELO Alítico típico A moderado imperfeitamente drenado (PAal). A unidade de mapeamento CXbd ocorre através de toda a base de Urucu, associada às áreas de baixada mais assoreadas com sedimentos, e em grande parte do entorno de linhas de drenagem mais encaixada. Engloba as terras com perfis descritos, em sua maioria, em situação de baixada e de terço inferior de encostas com declividade baixa (0-5%). Nesses locais, os sedimentos depositados sob condições de drenagem imperfeita formam predominantemente solos com horizonte B incipiente e de textura média (Franco-arenosa e Franca). A classe de solo CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado moderadamente drenado textura média é predominante, tendo expressão típica no entorno do Igarapé Tamanduá e no entorno de todas as linhas de drenagem de cursos d'água mais encaixados. A planície aluvial do Igarapé Tamanduá (Lontra e Marta) diferencia-se das planícies dos Igarapés Onça e Veado, por possuírem grau mais avançado de assoreamento e não formarem Gleissolos com expressão territorial possível de ser discretizada na escala de publicação do mapa. Nos pontos de planície aluvial com maior espessura, onde os ciclos de umedecimento e secagem são mais freqüentes e avançados, são formados perfis com horizontes B textural e matizes 7,5YR e 10YR, sendo classificados como ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado imperfeitamente drenado. Nos pontos das planícies aluviais com sedimentos mais arenosos, os perfis apresentam seqüência de horizontes A-AC-CA-C, sendo classificado como NEOSSOLO FLÚVICO Psamítico típico A moderado eutrófico.

A unidade de mapeamento número 4 (UM4) é composta do complexo das classes de solos ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico típico A moderado hiperdistrófico (PVAal - 25%), CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico A moderado hiperdistrófico (CXal - 20,8%) e CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado álico (CXbd - 25%). Ocorre a inclusão das classes ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A

moderado álico (PVAd – 12,5%), CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico A moderado moderadamente drenado (CXa – 8,3%), ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado álico (PAa – 4,2%) e ARGISSOLO AMARELO Alítico típico A moderado imperfeitamente drenado (PAal – 4,2%). Esta unidade de mapeamento ocorre nas áreas de encostas com declividade mais acentuada, ao longo de toda área de encostas dos campos de SUC e RUC (entorno da Base, Aeroporto, Porto Urucu, Pólo Arara e próximas ao Porto Hélio). As áreas apresentam declividades entre 6 a 22%, e os perfis estão descritos, predominantemente em situação de meia encosta e terço superior de encosta. Os relevos característicos são os ondulados com vales encaixados e entulhados. Os solos apresentam predomínio de cores com matiz 5YR nos horizontes B. A unidade de mapeamento é composta de uma associação de Argissolos e Cambissolos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B textural e B incipiente, sendo o primeiro mais freqüente. Os solos desta unidade de mapeamento são comumente alíticos e distróficos (hiperdistróficos) e bem drenados, diferenciando-se dos solos ocorrentes nos topos das mesmas encostas que apresentam caráter predominantemente alítico ou alumínico. São encontrados nessas unidades de mapeamento as inclusões de PVAd, CXa, PAa e PAal.

A Unidade de mapeamento simples número 5 (UM5) refere-se à classe CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico A moderado hiperdistrófico (CXal). Ocorre a inclusão das classes PVAal, PVAa, PVAd, PVal, PAa, PAal e RQo. Esta unidade de mapeamento ocorre nas encostas mais declivosas dos campos de LUC, compreendendo a maior parte das terras no entorno da estrada para Porto Evandro, sobretudo no trecho entre os Igarapés Tamanduá, Lontra e Marta (incluindo o alojamento Papagaio). A unidade de mapeamento é composta de uma associação de Cambissolos e Argissolos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B incipiente (Bi) e B textural (Bt), sendo mais freqüente o primeiro. As áreas com esta unidade de mapeamento apresentam declividade média de 14%, tendo ampla faixa de variação (1-50%), estando os perfis descritos em situação de terço inferior a terço superior de encosta. De forma similar à unidade de mapeamento 4 (UM 4), o relevo característico é o ondulado com vales relativamente mais encaixados e entulhados. Os solos apresentam predomínio de cores com matiz 5YR nos horizontes B, podendo ser encontrado matizes mais vermelhos (2,5YR-PVd) e mais amarelos (7,5YR –PAa e CXbd). Os solos desta unidade de mapeamento são predominantemente alíticos e bem drenados.

A unidade de mapeamento número 6 (UM6) composta do complexo das classes de solos CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico A moderado hiperdistrófico (CXal – 50%) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico plíntico A moderado (PVAa 33,3%). Nessa unidade de mapeamento ocorre a inclusão de CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico A moderado álico (CXbd 16,7%). Esta unidade de mapeamento cobre toda área de encostas e topos muito dissecados das microbacias Paca, Macaco e Porto Evandro. A unidade de mapeamento é composta de uma associação de Cambissolos e Argissolos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B incipiente e B textural, sendo mais freqüente o primeiro, tornando difícil a discretização das duas classes ao longo das encostas. As áreas com esta unidade de mapeamento apresentam declividade média de 14%, tendo ampla faixa de variação (1-50%), estando os perfis descritos em situação de topo, terço inferior a terço superior de encosta. O relevo forte ondulado e ondulado é característico da região. Os solos apresentam predomínio de cores com matiz 5YR nos horizontes B (inclusive BA), sendo alíticos e alumínicos, sob condições de boa drenagem.

A Unidade de mapeamento número 7 (UM7) é composta do complexo das classes de solos CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico A moderado imperfeitamente drenado (CXal – 31,3%) e ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado álico moderadamente

drenado (PAd – 25%) . Ocorrem as inclusões das classes ARGISSOLO AMARELO Alítico típico A moderado hiperdistrófico (PAal – 12,5%) , ARGISSOLO AMARELO Alumínico típico A moderado moderadamente drenado (PAa – 12,5%), CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico A moderado hiperdistrófico (CXa - 12,5%) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico típico A moderado moderadamente drenado (PVAal - 6,2%). Esta unidade de mapeamento ocorre amplamente nos topos das colinas mais dissecadas da região do Pólo Arara, Alojamentos Base, Tucano e Vitória Régia, campos de SUC e RUC. A unidade de mapeamento é composta de uma associação de Cambissolos e Argissolos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B incipiente (Bi) e B textural (Bt), sendo mais freqüente o primeiro, tornando difícil a discretização das duas classes ao longo das encostas. Os solos apresentam cores com matizes entre 5YR a 10YR, com predomínio dos matizes mais amarelos, sendo estes predominantemente alíticos e bem drenados. As áreas com esta unidade de mapeamento apresentam declividade média de 14%, tendo ampla faixa de variação (1-50%), estando os perfis descritos em situação de topo e terço superior de encosta. O relevo plano a suave ondulado é característico.

A Unidade de mapeamento número 8 (UM8) é composta do complexo das classes de solos ARGISSOLO AMARELO Alítico típico A moderado moderadamente drenado (PAal – 62,5%) e ARGISSOLO AMARELO Distrófico plúntico A moderado moderadamente drenado (PAd – 37,5%). A unidade de mapeamento PAd ocorre nas regiões com padrão de relevo plano a suave ondulado dos planaltos aplainados comumente encontrados nas cabeceiras das bacias hidrográficas, com alta densidade de drenagem. A unidade de mapeamento é composta de uma associação de Argissolos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B textural (Bt). Os solos apresentam cores com matizes entre 7,5 a 10YR, sendo estes distróficos e alíticos e com drenagem moderada a imperfeita. As áreas com esta unidade de mapeamento apresentam declividade média de 3 a 5%, estando os perfis descritos em situação de topo a terço inferior de encosta. O relevo plano a suave ondulado é característico.

A unidade de mapeamento número 9 (UM9) refere-se á classe de solo ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico álico A moderado mal drenado (PACd). Ocorre nessa unidade simples as inclusões de ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado álico (PAd), PLANOSSOLO HÁPLICO Arênico A moderado imperfeitamente drenado (SXd) e EPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico típico A moderado textura média (ESko). A unidade de mapeamento PACd ocorre nas regiões de planaltos aplainados com elevada densidade de drenagem e baixa declividade (relevo plano). Essa combinação de drenagem e declividade forma regiões com alto índice de umidade e de drenagem relativamente impedida. Esta unidade de mapeamento foi mapeada na região das cabeceiras das microbacias Lontra e Tamanduá, ao longo da estrada para o porto Evandro (campos de LUC). A unidade de mapeamento é composta de associação de Argissolos Acinzentados e Amarelos, uma vez que é comum, sob diferentes situações, a ocorrência de horizontes subsuperficiais diagnósticos B textural (Bt). Os solos apresentam, nos horizontes subsuperficiais, cores com matizes 2,5Y, 10B, e 10YR, com valores entre 6 a 8 e croma 1. Os solos são predominantemente mal e imperfeitamente drenados, com baixa saturação de bases (distróficos). As áreas com esta unidade de mapeamento apresentam declividade média de 2%, estando os perfis descritos em situação de topo, encosta e baixada. O relevo plano é característico.

GUERRA & BOTELHO (1998) discutem a susceptibilidade a erosão hídrica de várias classes de solo. Os autores afirmam que os solos das ordens ARGISSOLOS e PLANOSSOLOS são mais susceptíveis a erosão. A principal razão é que esses solos possuem um obstáculo à infiltração da água ao longo do perfil, diminuindo sua permeabilidade e favorecendo o escoamento superficial e subsuperficial na zona de contato entre os diferentes

materiais, que é agravada quanto maiores forem às discontinuidades texturais e estruturais ao longo do perfil. O grau de susceptibilidade dos solos da ordem dos CAMBISSOLOS é variável, pois depende da sua profundidade, declividade do terreno, do teor de silte e do gradiente textural. Tanto os GLEISSOLOS quanto os NEOSSOLOS FLÚVICOS por estarem geralmente em áreas planas ou suaves onduladas, que não favorecem o escoamento, não apresentam limitações relevantes quanto a este impacto.

## **2.2. Erosão Hídrica**

### **2.2.1. O processo erosivo e pesquisas no Brasil**

GUERRA & GUERRA (2001) consideram a erosão como a destruição das saliências ou reentrância do relevo, tendendo a um nivelamento ou colmatagem, no caso de litorais, enseadas, baías e depressões. Segundo os autores, o termo erosão implica, para o geólogo e para o geógrafo, a realização de um conjunto de ações que modelam a paisagem. Entretanto, para o pedólogo e o agrônomo, o termo está associado à destruição dos solos. Podem-se distinguir vários tipos de erosão: a) erosão acelerada; b) erosão elementar; c) erosão eólica; d) erosão fluvial; e) erosão glacial; f) erosão marinha; g) erosão pluvial ou hídrica. A erosão é abordada por profissionais de diversas áreas, tais como, engenharia, geologia, agronomia e geografia que atuam em seu combate, tanto na área rural quanto na urbana.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) definem erosão do solo como sendo o processo de desprendimento e transporte das partículas provocado pela ação de algum agente erosivo, sendo o vento e a água da chuva os fatores mais importantes. GUERRA (1998) acrescenta que quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, acontece à deposição desse material transportado.

Sob condições de clima tropical, com incidência de chuvas de alta intensidade, como ocorre na maior parte do Brasil, a forma de erosão que causa maior degradação das terras é aquela causada pela chuva. Este tipo de erosão é conhecido como erosão hídrica, sendo responsável pela perda de milhões de toneladas de solo agricultável a cada ano e é também por imensos prejuízos em áreas urbanas e setores estratégicos da economia e da sociedade. Esta erosão age de duas formas distintas: numa delas, o impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, provoca sua desagregação, facilitando desse modo o transporte de partículas menores; na outra, a ação se verifica também na subsuperfície, numa determinada porção do perfil do solo, afetando a massa de material inconsolidado (BIGARELLA, 2003).

A pesquisa em erosão do solo no Brasil teve seu início na década de 40, com a criação da primeira Estação Experimental de Conservação de Solo e Água em Viçosa-MG pelo Agrônomo João Quintiliano de Avellar. Em 1943, este foi para o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) com objetivo de organizar a Seção de Conservação de Solos. O IAC é a instituição brasileira com maior experiência e tradição nessa área, pois realiza pesquisas em erosão de uma forma continuada, desde 1943. Em 1975, foi realizado em Londrina-PR, o 1º Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simuladores de Chuva, evento que foi um grande marco na pesquisa de erosão do solo no Brasil. A pesquisa teve avanços, pois é inegável o progresso técnico obtido na agricultura brasileira voltado ao controle da erosão do solo. Entretanto, ainda há muito a avançar e por isso os pesquisadores se mantêm sempre obstinados na busca, discussão, planejamento, sistematização e uniformização de métodos de pesquisa em erosão do solo (CASSOL & REICHERT, 2000).

A fonte de energia que desencadeia o processo de erosão do solo provém do agente erosivo. O sistema solo e suas interfaces podem dissipar completamente essa energia ou transformá-la em trabalho. As perdas de solo e água e de outras substâncias por erosão constituem o trabalho resultante desse processo. Alguns entendem que não é necessário conhecer todas as interações e transformações que ocorrem no sistema solo e suas interfaces

durante o processo de erosão, pois o que mais importa é controlar a erosão e minimizar a ocorrência de perdas. Outros defendem a existência da necessidade imperiosa de conhecer os detalhes do processo, intensidade, interações e as transformações que ocorrem durante o mesmo. Entendendo e interpretando corretamente o processo, além de descrevê-lo detalhadamente em um modelo físico ou conceitual, pode-se também encontrar maneiras cada vez mais eficientes de controlá-lo e evitar seus efeitos danosos (CASSOL & REICHERT, 2000).

Em estudos de erosão hídrica é importante ter conhecimento dos parâmetros da chuva. BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) consideram a chuva como fator climático de maior importância na erosão dos solos. As diferenças climáticas inerentes às várias situações geográficas provocam variações nas características das chuvas. Para o uso em alguns modelos de previsão de erosão, necessita-se determinar um fator de erosividade das chuvas, que segundo HUDSON (1961), representa a capacidade da chuva em causar erosão. De acordo com vários autores, os parâmetros utilizados para investigação da erosividade são: o total de chuva, a intensidade, a duração e a energia cinética.

CASSOL & REICHERT (2000) relatam que estudos básicos sobre características da chuva e da enxurrada e seu potencial erosivo não são tão raros no Brasil. Os trabalhos realizados têm dado uma indicação de que a metodologia empregada na determinação do fator de erosividade das chuvas é válida para as condições do Brasil. Entretanto, o método empregado, que se baseia em registros pluviográficos, é extremamente trabalhoso, demorado e caro. Alguns procedimentos baseados em dados pluviométricos têm sido desenvolvidos, face à inexistência ou à baixa disponibilidade de registros pluviográficos em algumas regiões do país. Mais estudos devem ser realizados para se definir um modelo de regressão para cada região de interesse, o qual associa basicamente a erosividade das chuvas com índices pluviométricas mensais ou anuais.

Os mesmos autores citados no parágrafo anterior defendem que para a utilização de alguns modelos de previsão da erosão não há necessidade de um parâmetro de erosividade da chuva. Entretanto, o modelo requer a existência de um banco de dados meteorológicos, no qual devem constar registros diários de precipitação pluvial, temperatura, radiação solar, direção e velocidade do vento. Por isso, é imprescindível a existência de estações meteorológicas com registros de longo prazo. No entanto, a disponibilidade de dados meteorológicos no Brasil é incipiente e é altamente necessária a uniformização desses em bancos de dados, para que as informações geradas possam ser adequadamente comparadas e utilizadas.

Na pesquisa de erosão, especial ênfase deve ser dada ao solo, que é o agente passivo no processo, aquele que sofre a ação do agente erosivo. Cada tipo de solo apresenta uma capacidade peculiar de resistir à erosão, a qual, nos modelos de previsão de erosão do solo, é denominada fator de erodibilidade do solo (K) (CASSOL & REICHERT, 2000). MORGAN (1986) define erodibilidade como sendo a resistência do solo em ser removido e transportado.

Segundo CASSOL & REICHERT (2000), o valor do fator erodibilidade do solo pode ser determinado por meio de métodos diretos ou indiretos. Independente da metodologia escolhida, esta deve ser uniformizada para que os resultados obtidos possam ser comparados e utilizados nas mais variadas condições. Os métodos diretos requerem experimentação de campo, a longo prazo, em condições de chuva natural ou a curto prazo, utilizando simulador de chuvas. Pelos métodos indiretos, a erodibilidade do solo pode ser determinada por meios analíticos, através do conhecimento das propriedades do solo que melhor se correlacionam com os valores de K determinados pelos métodos diretos. GUERRA (1998) relata que a textura, a densidade do solo, a porosidade, o teor de matéria orgânica, a estabilidade dos agregados e o pH são propriedades do solo que mais se destacam na erosão.

Um fator de interface do sistema solo extremamente importante na aplicação de modelos de erosão está relacionado com as plantas cultivadas e seus efeitos na dissipação da energia erosiva que alcança o solo. O manejo das culturas, o desenvolvimento vegetativo, o sistema radicular, resíduos vegetais sobre a superfície do terreno, a forma de manejo e as taxas de decomposição dos resíduos são variáveis extremamente importantes no processo de erosão do solo. Nesse contexto, reveste-se a acentuada importância do método de preparo do solo utilizado na implantação das culturas, bem como os sistemas de sucessão e de rotação de culturas envolvidos (CASSOL & REICHERT, 2000). Os fatores relacionados à cobertura vegetal podem influenciar os processos erosivos de várias maneiras: através dos efeitos espaciais da cobertura, dos efeitos na energia cinética da chuva e do papel da vegetação na formação de húmus, que afeta a estabilidade e quantidade de agregados (GUERRA, 1998).

Segundo CASSOL & REICHERT (2000), a forma de quantificação de valores relacionados com a cobertura vegetal e manejo do solo dependem do tipo de modelo de erosão que o pesquisador quer trabalhar. As padronizações metodológicas que cada modelo determina precisam ser seguidas. Assim, os resultados obtidos poderão ser devidamente avaliados, utilizados e comparados. Certamente, o fator mais importante na dissipação da energia erosiva está relacionado com o manejo do solo e das culturas, a cobertura do solo, os resíduos vegetais e os métodos de preparo do solo. Mas, por outro lado, são os fatores mais difíceis de serem obtidos pela experimentação de campo ou de laboratório, por procedimentos uniformes. É muito importante que o pesquisador seja bem claro ao caracterizar o método experimental utilizado na obtenção dos valores desses parâmetros.

Características do relevo, tais como declividade, forma e comprimento do declive são muito importantes no processo erosivo (CASSOL & REICHERT, 2000) e atuam em conjunto entre si e com outros fatores, tais como, a erosividade da chuva e às propriedades do solo, promovendo maior ou menor resistência a esse processo. LUK (1979), através de seus estudos em vários solos na região de Alberta (Canadá), concluiu que solos com maior erodibilidade eram aqueles situados em encostas com 30° de declividade. Encostas convexas, em especial, onde o topo de elevação é plano e a água pode ser armazenada, podem levar à formação de ravinas e voçorocas quando a água é liberada (HODGES & ARDEN-CLARKE, 1986). Segundo HADLEY et al. (1985), a forma das encostas pode ter até mais importância na erosão dos solos do que a declividade. BOARDMAN (1983) atribuiu como uma das causas do aumento de erosão em West Sussex, sul da Inglaterra, a remoção de cercas entre pequenas propriedades rurais, fazendo gerar um aumento no comprimento das encostas de 90 para 200 metros. De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1995), os dois componentes do relevo (comprimento de rampa e declividade) exercem acentuada influência sobre a erosão, pois, o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escoar, e essa velocidade é uma resultante do comprimento da lançante e do grau de declive do terreno.

As práticas conservacionistas se constituem também em fator relevante na magnitude das perdas de solo e água por erosão (CASSOL & REICHERT, 2000). Existe uma imensa variedade destas práticas, cuja decisão quanto à escolha, segundo GUERRA (1998), cabe aos objetivos que podem ser a redução da velocidade do escoamento superficial (“runoff”), o aumento da capacidade de infiltração de água ou a liberação do excesso de água no solo.

Segundo CASSOL & REICHERT (2000), a pesquisa de erosão no Brasil tem sido concentrada na obtenção de valores de perdas de solo e água em parcelas experimentais de tamanho médio a pequeno, em várias condições de solo e de sistemas de manejo, para a determinação de valores e parâmetros de modelos de previsão de erosão. É importante que essas pesquisas sejam também desenvolvidas em áreas como bacias ou microbacias hidrográficas. Aspectos de engenharia são muito importantes, principalmente relacionados à sedimentação nas calhas dos rios em bacias hidrográficas grandes e médias. Os aspectos

ambientais de qualidade da água são extraordinariamente importantes e talvez deva ser o enfoque principal da pesquisa na primeira parte deste século.

O mesmo autor do parágrafo anterior relata que a água é tão importante quanto o solo na pesquisa da erosão. Atualmente, com o incremento de métodos de preparo do solo, como os preparos reduzidos e o plantio direto, que aliam a mínima (ou nenhuma) mobilização do solo com a manutenção de uma densa e contínua cobertura do solo (por resíduos e por culturas de cobertura), os níveis de perdas de solo por erosão têm diminuído sensivelmente. Entretanto, esse fato não tem diminuído a importância e a necessidade da pesquisa em erosão do solo. Há, nessa área, um campo pouco pesquisado, relacionado com a qualidade da água e ao potencial poluidor das águas de escoamento superficial que afluem das lavouras onde se aplicam grandes quantidades de agrotóxicos. Ênfase deve ser dada aos aspectos relacionados à infiltração de água, ao fluxo superficial concentrado (e seu potencial erosivo) e ao manejo das águas de escoamento superficial.

No momento atual da pesquisa em erosão do solo no Brasil, onde já existem muitos resultados experimentais obtidos em várias partes do país, alguns ainda não publicados, a preocupação deveria ser em reunir as informações existentes em um grande banco de dados. Outro aspecto da pesquisa de erosão do solo está relacionado ao desenvolvimento de um modelo de predição de erosão para características específicas dos ecossistemas brasileiros. Aparentemente essa não é uma das principais prioridades atuais. Essa convicção é especialmente apoiada no fato de que um modelo com fundamentação física pode ser aplicado em praticamente todas as partes do mundo, desde que sejam desenvolvidas pesquisas de validação (CASSOL & REICHERT, 2000).

### **2.2.2. Métodos de determinação de erosão**

As estimativas das taxas de erosão e sedimentação, associadas a diferentes usos e manejos do solo, são escassas e os métodos comumente empregados nas determinações são onerosos e demorados, consistindo na sua maioria em estudos de erosão de solos oriundos de trabalhos empíricos, baseados numa vasta gama de dados coletados sobre perdas de solo e agentes controladores do processo erosivo. A partir desses resultados, são realizadas análises estatísticas e, em função disso, uma grande quantidade de variáveis tem sido apontada, em diversas partes do mundo, como sendo as mais significativas para explicar e prever a erosão (GUERRA, 1998).

BERTONI et al. (1993) relatam que os diferentes métodos de determinação da perda de solo podem ser agrupados em diretos e indiretos. Os métodos diretos são utilizados para avaliar a erosão por impacto, erosão por arrastamento superficial (laminar) e perdas por percolação, que permitem avaliar o volume (através da coleta total, fração ou registro de passagem) e a qualidade das perdas (análises físicas e químicas). Os métodos indiretos baseiam-se em mudança de relevo (levantamentos de graus da erosão, topográfico e fotográfico) e alterações na constituição do solo (análise física e mecânica). Os métodos diretos são todos aqueles que utilizam a medição, coleta e análise do material erodido, com uso de instalações coletoras (tanques) com volume suficiente, como por exemplo, a parcela-padrão da USLE (WISHMEIER & SMITH, 1978). Dentre os métodos que os primeiros autores deste parágrafo relacionam para a determinação da perda de solo, somente o método indireto, mudanças de relevo através de fotografias, é relacionado para erosão em voçorocas. Entretanto, sugere o uso de pinos para a avaliação do desenvolvimento de voçorocas, mas ressalta a imprecisão do método.

Na literatura são praticamente inexistentes trabalhos sobre avaliação da perda de solo por método direto em voçorocas, provavelmente pela dificuldade de se trabalhar com grande volume de sedimentos que requer a construção de instalações coletoras com grandes

dimensões associada à dificuldade de sua construção devido à morfologia da desembocadura de uma voçoroca e o difícil acesso a elas (MACHADO, 2006).

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), vários são os métodos de campo que compõem um programa de pesquisa em conservação do solo: a) os sistemas de talhões coletores para determinação das perdas de solo e água pela erosão, sob chuvas naturais, nos mais variados solos, com as principais culturas e submetidos às principais práticas de conservação e manejo do solo; b) as determinações de perdas de solo e água pela erosão, sob chuva artificial, utilizando simuladores de chuva, também estudando os diferentes tipos de solo, diferentes cobertura vegetais, e diferentes práticas de conservação e manejo do solo; c) o estudo de pequenas bacias hidrográficas homogêneas, onde o tratamento com prática simples de controle da erosão é determinado na qualidade das perdas de solo; d) utilização de lisímetros para estudo do movimento da água na superfície do solo, do movimento através do seu perfil, absorção, evaporação e o uso de águas pelas culturas; e) série de ensaios, com probabilidade de análise estatística dos resultados, visando estudar sobre a produção das práticas conservacionistas e sistemas de manejo do solo, com base para o julgamento de sua praticabilidade e vantagens econômicas; f) estudo de várias plantas de cobertura, gramíneas, leguminosas e outras adotadas para cobertura de canais vegetados, proteção de taludes de cortes e aterros, e travamento do solo de grande interesse na sua estabilidade.

A determinação das perdas de solo por efeito do fenômeno da erosão pode ser feita de várias maneiras. A escolha de cada metodologia depende, principalmente, da natureza das perdas que se pretende determinar, como do tipo de práticas conservacionistas a estudar, das condições ecológicas locais e das possibilidades do pesquisador (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). A seguir será feita uma abordagem detalhada de alguns dos métodos citados.

#### **a) Sistemas coletores para determinação das perdas de solo e água pela erosão**

Os talhões coletores para a determinação das perdas de solo e água pela erosão têm sido utilizados em vários países (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). No que diz respeito ao monitoramento feito por meio das parcelas de perdas de solo, existem centenas de exemplos espalhados pelo mundo todo e os mais notáveis são aqueles que foram adotados nos Estados Unidos com o objetivo de chegar à Equação Universal de Perda de Solo (USLE – Universal Soil Loss Equation), bem discutida por WISCHMEIER e SMITH (1978) e adotada em muitos trabalhos no mundo inteiro.

Não há regras específicas quanto às dimensões de cada parcela, em uma estação experimental, mas MORGAN (1986, 2005) e GUERRA (1991, 2005) apontam que as parcelas deveriam ter no mínimo 10 metros de comprimento e 1 metro de largura, para que seja possível mensurar as perdas de solo que acontecem a cada evento chuvoso, quando este promove escoamento superficial. Toda parcela de perda de solo deve ter um pluviômetro ou, se for possível, um pluviógrafo próxima a ela, para que sejam registrados os totais pluviométricos diários ou a cada minuto, permitindo assim a determinação da intensidade da chuva, o que torna possível fazer associações com as perdas de água e solo.

Segundo GUERRA (2005), existem várias maneiras de se instalar uma estação experimental. O mais importante a destacar aqui é que algumas características e princípios básicos devem ser levados em conta pelo pesquisador: 1. as parcelas devem ter largura e comprimento iguais, para que seja possível a comparação entre elas; 2. é indispensável à existência de um pluviômetro, pelo menos, ou pluviógrafo, como destacado anteriormente; 3. devem ser feitos diferentes tratamentos em cada uma das parcelas; 4. elas devem ser separadas por madeira, ferro galvanizado, pequenas muretas, ou algum outro tipo de material; 5. devem ser colocados galões coletores de água e sedimento, na parte mais baixa de cada parcela; 6. antes de atingir o coletor, o material chega até uma calha, a mais conhecida é a Gerlach “Trough” (calha de Gerlach), que deve estar protegida contra a ação direta das gotas

de chuva; 7. as coletas de água e sedimentos devem ser diárias, se possível, ou pelo menos semanais. Essas são apenas algumas regras gerais, mas dependendo do local e dos objetivos da estação experimental, outros princípios podem ser adotados.

Além do mencionado, as parcelas de perdas de solo devem ocupar segmentos das encostas onde não haja muita rugosidade do terreno, caso contrário, fica muito difícil sua montagem, bem como sua manutenção. Outra regra a ser observada é que uma vez instalada uma estação experimental, é preciso evitar o pisoteio sobre as parcelas, pois o valor da densidade aparente será alterado, devido à compactação. Ou seja, as estações devem ficar em locais onde o público não tenha acesso ou, então, devem ser cercadas para garantir a sua integridade durante o monitoramento (DE PLOEY & POESEN, 1985; MORGAN, 1986, 2005; GUERRA, 1991, 2003).

Apesar da eficiência que as parcelas de perdas de solo têm demonstrado em várias partes do mundo, é preciso que seja também possível extrapolar os resultados para áreas maiores, mas isso deve ser feito com muita cautela, para que os dados não sejam sub ou superestimados. Isso depende de como a estação foi implantada e como o monitoramento foi feito, bem como da sua duração (GUERRA, 2005).

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos usando essa metodologia para quantificar as perdas de solo sob diferentes preparos e tipos de cobertura dos solos. MARGOLIS (1985), estudando o comportamento de algumas práticas conhecidas nas condições adversas do Agreste Pernambucano, para controle da erosão e aumento da produtividade do solo, conduziu ensaio em quatro talhões de 1.000 m<sup>2</sup> (20 x 50 m), equipados com conjuntos coletores de alvenaria, interligados com calhas divisoras de janela tipo “Geib” com os seguintes tratamentos: plantio de morro abaixo (PMA), plantio em contorno (PC), alternância de capinas (AC) e faixas de vegetação permanente (FVP). Os autores concluíram que as perdas médias anuais de solo das práticas dos três últimos tratamentos quando comparadas com o plantio morro abaixo, houve uma redução nas perdas de solo de 36,0; 82,6; 91,5% para os tratamentos PC, AC, FVP respectivamente. No trabalho os autores relatam que a repetição foi ao longo dos anos de coleta devido ao custo de implantação das parcelas, não sendo possível casualizar os tratamentos e nem análise de variância.

BERTONI & LOMBARDI NETO (1999) descrevem maneiras de dimensionar e como construir talhões para diferentes fins para que os dados tenham melhor representatividade.

Segue abaixo (Figura 6), imagem de uma parcela de perda de erosão instalada na Província Petrolífera de Urucu.

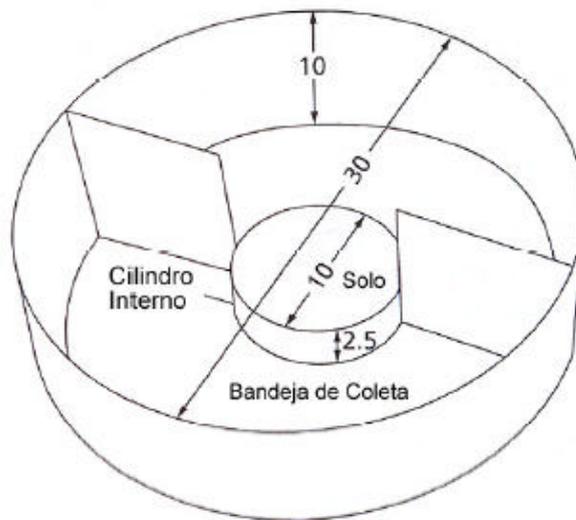


**Figura 6** – Parcela de perda de solo na Província Petrolífera de Urucu

#### **b) Método da bandeja de salpicamento (“splash erosion”)**

As bandejas de salpicamento, tradução aqui dada para as “splash cups”, na literatura internacional, são instrumentos que podem ser construídos em plástico, do tipo PVC ou qualquer outro material, usados para medir a erosão por salpicamento (“splash erosion”).

Existe uma série de tipos de aparelhos. Nesta dissertação será apresentado um proposto por MORGAN (1986, 2005), ilustrado na Figura 7. O aparelho consiste em um cilindro de PVC, com 30 cm de diâmetro e 10 cm de altura, dividido ao meio por duas pequenas placas, também de PVC. No centro desse cilindro é colocado outro cilindro, com 10 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, que é enterrado no solo. A parte de baixo do cilindro maior é totalmente fechada com uma placa de plástico, enquanto o cilindro central é vazado para que o solo preencha esse espaço. A bandeja de salpicamento é enterrada no terreno, e a parte central fica totalmente preenchida com solo. Uma parte do instrumento fica voltada para o topo da encosta e a outra fica voltada para a base da encosta. Após cada evento chuvoso, é coletado, em cada um dos compartimentos do instrumento, o solo que foi salpicado para cima e para baixo da encosta. A soma do total de solo salpicado em cada compartimento representa o total de solo que sofreu salpicamento e a diferença entre o total de solo do compartimento inferior e o superior, representa a erosão por “splash”. Conhecendo a área do cilindro menor (10 cm de diâmetro), preenchido pelo solo, é possível extrapolar o valor de solo erodido por salpicamento para uma área maior, desde que sejam instaladas várias bandejas de salpicamento em uma mesma encosta.

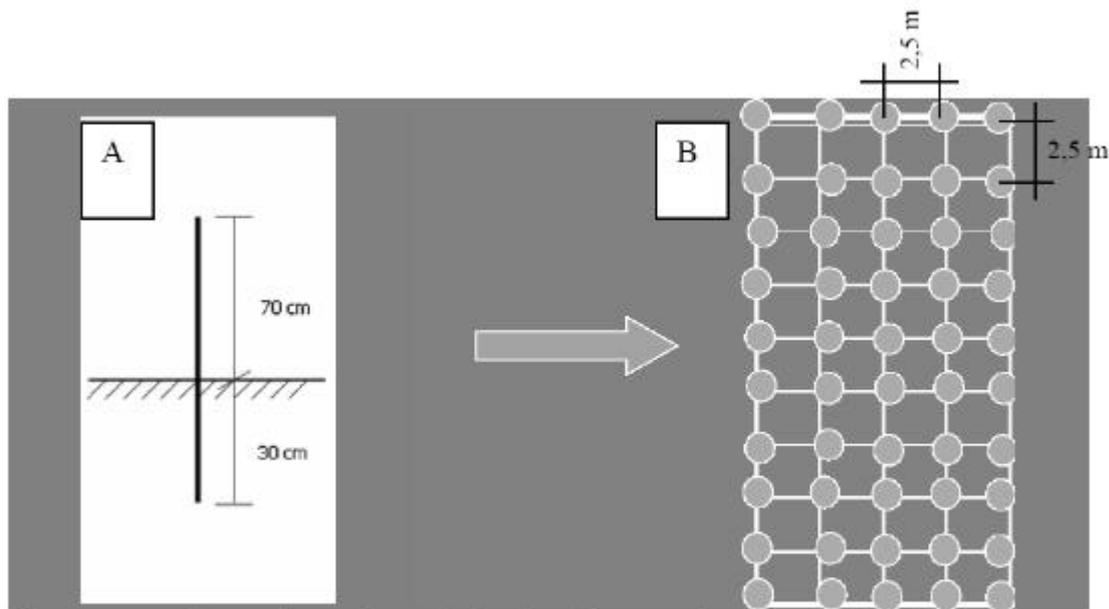


**Figura 7** – Bandeja de salpicamento. Fonte: MORGAN (2005)

### c) Método dos pinos de erosão

Os pinos de erosão caracterizam outra técnica barata e simples de se monitorar o processo erosivo, relacionado, nesse caso, ao escoamento superficial difuso, que provoca erosão em lençol (“sheet erosion”).

Segundo GUERRA (2005), o método consiste em avaliar a alteração na superfície, instalando pinos no solo, os quais devem ser numerados e identificados para que seja conhecida sua distribuição espacial. O monitoramento dos pinos de erosão consiste em voltar à área de estudo (de preferência após cada evento chuvoso significativo) e medir o quanto o pino está ficando exposto em relação ao solo. Esses pinos devem estar enterrados no solo 10 cm ou mais, de preferência em encostas onde não haja passagem de animais e pessoas, ou então, em área cercada para que não haja nenhum tipo de perturbação. Após um tempo determinado (um ou dois anos, por exemplo), é possível verificar a taxa de rebaixamento do solo dos pinos instalados e monitorados (pelo menos uns 50 pinos numa porção da encosta são aconselháveis). Além do rebaixamento, se a densidade aparente do solo for determinada, é possível estimar com um razoável grau de precisão a perda de solo, em toneladas por hectare (Figuras 8 e 9).



**Figura 8** – Desenhos do pino implantada na parcela (A) e parcela experimental com pinos de erosão (B). Fonte: ARRUDA (2005)



**Figura 9** – Vista parcial de parcela com pinos de erosão. Fonte: ARRUDA (2005)

#### **d) Método do céσιο 137**

O emprego do céσιο-137 tem sido freqüente para avaliar perdas por erosão e ganhos por sedimentação de solo dentro de uma paisagem (BAJRACHARYA et al., 1998). O céσιο-137 é um radionuclídeo artificial, produto da fissão nuclear do urânio-238 e plutônio-239, introduzido no meio ambiente por meio de testes nucleares de superfície entre início da década de 50 até meados da década de 70. O céσιο-137 é depositado sobre a superfície terrestre pela precipitação radioativa dos produtos da fissão gerados após a detonação. Assim, o céσιο-137 é um átomo instável, com meia-vida de 30,2 anos que decai por emissão beta ( $\beta^-$ )

para o bário-137 metaestável, com meia-vida de 2,55 minutos que se torna estável após a emissão de um raio gama de energia 661,6 keV, o qual, embora sendo emitido pelo bário-137, caracteriza o céσιο-137. Por ser a sua meia-vida relativamente longa e pelo fato de estar, em contato com o solo fortemente adsorvido pelas argilas (micáceas) e matéria orgânica (TAMURA, 1964), o céσιο-137 exerce uma “marcação” no solo. Quando o solo, “marcado” com céσιο-137, é erodido, este é também transportado, caracterizando uma relação biunívoca entre a perda (ou ganho) de solo e a concentração de céσιο-137 presente nesse solo (RITCHIE & MCHENRY, 1990).

A deposição de solo é caracterizada quando a atividade de céσιο-137 de uma amostra é maior que a atividade de referência de céσιο-137 e, quando essa atividade é menor, caracteriza-se a perda de solo. A atividade de referência do céσιο-137 é igual ao total de céσιο-137 depositado pela precipitação radioativa, determinada por meio da análise de uma amostra de solo coletada em área não perturbada, sem sinais de perda e, ou, deposição de solo. Vários modelos empíricos e teóricos foram desenvolvidos, correlacionando a redistribuição de céσιο-137 na paisagem com a taxa de perda ou ganho de solo, para as condições edafoclimáticas e de conteúdo de céσιο-137 do hemisfério norte, e podem ser encontrados em WALLING & QUINE (1990).

Utilizando o método do céσιο-137, GUIMARÃES (1988) analisou uma pequena bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP), constituída por solos com mais de 70% de areia, utilizada com culturas anuais, nas áreas de relevo mais plano, e reflorestamento de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, nas áreas de relevo ondulado. O autor determinou valores de redistribuição de solo que variaram de 48 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de perda até um ganho de 19 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para as áreas de culturas anuais, e de 57 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de perda até ganho de 46 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para as áreas de reflorestamento. Essa autora concluiu que tal técnica, para as condições de clima tropical e de menor precipitação radioativa que no hemisfério norte, pode ser utilizada em solos de textura arenosa, obtendo resultados de taxas de perda de solo condizentes com a declividade, uso e erodibilidade dos mesmos.

#### **e) Simulador de chuva e sua utilização nas pesquisas de erosão do solo**

A utilização de simuladores de chuva artificial, ou como são chamados também de infiltrômetros de aspersão, apresenta duas vantagens: 1 – os resultados de pesquisa são intensamente acelerados, uma vez que não são mais dependentes da ocorrência de chuvas em determinado momento, e, 2 – a eficiência da pesquisa é aumentada devido ao controle de chuva, uma das variáveis mais importantes (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

SOUZA (1964) comenta que estudos sobre o efeito das chuvas em atributos do solo são difíceis de serem realizados com chuva natural, pois não se tem controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipo de chuva. Segundo o autor, simuladores de chuvas apresentam-se como uma alternativa que permite controlar as características das precipitações com a vantagem de tornar possível seu uso a qualquer tempo. Com o controle e conhecimentos dessas características, é possível a operação em situações geográficas.

No desenvolvimento e utilização de um simulador de chuva, o autor concluiu que o aparelho construído mostrou ser eficiente para estudos de infiltração de água no solo, podendo ser utilizado também para estudos de formação de crosta, lixiviação de solutos, além de perdas de solo, água e nutrientes por escoamento superficial. Em contra partida, AGASSI & BRADFORD (1999) colocam que a principal limitação na utilização da chuva simulada é a dificuldade na reprodução das características das chuvas naturais em termos de intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva. Entretanto, MONTEBELLER et al. (2001), trabalhando com um simulador de chuvas pendular, determinaram o diâmetro médio de gotas para diferentes intensidades de precipitação e pressão de serviço e outros ajustes, possibilitando o uso adequado deste equipamento em relação à chuva natural. Da mesma

forma, CARVALHO et al. (2002) e CARVALHO et al. (2003), concluíram que a utilização de simuladores de chuvas em trabalhos de erosão hídrica constitui uma importante ferramenta para agilizar a obtenção de dados e a quantificação das perdas de solo e água, possibilitando a avaliação de tipos de manejo de solo, da cobertura e de sistemas de controle de erosão.

As características desejáveis para que um simulador de chuvas seja adequado a estudos hidrológicos e de erosão do solo referem-se àquelas relacionadas às chuvas naturais, mais notadamente o tamanho, distribuição e velocidade terminal das gotas e a intensidade de aplicação (OLIVEIRA, 2007).

De acordo com GUERRA (2005), os simuladores de chuva podem ter dimensões variadas e características diferenciadas, mas o princípio de uso desses equipamentos torna os simuladores mais ou menos semelhantes entre si. Os simuladores devem estar a uma altura determinada do solo para que as gotas de chuva possam atingir a velocidade terminal, ou seja, bem semelhante à de uma chuva natural. São equipamentos com capilares de silicone e tubos de plástico, do tipo PVC, por onde a água passa antes de cair no alvo desejado (uma parcela no campo ou um flume em laboratório). É preciso que seja controlada a pressão da água e que seja muito bem determinada a intensidade da chuva, antes do experimento. Os simuladores podem ser utilizados tanto no campo como em laboratório, ou em ambos. As críticas feitas ao uso de simuladores no campo estão relacionadas a certa dificuldade de transporte e operação e ao suprimento de água (MORGAN, 1986, 2005; GUERRA, 1991).

MORIN et al. (1967) classificam os simuladores de chuva em dois tipos: a) simuladores equipados com gotejadores e b) simuladores equipados com bicos. Os simuladores equipados com bicos têm menor custo de construção e, para a formação de gotas, eles devem ser operados sob determinada pressão, a qual pode ser ajustada para obtenção de uma velocidade de impacto das gotas no solo, similar à velocidade terminal das gotas de chuva. Assim, os bicos podem ser posicionados a uma altura inferior a 3 m em relação ao solo, o que facilitará o uso do equipamento no campo.

O vento também pode ser um fator limitante na sua operação, além da possibilidade de ocorrer uma chuva natural, durante o experimento, o que resultaria na paralisação do ensaio. Apesar destas e outras críticas que possam ser feitas, em relação ao uso de simuladores como, por exemplo, as condições artificiais em que a chuva é produzida e, em especial, a simulação em laboratório, onde as condições são artificiais, esses aparelhos vêm sendo cada vez mais usados por pesquisadores no mundo todo (GUERRA, 2003).

SMITH (1976) relata que um das condições para utilização de simuladores de campo é que a parcela experimental tenha uma área superior a 0,50m<sup>2</sup>, pois experimentos cuja área útil é inferior a esta, estão sujeitos a resultados tendenciosos.

Embora as aplicações desses tipos de simuladores tenham sido limitadas para pequenas parcelas, seu desenvolvimento futuro é muito promissor, podendo incluir bicos múltiplos para parcela no campo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

A maioria dos trabalhos que avaliam a perda de solo e o escoamento superficial utilizando simuladores de chuva foi realizada a partir da década de 90. Uma exceção a esta regra foi o trabalho desenvolvido na Microrregião Geográfica do Brejo Paraibano por SUCUPIRA & MEDINA (1982). Este trabalho tem como objetivo determinar o escoamento e a infiltração em três solos desta região: (i) Podzólico Vermelho Amarelo (PV), com 7% de declividade; (ii) Terra Roxa Estruturada (TR), com 14% de declividade; (iii) Regossol (RE), com 6% de declividade. Não foram observadas diferenças apreciáveis nas quantidades de água infiltrada e escoada entre o PV e o TR, concluindo que as propriedades texturais dos solos, bem como as suas umidades iniciais, foram determinantes na quantidade de água infiltrada e escoada.

Vários trabalhos foram desenvolvidos no Brasil, porém grande parte utilizou como parcelas experimentais áreas de cultivo, como por exemplo, em SCHAEFER et al. (2002),

PANACHUKI et al. (2006) e BERTOL et al. (2007). Os primeiros autores avaliaram além da perda de solo, as perdas de nutrientes e de matéria orgânica num ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Caulinítico em cultivo morro abaixo numa declividade de 9,5% em Viçosa-MG. As perdas de solo foram superiores a 11 t.ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com porcentagem de cobertura entre 0 e 40%, reduzindo-se a pouco mais de 5 t.ha<sup>-1</sup> com 80% até zero no tratamento 100% coberto com Bidim. As perdas de nutrientes seguiram a ordem cálcio>magnésio>potássio>fósforo e foram correlacionadas às perdas de matéria orgânica. O fracionamento de substâncias húmicas revelou a concentração residual de humina e perdas seletivas de formas mais solúveis (ácidos fúlvicos) com a enxurrada.

BERTOL et al. (2007) avaliaram as perdas de solo e de água num LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico de textura muito argilosa numa declividade de 4,5% no Oeste do Paraná. Os tratamentos estudados neste experimento foram: (a) adubação mineral, constituída de Nitrogênio, Fósforo e Potássio; (b) adubação orgânica, constituída de dejetos líquidos de suíno (DLS); e (c) sem adubação ou testemunha. As maiores perdas de solo e água no experimento foram observadas no tratamento DLS.

PANACHUKI et al. (2006) avaliaram as perdas de solo e de água no Município de Dourados-MS tanto em área de cultivo sob plantio direto quanto em área de pastagem com *Brachiaria D.* sob quatro intensidades de precipitação. Os valores médios acumulados de perdas de solo variaram de 0,013 a 0,105 t.ha<sup>-1</sup> e as perdas de água assumiram valores variáveis entre 1,34 x 10<sup>-3</sup> e 34,64 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>. As maiores intensidades de precipitação promoveram também maiores perdas, com maior perda de solo no plantio direto e maior perda de água na pastagem.

No Município de Ilhéus-BA, INÁCIO et al. (2005) desenvolveram um experimento em um sistema agroflorestal, onde o cacau é cultivado sob vegetação nativa de Mata Atlântica. Neste, o autor demonstrou que as perdas de solo não apresentaram diferença significativa quando comparados os tratamentos com e sem cobertura. Os valores variaram de 0,0521 t.ha<sup>-1</sup> utilizando a cobertura a 0,6085 t.ha<sup>-1</sup> sem esta.

Outros trabalhos com simulador de chuva foram realizados na Austrália, Canadá e Espanha. Os experimentos nestes países avaliaram o escoamento e perda de solo em áreas florestais. Na Espanha, porém, as parcelas foram alocadas em estradas não pavimentadas que cortam estas florestas.

Os resultados obtidos por COMMANDEUR (1992) em áreas desmatadas na Província de Columbia Britânica indicaram que o escoamento aumentou, quando a densidade do solo e os fragmentos mais grosseiros também aumentaram. O aumento do escoamento levou a uma maior concentração de sedimentos suspensos. Contudo, a variabilidade nestas concentrações foram maiores em grandes volumes de escoamento, sugerindo que a textura e a cobertura do solo, além da declividade têm relação com estes fenômenos.

JORDÁN-LÓPEZ & MARTÍNEZ-ZAVALA (2008) quantificaram o escoamento e a perda do solo utilizando uma intensidade de precipitação de 72 mm.h<sup>-1</sup> nas estradas do Parque Natural Los Alcornocales, situado no Sul da Espanha. O coeficiente de escoamento foi de 58% do precipitado da faixa de servidão destas enquanto que no leito, este valor chegou a 51%. As maiores taxas de perda de solo ocorreram nas faixas de servidão (1,06 t.ha<sup>-1</sup>), devido à declividade, materiais colúviais soltos e baixa cobertura vegetal. Estas perdas foram cinco vezes mais altas que no leito. Reduzindo o ângulo para 40% e aumentando a cobertura vegetal em 35%, permitiram uma taxa menor que 0,18 t.ha<sup>-1</sup>. Em outro experimento nas estradas deste mesmo parque, MARTÍNEZ-ZAVALA et al. (2008) concluíram que os coeficientes de escoamento e taxas de perda de solo foram menores nos taludes cobertos por vegetação e que os coeficientes aumentaram de 1,7 a 3,1 vezes no período do inverno. Preservando a cobertura vegetal em 20%, mantendo as perdas de solo a níveis baixos. JORDÁN-LÓPEZ et al. (2009) replicaram este mesmo trabalho em estradas não pavimentadas na região montanhosa do

mediterrâneo úmido. Estes autores observaram que o coeficiente de escoamento foi também maior na faixa de servidão e as taxas de perda de solo nas mesmas foram três vezes maior que no leito da estrada. Como conclusão final, as faixas foram consideradas como a principal fonte de sedimentos e que as estradas florestais não pavimentadas são pontos geradores do escoamento superficial. ARNÁEZ et al. (2004) utilizando o simulador em estradas na Cadeia Rochosa Ibérica, no Nordeste da Espanha demonstrou que a taxa de perda de solo nos taludes foi de  $1,61 \text{ t.ha}^{-1}$ . Esta taxa foi onze vezes maior que no leito. A comparação destes dados com outros obtidos em diferentes usos permitiu a estes autores concluir que algumas partes das estradas florestais têm comportamento hidromorfológico similar a áreas abandonadas em regiões montanhosas e campos cultivados com cereais.

### 2.2.3. Modelos de predição de erosão

Segundo AMORIM (2004), os estudos relacionados à erosão, em sua fase inicial, entre 1890 e 1947, limitavam-se ao entendimento e à descrição qualitativa dos principais fatores que afetavam o processo erosivo. Exemplos desse período são o trabalho descritivo de COOK (1936) e os trabalhos sobre erosão por salpico de LAWS (1940) e ELLISON (1947).

COOK (1936) já havia reconhecido a complexidade do fenômeno erosivo, sendo o pioneiro na definição dos principais fatores que afetam o processo erosivo, tais como erodibilidade do solo, erosividade da chuva e da enxurrada e proteção da cobertura vegetal. Conforme relatado por GONÇALVES (2008), ELLISON e ELLISON (1947) foram os primeiros a separar o termo erosividade em termos de capacidade de desprendimento e transporte, propondo, inclusive, funções para cada um deles.

De acordo com AMORIM (2004), trabalhos experimentais desenvolvidos no meio-Oeste dos EUA, durante a década de 40 e princípio da década de 50, resultaram na obtenção de equações de perda de solo que incluíam os efeitos do comprimento e da declividade da rampa, das características do solo, das práticas conservacionistas e das condições de uso e manejo do solo. Em 1946, um comitê dos EUA reuniu-se com a finalidade de revisar os fatores da última equação gerada e os dados existentes no país e, após incluir o fator chuva, deu-se origem a uma nova equação de perda de solo, conhecida como equação de MUSGRAVE (1947). Anos mais tarde (1954-1965), num esforço de agências de pesquisa e extensão dos EUA, para revisão das equações, foi proposto um novo modelo empírico denominado Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Essa equação, de base empírica, não leva em consideração, de forma individual, os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte de partículas de solo. Na USLE são apenas discriminadas as significâncias dos diferentes fatores que regem o processo erosivo, dentre os quais estão incluídos a precipitação, o comprimento e a declividade da encosta, a erodibilidade do solo, o cultivo (uso do solo) e as práticas agrícolas (AMORIM, 2004).

Apesar da existência de um consenso geral entre os pesquisadores de que a USLE forneça boa estimativa da erosão para um período de tempo pré-estabelecido, ela não é capaz de satisfazer os crescentes desafios impostos pelos problemas de erosão (WILLIAMS, 1975; FOSTER, 1982). WILLIAMS (1975), por exemplo, verificou que a USLE não apresenta uma estimativa da perda de solo em fases mais avançadas da erosão por sulcos e FOSTER (1982) relatou que a utilização da USLE não fornece informação da variabilidade temporal e espacial da erosão durante uma chuva. Porém, isso não quer dizer que modelos empíricos como a USLE não tenham valor, pelo contrário, projetos práticos ainda serão por muito tempo baseados nesses modelos empíricos até que o processo físico da erosão seja bem entendido (PEREIRA, 2000).

Subseqüentemente à publicação do “Agriculture Handbook 537” (WISHMEIER e SMITH, 1978), novas pesquisas e experiências continuaram sendo realizadas no intuito de

melhorar as estimativas das perdas de solo pela utilização da USLE, e após uma grande revisão destas pesquisas, foi desenvolvido um novo modelo de predição da erosão denominado Equação Universal de Perdas de Solo Revisada - RUSLE (RENARD et al., 1993). Na RUSLE manteve-se a mesma estrutura da equação da USLE, no entanto, as formas de determinação dos fatores mudaram expressivamente. Além disto, devido à complexidade das equações usadas para quantificar os fatores da equação principal, foi desenvolvido um programa computacional para facilitar a estimativa da perda de solo (AMORIM, 2004).

Este mesmo autor citado no parágrafo anterior relata que diante das limitações dos modelos de base empírica, buscou-se um modelo alternativo para estimar as perdas de solo baseado nos fundamentos dos processos de erosão e hidrológicos que regem o desprendimento, o transporte e a deposição das partículas de solo. Essa modelagem foi iniciada na metade da década de 1980, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) iniciou o “Water Erosion Prediction Project” – WEPP, visando desenvolver uma nova geração de modelos para predição da erosão hídrica.

Apesar de haver interesse crescente nos processos físicos envolvidos na erosão do solo, é importante ressaltar que o nível de conhecimento atual ainda é deficiente. Nos melhores modelos de predição da erosão, como ANSWERS (BEASLEY e HUGGINS, 1981), KYERMO (HIRSCHI e BARFIEL, 1988) e WEPP (“UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL” – USDA, 1995), as equações utilizadas para quantificar alguns componentes, como desprendimento e capacidade de transporte do solo, são ainda obtidos de forma empírica (AMORIM, 2004).

#### **2.2.4 Estudos de erosão hídrica na província petrolífera de Urucu**

SOUZA JUNIOR (1991), embora não tenha trabalhado especificamente com erosão hídrica, descreve de forma detalhada o conjunto de impactos associados às etapas de prospecção, produção e transporte de petróleo e gás na região de Urucu. Este autor relata que a erosão é um dos impactos relacionados às etapas relatadas anteriormente e que este impacto vai se intensificando, principalmente numa clareira que passa da prospecção para a perfuração e produção. Pois na perfuração e na produção, as clareiras passam a ser maiores com o uso intenso de maquinários pesados (caminhões, tratores e motoniveladoras) e uma maior permanência na área. Além destes ainda ocorre a implantação de toda infra-estrutura logística (instalações operacionais, estradas, aeroporto, dutos). Na etapa de transporte, destaca-se o aumento da susceptibilidade à erosão nas áreas de dutos e ao longo das estradas não planejadas ou degradadas e que o não acompanhamento e vistoria destes podem levar a severo assoreamento de igarapés.

Os estudos de erosão hídrica na base de Urucu são relativamente restritos, sobretudo no que se refere à sua quantificação (Tabela 5). Especificamente na área de pesquisa em erosão, cinco trabalhos já foram realizados, sendo dois de caráter qualitativo (identifica a ocorrência, classifica o tipo e grau e recomenda técnicas de prevenção e recuperação) e três de caráter quantitativo, ou seja, procura estimar perda de solo em parcelas ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ), determinar parâmetros como erodibilidade do solo, erosividade das chuvas, e transporte de sedimento no rio Urucu e tributários (igarapés).

**Tabela 5** – Relação de trabalhos sobre erosão hídrica na Província Petrolífera de Urucu.

| <b>Título</b>   | <b>Natureza</b> | <b>Ano</b> | <b>Autores</b>  |
|---|-----------------|------------|-----------------|
| Estudo dos processos erosivos e dos movimentos de massa na BOGPM* com vistas à recuperação das áreas degradadas                                     | Qualitativo     | 2005a      | PETROBRAS       |
| Mapeamento e inspeção geológico-geotécnico da Província de Urucu  | Qualitativo     | 2005b      | PETROBRAS       |
| Análise de sensibilidade ambiental, modelagem e previsão de impactos  | Quantitativo    | 2004       | FORSBERG et al. |
| Estimativa dos processos erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura   | Quantitativo    | 2004       | ARRUDA et al.   |
| Processos erosivos na BOGPM*: a presença de “ <i>demoiseles</i> ” e a relação com a intensidade de erosividade das chuvas e erodibilidade dos solos | Quantitativo    | 2004       | TEIXEIRA et al. |

\*BOGPM – Base de Operações Geólogo Pedro de Moura.

O trabalho desenvolvido pela PETROBRAS (2005a) teve como um dos objetivos realizar a avaliação de risco geológico-geotécnico nas faixas de dutos da Província Petrolífera de Urucu. Onde se concluiu que grande maioria dos pontos classificados como de risco severo referem-se a travessias aéreas dos dutos em talvegues de drenagem e de igarapés e que a faixa de duto mais complicada é a faixa que possui diversas travessias de drenagem na estrada.

Outro trabalho de natureza qualitativa desenvolvido pela PETROBRAS (2005b), neste mesmo ano, resultou na detecção dos pontos de ocorrência de erosão em sulcos e em voçorocas, tais como, portos, acostamento de estradas, taludes, linhas de drenagem e manilhas de drenagem em estradas. Além destes resultados, foram recomendadas o uso de medidas de controle da erosão, como por exemplo, hidrossemeadura, cobertura de solo, aterramento e colocação de troncos e galhos em voçorocas e ravinamentos, instalação de redutores de velocidade de fluxo em canais e direcionamento de fluxo.

Segundo FORSBERG et al. (2004), se a avaliação do impacto da erosão se restringir somente ao Rio Urucu, a conclusão será que não há impacto, uma vez que a concentração de sedimentos em suspensão (TSS) a jusante e a montante do Rio Urucu são praticamente idênticas. No entanto, avaliando a TSS nos igarapés que drenam ao longo da Província, constata-se que ocorre diferenciação. Assim, os igarapés de maior porcentagem de antropização, ou seja, com maior porcentagem de área construída, estradas e clareiras, apresentam maiores TSS e, conseqüentemente, assoreamento. Embora a base cartográfica utilizada nas análises tenha limitações de escala, o trabalho ressalta que a porcentagem de clareira e área construída tem correlação significativa com a TSS, sendo, portanto, mais impactantes no assoreamento dos igarapés. Por fim, os resultados do trabalho confirmam a hipótese de que os sedimentos erodidos tendem a ser depositados ao longo da planície de inundação antes de chegar ao Rio Urucu.

Os resultados obtidos por ARRUDA et al. (2004) utilizando o método dos pinos ao longo de toda a Província Petrolífera de Urucu em 30 parcelas experimentais, variando solos, cobertura e tempo de revegetação, confirmam a elevada taxa de erosão na base, uma vez que 93% das parcelas apresentaram taxa de erosão superior aos limites de tolerância estabelecidos pela FAO (1967), ou seja,  $12,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , para solos profundos, permeáveis e bem drenados. Confirmou-se também que as parcelas com menor cobertura vegetal apresentaram as maiores

perdas, com destaque para aquelas com o solo exposto. A menor perda foi observada na parcela coberta por gramínea. Embora, durante o desenvolvimento do trabalho, não estivesse disponível o mapa detalhado de solos da Província, os autores concluem que as parcelas com solos mais siltosos e arenosos são os que apresentaram maior perda de solo, comportamento esperado uma vez que as partículas de silte e areia conferem maior erodibilidade aos solos, e que áreas revegetadas com cerca de 10 anos apresentaram maiores teores de carbono e similares ao de mata, menor densidade do solo, maior porosidade e infiltração.

No mesmo trabalho relatado no parágrafo anterior, ARRUDA et al. (2004) também concluíram que a estimativa da erosão na Província Petrolífera de Urucu pela USLE tendeu a superestimar a erosão em relação aos dados de campo, provavelmente devido às adaptações de índices de erodibilidade do solo (K), de uso e manejo (C) e de práticas conservacionistas (P) da equação.

Em relação à erosividade das chuvas na região da Província, dois trabalhos já foram realizados, mostrando valores de erosividade na ordem de  $10.326,72 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (PETROBRAS, 2005b). TEIXEIRA et al. (2004) relatam que o período de maior erosividade, portanto o mais crítico, é concentrado entre os meses de novembro a maio, chegando a  $9,63 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , no mês de Abril, e recomendam evitar algumas atividades que exponham o solo na Província durante este período. Em agosto, este valor cai para  $6,09 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{h}^{-1}$ .

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Experimento de Campo

Os experimentos de campo foram executados com o simulador de chuva portátil, ou infiltrômetro de aspersão, denominado InfiAsper/UFMS (Figura 8 e Anexo A), desenvolvido por ALVES SOBRINHO (1997). Esse equipamento foi escolhido pela facilidade de operação no campo.



**Figura 8** – Vista geral do InfiAsper/UFMS. Fonte: PANACHUKI (2003).

Os testes com o simulador de chuva foram efetuados na floresta e em áreas gramadas (Figura 9), tais como faixas de servidão de estradas e acessos rodoviários, além de áreas adjacentes a alojamentos, portos e bases de poço da Província Petrolífera de Urucu (PPU). Para a definição da terceira cobertura, optou-se em retirar a serrapilheira nas parcelas da floresta. A retirada da serrapilheira em alguns locais nas florestas, para posterior aplicação ao redor das mudas plantadas nas áreas degradadas remotas, é uma das principais práticas de recuperação utilizada pela PPU.

Os dados dos experimentos permitiram quantificar a erosão hídrica, através da perda de solo e do escoamento superficial, sob diferentes grupos de solos e coberturas vegetais.

Ao todo foram efetuadas 16 baterias de testes com simulador de chuva, representando diferentes perfis de solo, mas neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos em quatro perfis pertencentes aos quatro grupos mais representativos da PPU (Tabela 6). Estes grupos de solo representam 73,5% da área da Província (PETROBRAS, 2010). Segue em Anexo, a visão geral da área de teste das 16 baterias, indicando com as letras 'A e B', as parcelas dentro da floresta e 'F', os testes na área de gramínea.



(a)

(b)

**Figura 9** - Simulador de chuva realizando testes na área gramada (a) e na floresta (b)

**Tabela 6** – Baterias de testes com seus respectivos perfis e classificação dos grupos de solos.

| Bateria | Perfil | Grupo do solo                              |
|---------|--------|--|
| B04     | P048   |  |
| B25     | P093   | ARGISSOLO AMARELO Alítico (PAal)           |
| B35     | P116   |  |
| B41     | P183   |  |
| B12     | P166   |  |
| B27     | P100   | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico (PVAal) |
| B37     | P177   |  |
| B46     | P137   |  |
| B13     | P169   |  |
| B16     | P072   | CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico (CXal)          |
| B43     | P152   |  |
| B47     | P118   |  |
| B02     | P055   |  |
| B11     | P050   | CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (CXbd)    |
| B17     | P078   |  |
| B30     | P182   |  |

Em cada bateria foram executados vários testes contemplando as três coberturas selecionadas (floresta, floresta sem serrapilheira e gramínea). Considerando as 16 baterias, foram planejadas 48 parcelas ou combinações de tipo de solo e cobertura para a execução dos testes com três repetições por parcela, totalizando 144 testes.

De acordo com as estimativas apresentadas, em cada parcela, as áreas de teste tiveram dimensões mínimas que permitiram pelo menos três testes com o simulador de chuva, compondo assim as 3 repetições. Foram realizadas em cada teste, determinações para avaliação de perda de solo e escoamento superficial de água, seguindo o delineamento amostral estratificado, com amostragem probabilística.

Considerando a necessidade de deslocamento do simulador de chuva, ajuste do sistema para os testes e coleta de sedimento e água durante o teste, foram utilizados dois simuladores, com um rendimento médio, em cada simulador, de 2 testes por dia. Assim, foram executados 4 testes por dia, sendo necessárias 2,5 campanhas de campo com 15 dias de trabalho cada para cobrir todos os perfis de solo dos grupos estudados.

Logo após a realização dos testes, as amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório de mecânica do solo da Província Petrolífera de Urucu, em frascos vedados, a fim de se realizar a quantificação da massa de sedimento e do volume de água escorrido, no qual, as amostras foram colocadas em becker de um litro e lhes foram acrescentadas 10 mL de sulfato de alumínio (1 N) para floculação do material sólido em suspensão; em seguida, o excesso de água era retirado e o volume quantificado e registrado.

As amostras de material sólido obtidas foram então colocadas em estufa, a temperatura de 60° C, por período de tempo necessário à completa evaporação da água contida nas mesmas. A água retida nas amostras foi determinada e o valor obtido foi acrescido ao volume de água inicialmente registrado. A massa do material sólido foi obtida por pesagem, conforme EMBRAPA (1997).

A lâmina de escoamento superficial foi calculada pela relação entre o volume de água escoado e a área de 0,70 m<sup>2</sup> da parcela teste que recebe a precipitação.

A declividade local do terreno, o carbono orgânico da camada superficial e algumas propriedades físicas do solo, tais como densidade e textura, foram compilados do mapa detalhado de solos da Província (PETROBRAS, 2010). Estas foram escolhidas, segundo alguns trabalhos anteriores, por influenciar o escoamento superficial e a perda de solo.

As áreas gramadas sofreram intensa movimentação de terra, incluindo atividades de raspagem das camadas superficiais, compactação do solo e deposição de material de empréstimo. Portanto se fez necessário a coleta de amostra indeformadas de solo das parcelas experimentais, para análises físicas da nova densidade do solo, de acordo com os critérios estabelecidos em EMBRAPA (1997).

Para avaliar o efeito dos tratamentos (grupo de solo e cobertura) sobre o escoamento superficial e perda de solo foram feitos uma análise de variância (ANOVA) dos dados obtidos, com posterior aplicação do Teste de Tukey a 5%, para comparação de médias. Além disto, foi calculado o coeficiente de correlação para os atributos físicos e químicos do solo, ambientais do terreno, escoamento superficial e perda de solo. Utilizou-se o programa “Statistical Analysis Software” (SAS) para as análises estatísticas descritas anteriormente. Na avaliação do efeito de diferentes grupos de solo, utilizaram-se apenas os dados obtidos na floresta sem serrapilheira, pois se acredita que tanto a serrapilheira quanto solo decapitado e compactado pudesse influenciar nesta análise.

### **3.2. Procedimento dos Testes**

No início do teste, as parcelas receberam um pré-molhamento 24 horas antes do teste com o simulador de chuvas com o objetivo de oferecer condições de umidade mais uniformes a todas as parcelas. Para isso, utilizou-se 8 gotejadores (vazão de 4 L.min<sup>-1</sup>) dispostos em uma mangueira montada com formato circular de 0,70 m de diâmetro, conectada a um depósito com água. O tempo de molhamento foi o suficiente para saturar o solo, sem ocorrer escoamento superficial.

A área da parcela experimental, que recebe a precipitação, é contornada por um dispositivo de formato retangular de 0,70 m de largura por 1,00 m de comprimento, totalizando 0,70 m<sup>2</sup> de área útil, construído de chapas de aço galvanizadas (Figura 10), para permitir a obtenção do volume de água escoado superficialmente.



**Figura 10** – Chapa galvanizada onde se coleta o volume escoado

O simulador foi regulado para atingir intensidade média de 70 mm.h<sup>-1</sup>, valor obtido a partir das equações de chuva intensa (equação 1) apresentadas por DENARDIN & FREITAS (1982) para a cidade de Manaus, considerando o tempo de retorno (T) de 30 anos, período comum para obras de conservação de solo, e tempo de duração da chuva (t) de 60 minutos.

$$I = \frac{(1.387,98.T^{0,10})}{(t + 12)^{0,78}} \quad (1)$$

Devido à falta de dados para o padrão da chuva no município de Coari e a dificuldade de modificação da intensidade no equipamento, assumiu-se que esta seria constante.

Os simuladores foram equipados com bicos Veejet 80.150 posicionados a 2,30 m de altura em relação ao solo e operavam com uma pressão de 35,6 kPa (5 PSI), permitindo a aplicação de chuvas cujas gotas apresentavam diâmetro médio volumétrico de 2,0 mm.

### 3.3. Procedimentos de Campo com o Simulador de Chuva

Após a instalação e o acionamento do simulador de chuva foi iniciada a coleta de amostras do volume escoado na parcela teste, usando frascos com capacidade para um litro. A coleta da primeira amostra ocorreu ao iniciar o escoamento de água na calha coletora. Quando foi coletado e medido o volume a intervalos de 2 minutos, durante uma hora. Destas amostras, uma a cada três, ou seja, a cada 6 minutos, era separado o recipiente com o volume coletado para posterior determinação da massa de solo e a concentração de sedimento em laboratório. Estes valores estão descritos na planilha de dados dos experimentos com simulador (Anexo S). Estimou-se tanto o volume do escoamento superficial quanto a perda de solo na parcela nos momentos em que não ocorreram coletas, possibilitando assim a totalização destes dados.

Durante o período de operação do simulador, a pressão de serviço dos bicos foi monitorada a fim de evitar variações na intensidade de precipitação inicialmente ajustada. E, ao final de cada teste na parcela experimental, efetuou-se a verificação da intensidade de precipitação real aplicada pelo simulador, medindo-se o volume coletado, pelo menos duas vezes com a bandeja de calibração, que possui a mesma área da parcela.

Quando as condições climáticas eram de ventos fortes e/ou precipitação durante os testes foi afixada uma lona em torno da estrutura inferior do equipamento.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeito do Grupo de Solo sobre o Escoamento e a Perda de Solo

Trabalhos na literatura, tais como, GUERRA & BOTELHO (1998) relataram que a susceptibilidade a erosão hídrica ou a erodibilidade, expressa pelo escoamento e pela perda de solo, é maior ou menor em algumas classes de solo. Esses autores observaram que as ordens de solo estudadas nesta dissertação (Argissolo e Cambissolo) possuem susceptibilidade a erosão variável com as condições do terreno e/ou atributos do solo.

A Tabela 7 apresenta os valores de escoamento superficial e perda do solo, além dos seus respectivos coeficientes de variação (CV), nos quatro grupos de solo mais representativos da Província Petrolífera de Urucu. A classe dos ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Alíticos (PVAal) foi a que apresentou os maiores valores, tanto de escoamento superficial quanto de perda de solo. Porém, no ARGISSOLO AMARELO Alítico os valores foram os menores.

Para a ordem dos Cambissolos, o CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (CXbd) possui valor maior que o CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico (CXal) para o escoamento, ocorrendo o inverso na perda de solo. Apesar dos valores de lâmina escoada e massa de solo perdido do PAal serem no mínimo duas vezes menores que os outros grupos de solo, os grupos não diferiram significativamente entre si ao nível de 5%, pelo teste de Tukey. Uma das possíveis explicações para o relatado é que todos os CV ultrapassaram ou ficaram bem próximo de 30%, valor considerado muito alto segundo GOMES (1985).

**Tabela 7** – Valores de escoamento superficial e perda de solo em diferentes grupos de solo\*

| Grupo de solo | Escoamento superficial |                              | Perda de solo                           |                              |
|---------------|------------------------|------------------------------|---|------------------------------|
|               | Valores absolutos (mm) | Coefficiente de variação (%) | Valores absolutos (t.ha <sup>-1</sup> ) | Coefficiente de variação (%) |
| CXbd          | 14,69 <sup>a</sup>     | 88,3                         | 0,068a                                  | 55,7                         |
| CXal          | 13,52 <sup>a</sup>     | 97,5                         | 0,080a                                  | 29,9                         |
| PVAal         | 23,14 <sup>a</sup>     | 59,8                         | 0,123a                                  | 118,4                        |
| PAal          | 5,48 <sup>a</sup>      | 150,7                        | 0,029a                                  | 49,1                         |

\* médias dos dados dos quatro perfis de solo sob floresta sem serrapilheira

A Tabela 8 demonstra a variação de alguns dos principais atributos do solo e propriedades do terreno nos perfis estudados do grupo PAal. Esta variação pode ser a fonte do elevado coeficiente de variação descrito no parágrafo anterior. Variações parecidas ocorrem em outros grupos de solo, as quais refletem a grande dificuldade de desenvolver testes com simulador de chuva sob condições iguais de solos e atributos do terreno.

Como os coeficientes de variação foram muito altos e os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se pela transformação dos valores de escoamento superficial e perda do solo, conforme descrito na Tabela 9.

Apesar dos CV diminuírem com a transformação dos valores para a escala logarítmica, os grupos de solo continuam não se diferenciando significativamente entre si ao nível de 5%, segundo o teste de Tukey. Esta hipótese foi aceita, pois tanto o escoamento quanto a perda de solo são fenômenos erráticos em solos florestais. Nesses solos, é comum que situações como presença de raízes arbóreas vivas ou mortas e da fauna do solo, como por exemplo, térmitas

de cupins, favorecerem em alguns pontos a formação de canais ao longo do perfil do solo, aumentando a infiltração de água e assim diminuindo o escoamento e a perda de solo.

**Tabela 8** – Principais características dos perfis de solo do grupo PAal.

| Perfil de solo | Situação topográfica      | Declividade    | Drenagem                | Carbono orgânico (%) | Densidade do solo (kg.dm <sup>-3</sup> ) |
|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------|----------------------|--|
| P048           | Topo de elevação          | Plana          | Moderadamente drenado   | 17,4                 | 0,96                                     |
| P093           | Terço inferior de encosta | Suave ondulada | Imperfeitamente drenado | 11,7                 | 0,97                                     |
| P116           | Baixada                   | Suave ondulada | Imperfeitamente drenado | 31,6                 | 0,60                                     |
| P183           | Terço superior de encosta | Ondulada       | Moderadamente drenado   | 7,8                  | 1,20                                     |

**Tabela 9** – Valores transformados de escoamento superficial e perda de solo em diferentes grupos de solo\*

| Grupo de solo | Escoamento superficial** (mL) | Coefficiente de variação do escoamento (%) | Perda de solo** (kg.ha <sup>-1</sup> ) | Coefficiente de variação da perda (%) |
|---------------|-------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| CXbd          | 4,00a                         | 11,9                                       | 1,8a                                   | 14,5                                  |
| CXal          | 3,79 <sup>a</sup>             | 21,8                                       | 1,9a                                   | 7,1                                   |
| PVAal         | 4,30 <sup>a</sup>             | 6,3  | 1,9a                                   | 26,7                                  |
| PAal          | 3,30 <sup>a</sup>             | 23,4                                       | 1,4a                                   | 17,8                                  |

\* médias dos dados dos quatro perfis de solo sob floresta sem serrapilheira.

\*\* dados transformados para log 10.

Na Tabela 10, são apresentados os valores das probabilidades e os coeficientes de correlação para os atributos do solo, declividade do terreno, escoamento superficial e perda, considerando os quatro grupos de solo. Considerou-se como correlações importantes, as que tivessem probabilidade menor ou igual que 0,05, ou seja, 5%. Segundo essa tabela, para a perda de solo, os atributos físicos e químicos do solo, que tem maior importância para os grupos de solos estudados são a porcentagem de carbono orgânico, a densidade do solo e o escoamento superficial. Os mesmos atributos para a perda também influenciam o escoamento, porém esse ainda se relacionou com outros parâmetros físicos, tais como, areia fina e argila. Foi observado que o escoamento superficial é o atributo de maior coeficiente de correlação em relação a perda do solo, superando a correlação com os atributos carbono orgânico e densidade do solo. Porém, em relação ao escoamento, o atributo com maior coeficiente é a densidade do solo, seguida pelo carbono orgânico e argila e, por último, a areia fina.

Ainda analisando a Tabela 10, conclui-se que quanto mais areia grossa, menos argila e, principalmente, mais carbono orgânico na superfície, menos denso será esse solo nas camadas superficiais, conseqüentemente, terá um menor escoamento superficial, pois a água conseguirá infiltrar com maior facilidade. Outra correlação obtida na tabela foi que menos água escoada acarretará numa perda menor de solo. O carbono orgânico, além de influenciar o escoamento, também influencia diretamente na perda de solo, pois é responsável pelo aumento da resistência do solo contrariando a força aplicada pela água escoada.

A correlação e o comportamento entre os atributos podem ser diferentes entre os diversos grupos de solo estudados. Isto ocorre principalmente, na baixa correlação entre o escoamento superficial e a perda de solo no PVAal, conforme a Tabela 11.

**Tabela 10** – Coeficiente de correlação (r) para os atributos do solo, declividade do terreno, escoamento e perda para todos os grupos de solo.

|                        | Declividade do terreno           | Areia grossa                     | Areia fina                   | Silte                        | Argila                          | Carbono orgânico                 | Densidade do solo                      | Escoamento superficial             | Perda de solo |
|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|---------------|
| Declividade do terreno | 1                                |                                  |                              |                              |                                 |                                  |  |                                    |               |
| Areia grossa           | 0,5882<br>( <b>&lt;0,0001</b> )  | 1                                |                              |                              |                                 |                                  |  |                                    |               |
| Areia fina             | 0,3476<br>( <b>0,0224</b> )      | 0,1243<br>(0,4272)               | 1                            |                              |                                 |                                  |  |                                    |               |
| Silte                  | -0,6401<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | -0,7066<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | -0,4864<br>( <b>0,0009</b> ) | 1                            |                                 |                                  |  |                                    |               |
| Argila                 | 0,1973<br>(0,2047)               | 0,2476<br>(0,1094)               | -0,4013<br>( <b>0,0076</b> ) | -0,5039<br>( <b>0,0006</b> ) | 1                               |                                  |  |                                    |               |
| Carbono orgânico       | -0,1588<br>(0,3092)              | 0,3802<br>( <b>0,0119</b> )      | -0,0017<br>(0,9913)          | -0,1896<br>(0,2234)          | -0,5381<br>( <b>0,0002</b> )    | 1                                |  |                                    |               |
| Densidade do solo      | 0,1152<br>(0,4620)               | -0,3016<br>( <b>0,0494</b> )     | -1,1991<br>(0,2005)          | -0,1122<br>(0,4739)          | 0,5842<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | -0,8472<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | 1                                      |                                    |               |
| Escoamento superficial | 0,0973<br>(0,5348)               | -0,2089<br>(0,1788)              | -0,3044<br>( <b>0,0471</b> ) | -0,1205<br>(0,4415)          | 0,6377<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | -0,6934<br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | <b>0,8526</b><br>( <b>&lt;0,0001</b> ) | 1                                  |               |
| Perda de solo          | 0,1340<br>(0,3913)               | -0,1149<br>(0,4631)              | -0,0664<br>(0,6724)          | -0,0817<br>(0,6025)          | 0,2705<br>(0,0793)              | -0,3485<br>( <b>0,0220</b> )     | 0,3706<br>( <b>0,0144</b> )            | <b>0,4460</b><br>( <b>0,0027</b> ) | 1             |

**Tabela 11** – Coeficiente de correlação (r) para os atributos do solo, declividade do terreno, escoamento e perda para PVAal.

|                        | Declividade e do terreno | Areia grossa               | Areia fina                 | Silte               | Argila                    | Carbono orgânico               | Densidade do solo             | Escoamento superficial | Perda de solo |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------|
| Declividade do terreno | 1                        |                            |                            |                     |                           |                                |                               |                        |               |
| Areia grossa           | 0,5588<br>(0,0589)       | 1                          |                            |                     |                           |                                |                               |                        |               |
| Areia fina             | -0,5459<br>(0,0664)      | -0,2162<br>(0,4996)        | 1                          |                     |                           |                                |                               |                        |               |
| Silte                  | -0,1725<br>(0,5918)      | -0,6877<br><b>(0,0135)</b> | -0,2246<br>(0,4828)        | 1                   |                           |                                |                               |                        |               |
| Argila                 | 0,4069<br>(0,1893)       | 0,2325<br>(0,4670)         | -0,7749<br><b>(0,0031)</b> | -0,2640<br>(0,4069) | 1                         |                                |                               |                        |               |
| Carbono orgânico       | 0,1331<br>(0,6800)       | 0,6821<br><b>(0,0145)</b>  | 0,2165<br>(0,4990)         | -0,3186<br>(0,3129) | -0,4167<br>(0,1778)       | 1                              |                               |                        |               |
| Densidade do solo      | -0,0318<br>(0,9219)      | -0,5681<br>(0,0539)        | -0,3048<br>(0,3353)        | 0,1951<br>(0,5434)  | 0,5628<br>(0,0568)        | -0,9516<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                             |                        |               |
| Escoamento superficial | -0,0385<br>(0,9053)      | -0,4275<br>(0,1657)        | -0,3950<br>(0,2037)        | 0,1202<br>(0,7098)  | 0,6426<br><b>(0,0242)</b> | -0,8258<br><b>(0,0009)</b>     | 0,9255<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                      |               |
| Perda de solo          | -0,4484<br>(0,1437)      | -0,3994<br>(0,1983)        | -0,1093<br>(0,7353)        | 0,3058<br>(0,3338)  | 0,1022<br>(0,7518)        | -0,4099<br>(0,1856)            | 0,3232<br>(0,3055)            | 0,3654<br>(0,2427)     | 1             |

## 4.2. Efeito do Tipo de Cobertura sobre o Escoamento e a Perda de Solo

A Tabela 12 apresenta os valores de escoamento superficial e perda do solo, além dos respectivos coeficientes de variação (CV) para os tipos de cobertura estudados. Analisando esta tabela, pode-se constatar que tanto o ES quanto a PS seguem a mesma sequência para áreas com os tipos de cobertura estudados (Gramínea > floresta sem serrapilheira > floresta com serrapilheira). A conversão das áreas de floresta em gramínea aumenta, no mínimo, quatro vezes a lâmina de água escoada e, no mínimo, duas vezes a massa de solo perdida. Considerando que a lâmina precipitada foi de 70 mm, a maior parte desta (82,4%) não infiltrou no solo das áreas gramadas, enquanto que nas áreas de floresta onde não foi retirada a cobertura do solo, 90,7% infiltrou.

Observando a Tabela 12, é possível notar a importância da serrapilheira na erosão provocada pela chuva, principalmente no escoamento superficial. Pois quando se retirou esta cobertura, os valores do escoamento dobraram, enquanto que a perda aumentou em 40%. Mesmo a água escoada das áreas de floresta é problemática, pois esta pode adquirir um fluxo concentrado em conjunto com lâmina de água de áreas próximas, provocando um arreste de sedimento maior do que o observado nos experimentos.

Apesar dos valores de massa de solo perdido da área de gramínea serem maior que o dobro em relação às áreas de floresta, os tipos de cobertura não diferiram significativamente entre si ao nível de 5%, segundo o teste de Tukey. Isto pode ser explicado devido aos elevados coeficientes de variação encontrados. Em relação ao escoamento, a área gramada possui o mais baixo CV, facilitando assim a sua diferenciação com as coberturas de floresta, quando aplicado o teste de média.

**Tabela 12** – Escoamento superficial e perda de solo em diferentes tipos de coberturas\*

| Tipo de cobertura          | Escoamento superficial |                              | Perda de solo                           |                              |
|----------------------------|------------------------|------------------------------|---|------------------------------|
|                            | Valores absolutos (mm) | Coefficiente de variação (%) | Valores absolutos (t.ha <sup>-1</sup> ) | Coefficiente de variação (%) |
| Floresta com serrapilheira | 6,5 <sup>a</sup>       | 108,1                        | 0,05a                                   | 99,6                         |
| Floresta sem serrapilheira | 14,2 <sup>a</sup>      | 89,6                         | 0,07a                                   | 101,9                        |
| Gramínea                   | 57,7b                  | 17,7                         | 0,16a                                   | 88,6                         |

\*média das 16 repetições

Similar ao que ocorreu com os valores de escoamento superficial e perda de solo em relação aos grupos de solo, os coeficientes de variação foram muito altos e os dados não apresentaram distribuição normal, optou-se também pela transformação destes valores, conforme descrito na Tabela 13.

Os coeficientes de variação diminuíram com a transformação dos valores para a escala logarítmica, entretanto os valores de perda de solo continuam não se diferenciando significativamente entre si ao nível de 5%, segundo o teste de Tukey. Diante deste fato, a PS foi menos influenciada pelo emprego dos diferentes tipos de cobertura que o ES.

**Tabela 13** – Valores transformados do escoamento superficial e perda de solo em diferentes tipos de coberturas\*

| <b>Tipo de cobertura</b>   | <b>Escoamento superficial** (mL)</b> | <b>Coefficiente de variação do escoamento (%)</b> | <b>Perda de solo** (kg.ha<sup>-1</sup>)</b> | <b>Coefficiente de variação da perda (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Floresta com serrapilheira | 3,47b                                | 17,4  | 1,53a                                       | 23,4   |
| Floresta sem serrapilheira | 3,85b                                | 17,6  | 1,74a                                       | 19,7   |
| Gramínea                   | 4,75 <sup>a</sup>                    | 1,8   | 2,11a                                       | 13,5   |

\*média das 16 repetições

\*\* dados transformados para log 10

Levando-se em conta que na província chove uma média de 223 dias por ano e que esta dure pelo menos 1 hora por dia, apenas os valores de perda de solo encontrados nesta dissertação para as áreas florestais (11,15 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) estão próximos do limite tolerável pela FAO (1967), que é de 12 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para solos profundos, permeáveis e bem drenados. Estes valores não devem ser considerados isoladamente, pois foram obtidos em condições climáticas diferentes do bioma amazônico. Além disso, a drenagem dos perfis de solo estudados varia de bem drenado a imperfeitamente drenado.

Entretanto, os valores de solo perdido observado nas áreas gramadas são dez vezes menores que os encontrados ao longo das faixas de servidão em experimentos com simulador de chuva nas regiões sul e nordeste da Espanha. Estes experimentos foram feitos em áreas com mais de 40% de declividade e solo parcialmente coberto, o que difere das áreas estudadas na província. Utilizando este mesmo método de determinação da erosão, INÁCIO et al. (2005) em experimentos com o bioma mata atlântica, no Sul da Bahia, encontraram valores bem parecidos sob floresta com ou sem serrapilheira. Os valores foram 0,05 e 0,61 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Comparando-se os valores obtidos de escoamento e perda de solo do simulador de chuva com outro método de determinação da erosão, utilizado anteriormente na Província Petrolífera de Urucu, constata-se que os dados com o simulador encontraram-se dentro da faixa obtida por ARRRUDA (2004) com o método dos pinos de erosão, que variaram de 3,02 a 258,30 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Na Tabela 14, são apresentados os valores das probabilidades e os coeficientes de correlação para os atributos do solo, declividade do terreno, escoamento superficial e perda, considerando os tipos de cobertura estudados. Considerou-se como correlações importantes, as que tivessem probabilidade maior que 0,05, ou seja, 5%.

A maioria dos atributos que tiveram mais importância tanto para o escoamento superficial quanto para perda de solo nos grupos de solo também foram às mesmas para os tipos de cobertura. As diferenças ocorrem na inclusão da argila para a perda e a areia grossa para o escoamento (Tabela 14).

Similar ao que ocorreu com os grupos de solo, foi possível também observar que o escoamento superficial é o atributo com maior coeficiente de correlação em relação a perda do solo, superando a correlação com os atributos carbono orgânico, densidade do solo e argila. Porém, em relação ao escoamento, o atributo que possui maior coeficiente é a densidade do solo, seguida pelo carbono orgânico, argila, areia fina e, por último, a areia grossa (Tabela 14).



**Tabela 14** – Coeficiente de correlação (r) para os atributos do solo, declividade do terreno, escoamento e perda para todos os tipos de cobertura

|                        | Declividade do terreno     | Areia grossa                   | Areia fina                     | Silte                      | Argila                         | Carbono orgânico               | Densidade do solo             | Escoamento superficial    | Perda de solo |
|------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| Declividade do terreno | 1                          |                                |                                |                            |                                |                                |                               |                           |               |
| Areia grossa           | 0,3048<br><b>(0,0296)</b>  | 1                              |                                |                            |                                |                                |                               |                           |               |
| Areia fina             | 0,0780<br><b>(0,5864)</b>  | 0,2445<br><b>(0,0838)</b>      | 1                              |                            |                                |                                |                               |                           |               |
| Silte                  | -0,3550<br><b>(0,0106)</b> | -0,7098<br><b>(&lt;0,0001)</b> | -0,5265<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                          |                                |                                |                               |                           |               |
| Argila                 | 0,2187<br><b>(0,1232)</b>  | 0,0858<br><b>(0,5495)</b>      | -0,4999<br><b>(0,0002)</b>     | -0,3711<br><b>(0,0073)</b> | 1                              |                                |                               |                           |               |
| Carbono orgânico       | -0,0913<br><b>(0,5242)</b> | 0,3941<br><b>(0,0042)</b>      | 0,0279<br><b>(0,8454)</b>      | 0,1762<br><b>(0,2162)</b>  | -0,5288<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                              |                               |                           |               |
| Densidade do solo      | 0,0758<br><b>(0,5970)</b>  | -0,3526<br><b>(0,0111)</b>     | -0,2111<br><b>(0,1370)</b>     | -0,0154<br><b>(0,9147)</b> | 0,4797<br><b>(0,0004)</b>      | -0,7629<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                             |                           |               |
| Escoamento superficial | 0,0355<br><b>(0,8044)</b>  | -0,2857<br><b>(0,0421)</b>     | -0,3371<br><b>(0,0156)</b>     | -0,0626<br><b>(0,6625)</b> | 0,6334<br><b>(&lt;0,0001)</b>  | -0,6969<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 0,8251<br><b>(&lt;0,0001)</b> | 1                         |               |
| Perda de solo          | 0,1210<br><b>(0,3976)</b>  | -0,1665<br><b>(0,2428)</b>     | -0,1110<br><b>(0,4379)</b>     | 0,0829<br><b>(0,5630)</b>  | 0,3476<br><b>(0,0124)</b>      | -0,3830<br><b>(0,0055)</b>     | 0,4421<br><b>(0,0012)</b>     | 0,4726<br><b>(0,0005)</b> | 1             |

## 5. CONCLUSÕES

A partir da quantificação dos dados, pode-se concluir que:

- a) Os valores de escoamento superficial e perda de solo dos grupos de solo não se diferiram significativamente entre si. No entanto, ficou clara a diferença entre valores. Assim, observam-se maiores perdas e escoamento para ARGISSOLOS VERMELHOS-AMARELOS Alíticos ( $0,123\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  e  $23,14\text{mm}$ , respectivamente) e menores para ARGISSOLOS AMARELOS Alíticos;
- b) As áreas cobertas por gramíneas apenas diferiram significativamente das áreas de florestas em relação ao escoamento superficial;
- c) A conversão das áreas de floresta em gramínea aumenta, no mínimo, quatro vezes a lâmina de água escoada, passando de  $14,2$  para  $57,7\text{mm}$  e, no mínimo, duas vezes a massa de solo perdida, variando de  $0,07$  a  $0,16\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ;
- d) Quando se retira a serrapilheira em solos florestais, os valores de escoamento dobram, passando de  $6,5$  para  $14,2\text{mm}$ , enquanto que as perdas aumentam em  $40\%$ , variando de  $0,05$  para  $0,07\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; e
- e) Dos atributos estudados, o escoamento superficial é o de maior correlação com a perda. Para o escoamento, a densidade do solo tem o maior coeficiente de correlação. O carbono orgânico e a densidade também têm alta correlação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGASSI, M.; BRADFORD, J.M. Methodologies for interrill soil erosion studies. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia; v. 49, p. 277-287, 1999.
- ALMEIDA, F. F. M. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 6. Campina Grande, 1977.
- ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Viçosa: UFV, 1997. 85p. Tese Doutorado.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Viçosa: UFV, 2004. 143p. Tese Doutorado.
- ARNÁEZ, J.; LARREA, V.; ORTIGOSA, L. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. **Catena**, v. 57, Issue 1, p. 1-14, 1 jun. 2004.
- ARRUDA, W. C. **Estimativa dos Processos Erosivos na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura Urucu – Coari - AM**. Manaus: UFAM, 2005. 80p. Dissertação de Mestrado
- ARRUDA, W. C.; LIMA, H. N.; FORSBERG, B. R.; TEIXEIRA W. G. Estimativa de erosão em clareiras através da mudança do relevo do solo por meio de pinos. In: **1º Workshop Técnico-Científico da Rede CT-Petro Amazônia**, 2004, Manaus. 02-04 Sept. 2004.
- BAJRACHARYA, R. M.; LAL, R.; KIMBLE, J. M. Use of radioactive fallout cesium-137 to estimate soil erosion on three farms in west central Ohio. **Soil Science**, 163, p. 133-144, 1998.
- BARATA, C. F.; CAPUTO, M. V. Geologia do petróleo da bacia do solimões. **O “estado da arte”**. 4º PDPETRO, Campinas, SP. 21-24 out. 2007.
- BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F. **Answers: user’s manual**. Chicago: United States Environmental Protection Agency, 1981. 51p.
- BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, p. 781-792, 2007.
- BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Programa Estadual de Bacias Hidrográficas**. Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Campinas: CATI (impresso especial), 1993, 17p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone. 4. ed., 1999, 355 p.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora UFSCA, v. 3, p. 877-1436, 2003.
- BOARDMAN, J. Soil erosion at Alboourne, West Sussex, Inglaterra. **Applied Geography**, v.3, p. 317-329, 1983.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SB. 20 Purus**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. 561p., + mapas. (Levantamento de Recursos Naturais, 17).

- CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.
- CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; LANA, A. M. Q.; SILVA, W. A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-amarelo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 11, n. 1-4, p. 15-22, 2003.
- CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M. Pesquisa em erosão do solo. In: XIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2000, Ilhéus. XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e da água, 2000. v. CD ROM.
- COMMANDEUR, P. R. Soil erosion studies using rainfall simulation on forest harvested areas in British Columbia. **IAHS Publ.** n. 209, 1992. 21 p.
- COOK, H. L. The nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, p. 487-494, 1936.
- DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. Características Fundamentais da Chuva no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, 17 (10), p. 1409-1416, 1982.
- DE PLOEY, J.; POESEN, J. **Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. Geomorphology and Soils**. London: Ed. George Allen & Unwin, p. 99-120, 1985.
- ELLISON, W. D., ELLISON, O. T. Soil erosion studies – Part VII. **Agriculture Engineering**, St. Joseph, p. 442-450, 1947.
- ELLISON, W. D. Soil erosion studies – Part I. **Agriculture Engineering**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p.145-146, 1947.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do pólo Juruá-Solimões, Amazonas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO. **La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para combartirla en las tierras de cultivo**. Rome, 1967. 207p.
- FORSBERG, B. R.; ARRUDA, W. C.; RIBEIRO, J. B. M.; ROCHA, E. J. P.; GOCH, Y. G.; TORRES, S.; HAMADA, N.; LIMA, H. N.; COUCEIRO, S. R. M. A avaliação dos impactos de atividades petrolíferas sobre os ciclos de água e sedimentos na Bacia do Rio Urucu. In: **II Workshop Técnico-Científico da Rede CT-Petro Amazônia**, 2006, Manaus. Workshop... Manaus: INPA, 2006. 1 CD-ROM.
- FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSINK, D. L. (Org.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. Michigan: ASAE, 1982. p. 296-380. (ASAE Monograph, 5).

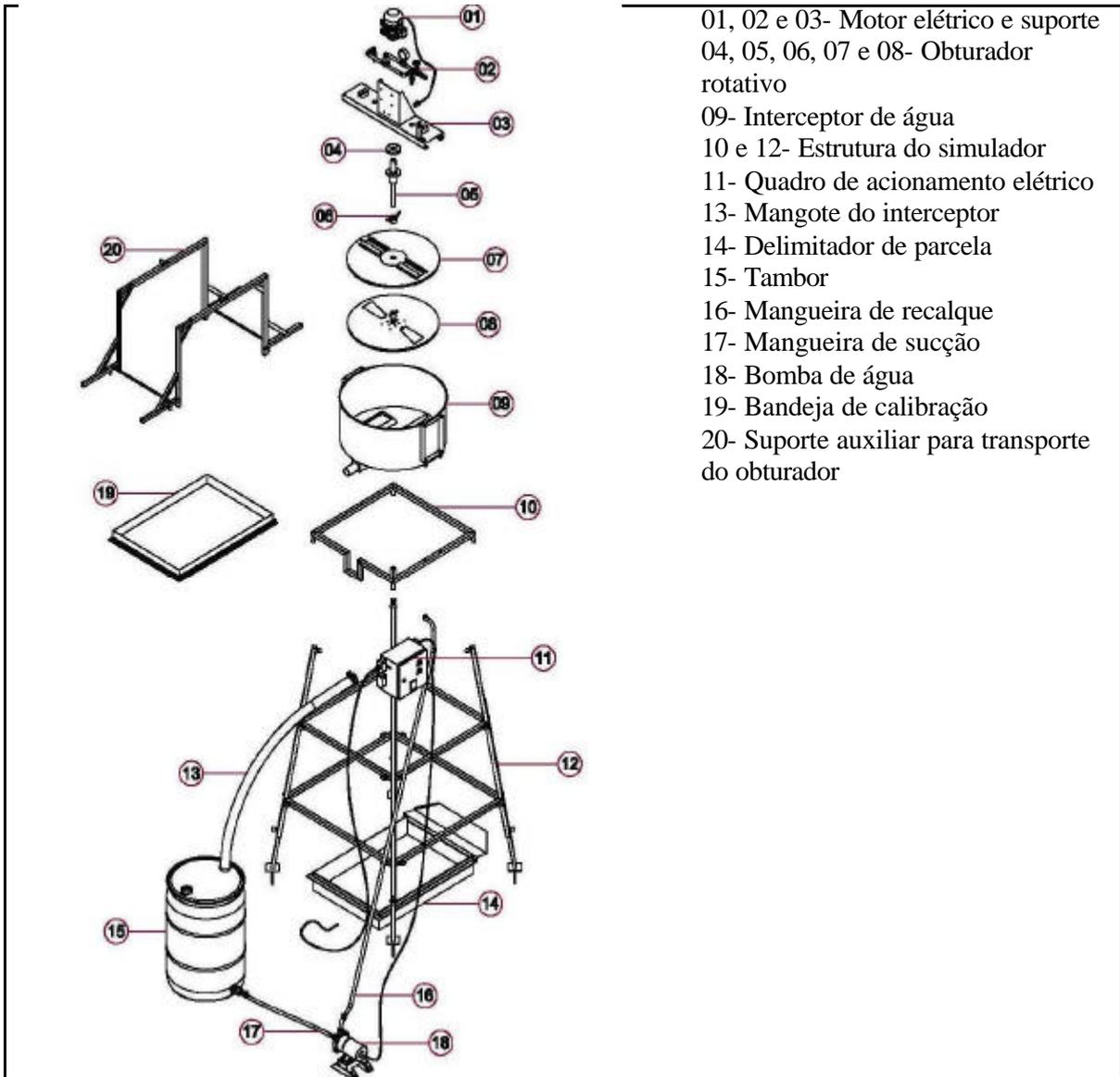
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985. 467p.
- GONÇALVES, F. A. **Validação do modelo WEPP na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG**. Viçosa: UFV, 2007. 116p. Tese Doutorado.
- GUERRA, A. J. T. Avaliação da influência das propriedades do solo na erosão, com base em experimentos utilizando um Simulador de Chuvas. **Anais do IV Simpósio de Geografia Física Aplicada**. Porto Alegre, RS, 1991. p. 260-266.
- GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. In: **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 32-37, 2005.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 149-210.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 652 p.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 149-199.
- GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 181-227.
- GUIMARÃES, M. F. **<sup>137</sup>Cs da precipitação radioativa (“fallout”) no estudo da erosão e sedimentação de solo**. Piracicaba, 1988, 136p. (Tese de Doutorado)
- HARDLEY, R. F.; LAL, R.; ONSTAD, C. A.; WALING, D. E.; YAIR, A. **Recent developments in erosion and sediment yield studies**. Paris: UNESCO, 1985. 127p.
- HIRSCHI, M. C.; BARFIELD B. J. 1988. KYERMO - **A physically based research erosion model. Part I. Model development**. ASAE Transactions, 31(3): p. 804-813.
- HODGES, R. D.; ARDEN-CLARKE, C. **Soil erosion in Britain – levels of soil damage and their relationship to farming practices**. The Soil Association, 1986. 45 p.
- HUDSON, N. W. An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall. **Proc. Trans. Rhod. Sci. Ass.**, n. 49, p. 15-25, 1961
- INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO Q. R.; NACIF, P. G. S.; BEZERRA, S. A.; BARRETO, A. C. Erosão hídrica em agrofloresta na região Sul da Bahia. **Bahia Agrícola**, v.7, n. 1, p. 75-78, set. 2005.
- JORDÁN-LOPEZ, A.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. **Forest Ecology and Management**, v. 255, Issues 3-4, p. 913-919, 20 Mar. 2008.
- JORDÁN-LÓPEZ, A.; MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; BELLINFANTE, N. Impact of different parts of unpaved forest roads on runoff and sediment yield in a Mediterranean area. **Science of The Total Environment**, v. 407, Issue 2, p. 937-944, 1 Jan. 2009.
- LAWS, J. O. Recent studies in raindrops and erosion. **Agriculture Engineering**, St. Joseph, v. 21, p. 431-433, 1940.
- LUK, S. H. Effect of soil properties on erosion by wash and splash. **Earth Surface Processes**, n. 4, p. 241-255, 1979.

- MACHADO, R. L. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ.** Seropédica, 2006, 86p. (Dissertação de Mestrado)
- MARGOLIS, E. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo para as condições de Caruaru-PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 165-169, 1985.
- MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; JORDÁN-LÓPEZ, A.; BELLINFANTE, N. Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. **Catena**, v. 74, Issue 1, p. 73-79, 15 June 2008.
- MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES, A. C. S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 1-5, 2001.
- MORGAN, R. C. P. **Soil erosion e conservation.** London: Longmann, 1986. 198p.
- MORGAN, R. C. P. **Soil erosion and conservation.** 3. Ed. Cornwell: Blackwell Publ., 2005. 316p.
- MORIN, J.; GOLDBERG, D.; SEGNER, I. **A rainfall simulator with a rotating disk.** Transacions of the ASAE, St. Joseph, v. 10, p. 74-79, 1967.
- MUSGRAVE, C.W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 2, p. 133-138, 1947.
- OLIVEIRA, J. R. **Perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada.** Seropédica, 2007, 66p. (Dissertação de Mestrado).
- PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária.** Dourados, 2003, 67p. (Dissertação de Mestrado).
- PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, Apr./June 2006.
- PEREIRA, S. B. **Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial.** Viçosa, 2000, 95p. (Dissertação de Mestrado).
- PETROBRAS. Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES). **Relatório do estado da arte sobre erosão hídrica.** Convênio UFRRJ/PETROBRAS/EMBRAPA/INPA/UFAM, 2007. 66p.
- PETROBRAS. Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES). **Relatório diagnóstico das experiências em erosão hídrica e recuperação de áreas degradadas.** Convênio UFRRJ/PETROBRAS/EMBRAPA/INPA/UFAM, 2009. 89p.
- PETROBRAS. Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES). **Mapa detalhado de Solos do entorno da malha viária da Província Petrolífera de Urucu/Coari-AM.** Convênio UFRRJ/PETROBRAS/EMBRAPA/INPA/UFAM, 2010. 641p.
- PETROBRAS. Unidade de Negócios da Bacia do Solimões. **Relatório Técnico Mapeamento Geotécnico da Província Oleogaseífera de Urucu.** Convênio PETROBRAS/TERRABYTE, 2005a. 54p.

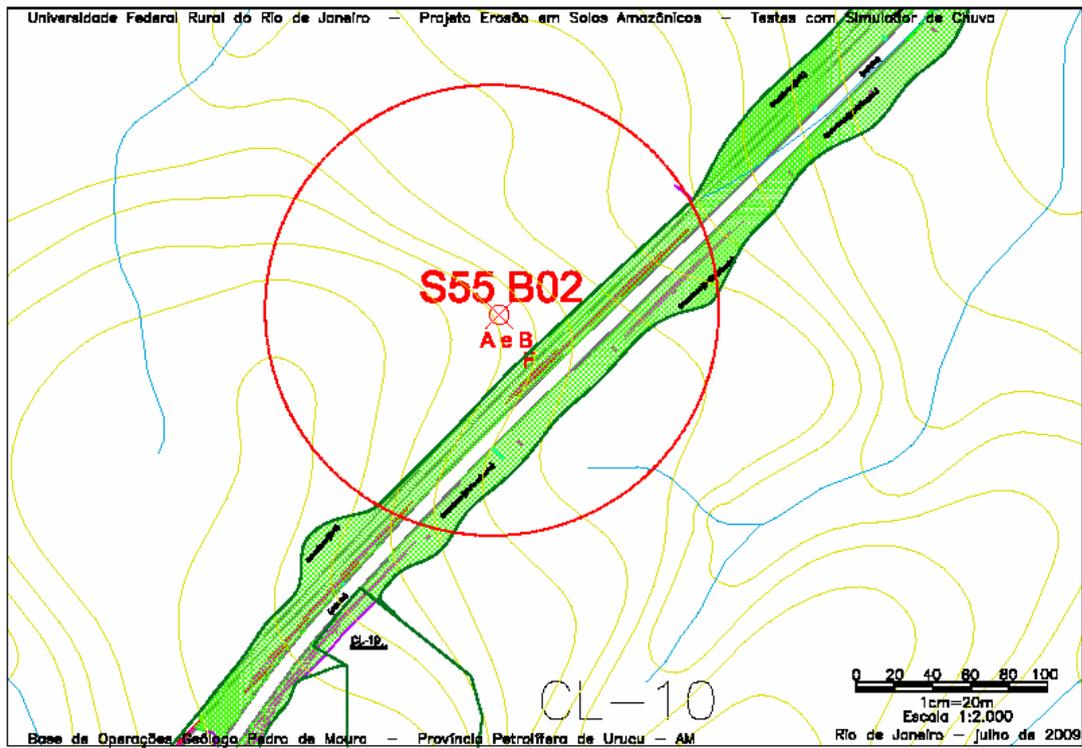
- PETROBRAS. Unidade de Negócios da Bacia do Solimões. **Estudo dos processos erosivos e dos movimentos de massa na BOGPM com vistas à recuperação das áreas degradadas.** Convênio PETROBRAS/UFAM, 2005b. 83p.
- RENARD, K. G.; FERREIRA, V. A. RUSLE model description and database sensitivity. **Journal Environment Quality**, v. 22, p. 458-466, 1993.
- RITCHIE, J. C.; MCHENRY, J. R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. **Journal Environment Quality**, v. 19, p. 215-233, 1990.
- Statistical Analysis System (SAS)/STAT. Version 3.0 [S.I.]: SAS Institute Inc., 2000. 1 CD-ROM.
- SANTOS, J. O. S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brail-Central. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil.** Brasília: CPRM, 2003. p. 169-195.
- SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 5, May 2002.
- SOUZA, C. M.; BOARETTI, W. A.; WRUCK, F. J. Índice de erosividade das chuvas para Viçosa/MG. In: TAMURA, T. **Selective sorption reactions of cesium with mineral soil.** **Nucleic. Safety**, n. 2, p. 161-175. 1964.
- SOUZA JUNIOR, A. B. **A indústria do petróleo e seus impactos ambientais na região amazônica - Estudo de caso: Urucu e Juruá.** Rio de Janeiro, abr. 1991. 129p. (Dissertação de Mestrado)
- SUCUPIRA, R. B.; MEDINA, B. F. Cálculo de infiltração e escoamento superficial utilizando chuvas simuladas. **Agropecuária Técnica**, v. 3, n. 1, p. 1-10. 1982.
- TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; ARRUDA, W. C. 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**, 2006, Manaus. Workshop ... Manaus: INPA, 2006. 1 CD-ROM.
- UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL - USDA. **Water erosion prediction project - WEPP.** West Laffayette, 1995. 288p.
- WALLING, D. E.; QUINE, T. A. Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. **Land Degrad. Rehab.**, n. 2, p. 161-175, 1990.
- WILLIAMS, J. R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: USDA-ARS (Org.). **Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources**, Washington, DC:USDA, 1975. p. 244-252. (Handbook, S-40)
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** Washington, DC: USDA, 1978, 58p. (Handbook, 537).

## 7. ANEXOS

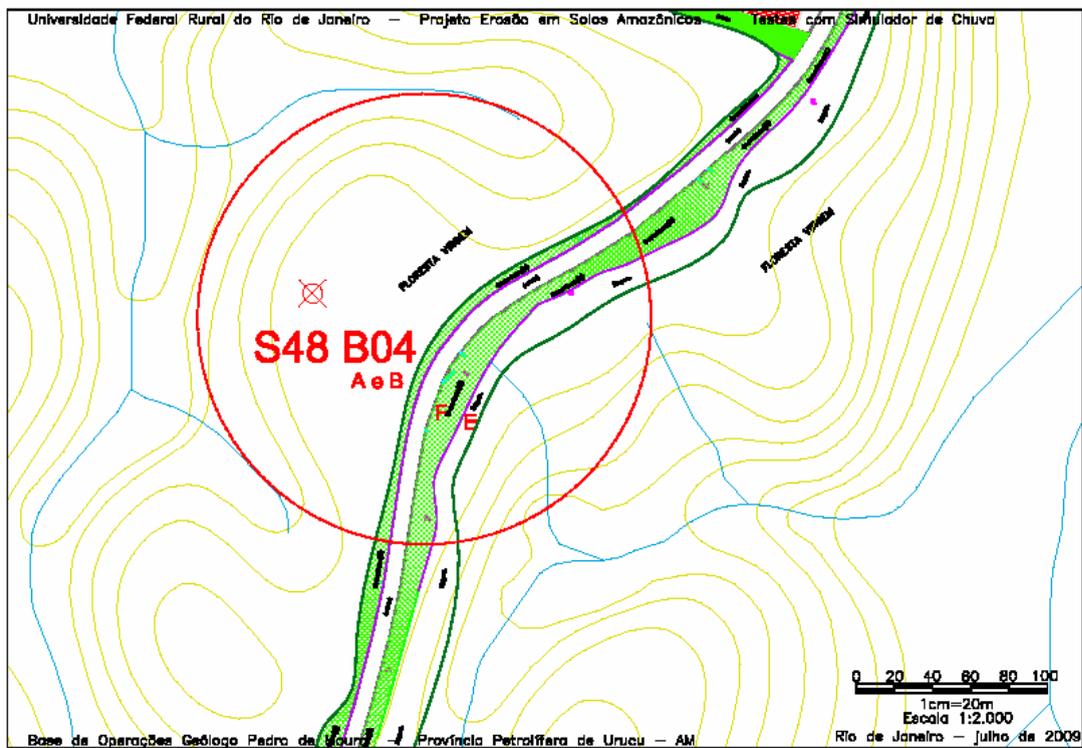
### 7.1. Anexo A – Esquema do InfiAsper/UFMS e de seus Componentes



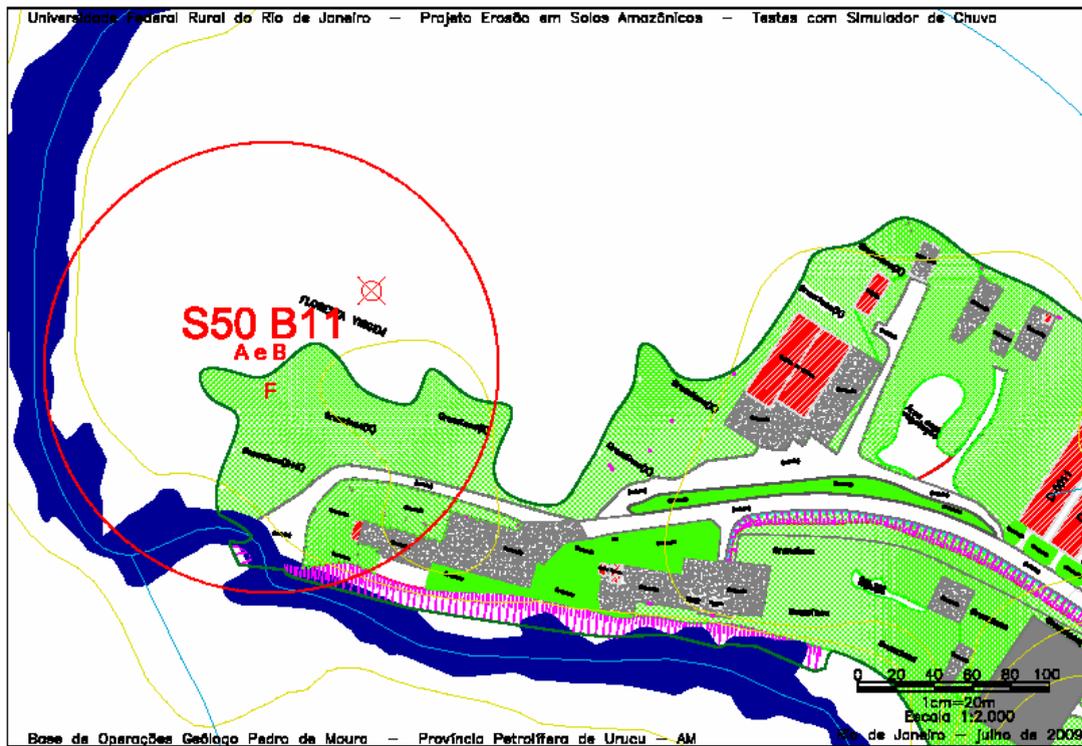
## 7.2. Anexo B – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 02



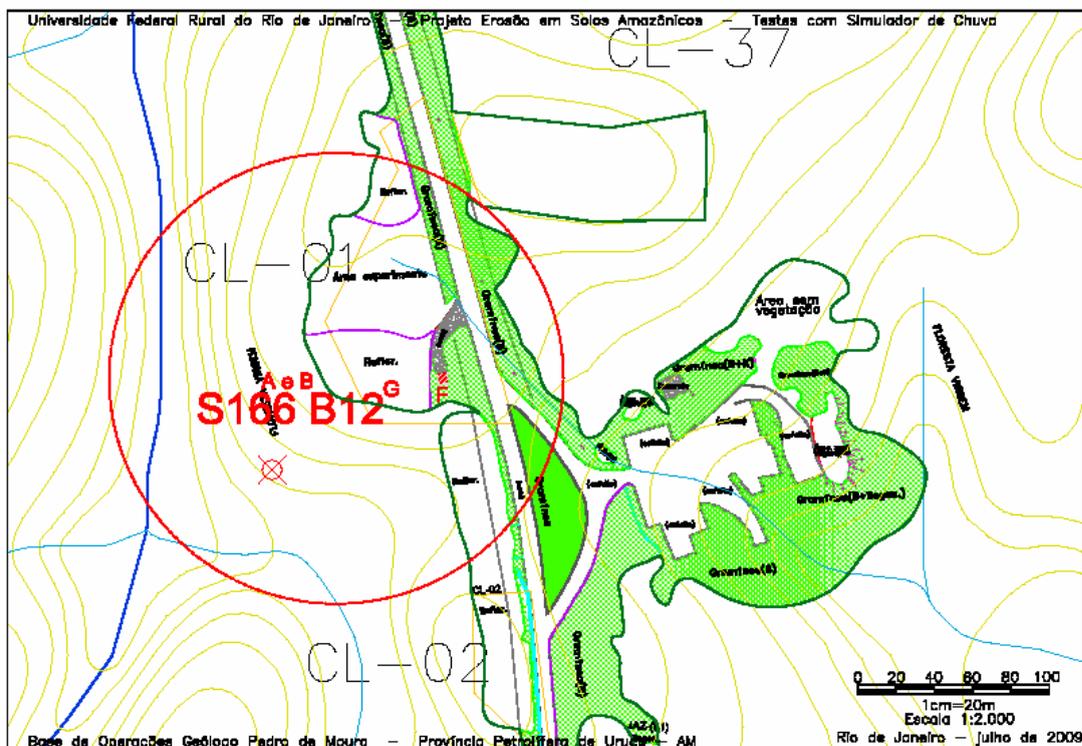
## 7.3. Anexo C – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 04



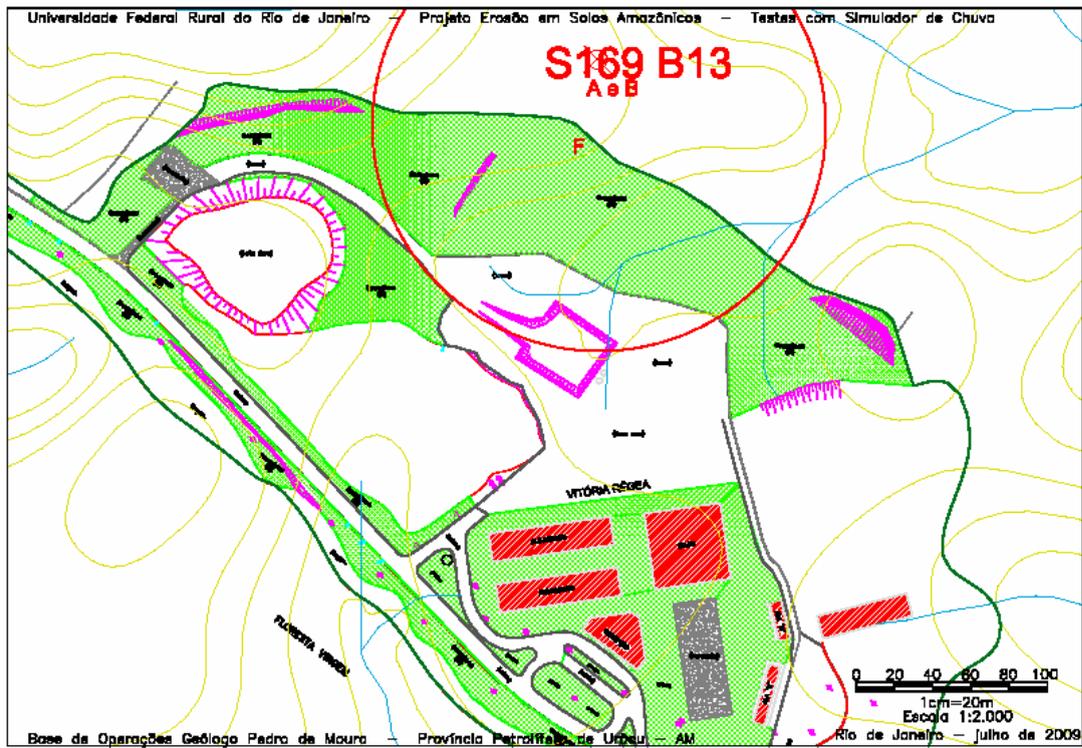
#### 7.4. Anexo D – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 11



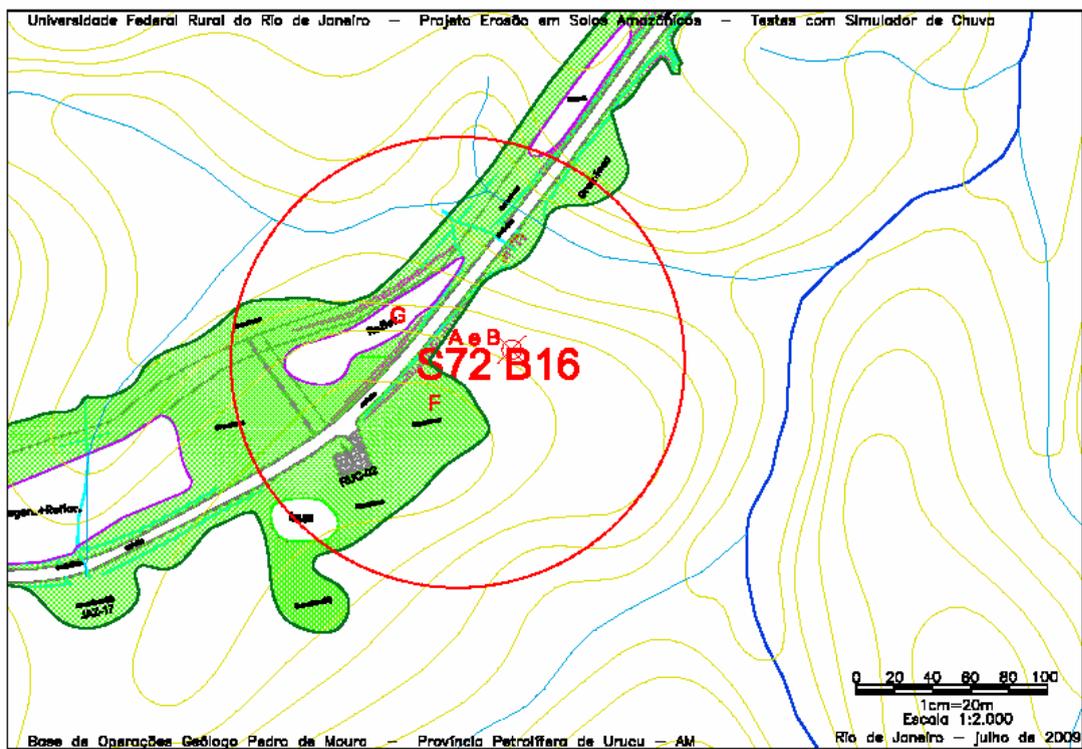
#### 7.5. Anexo E – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 12



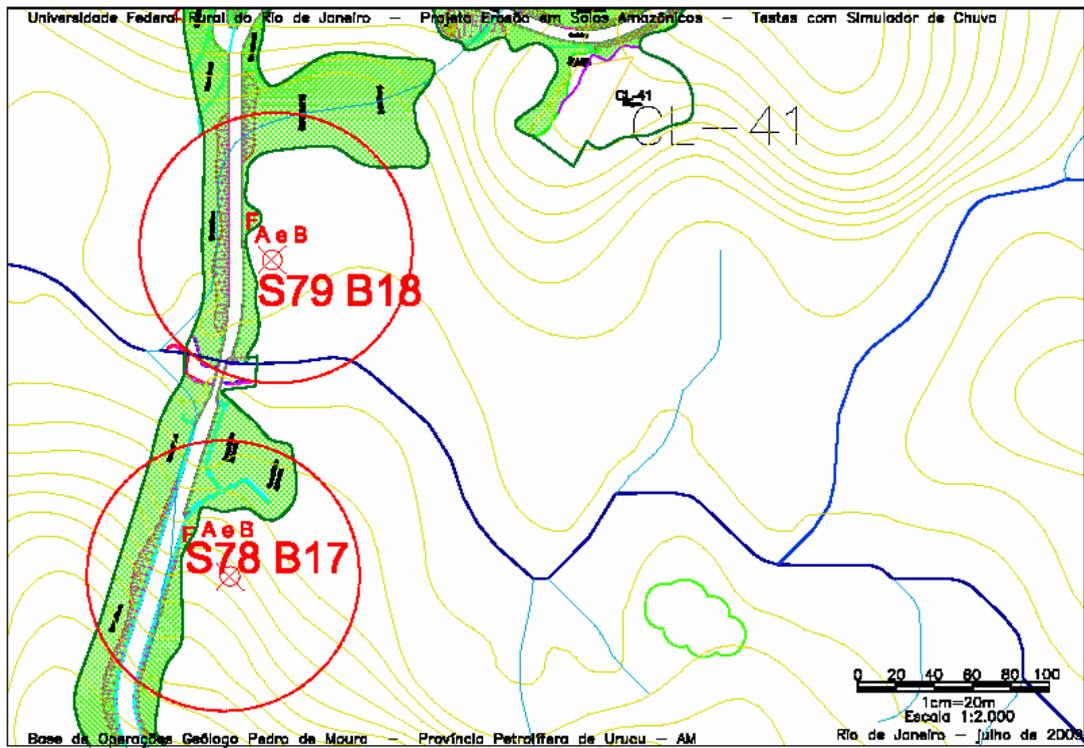
## 7.6. Anexo F – Visão geral da Área dos Testes da Bateria 13



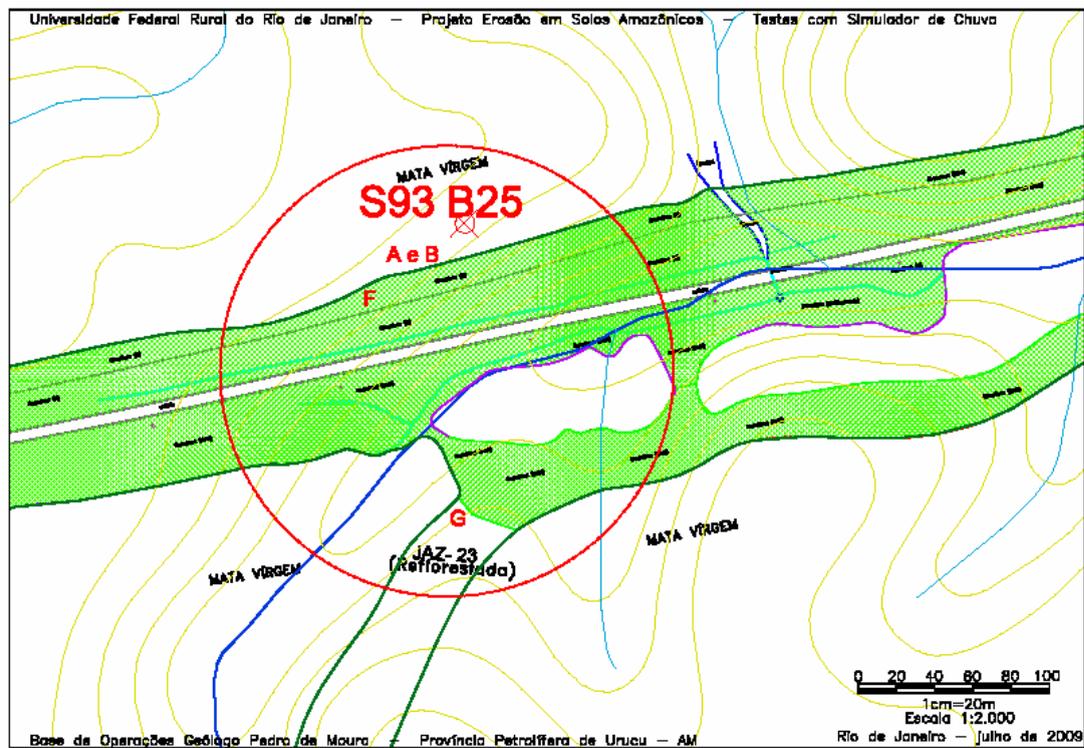
## 7.7. Anexo G – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 16



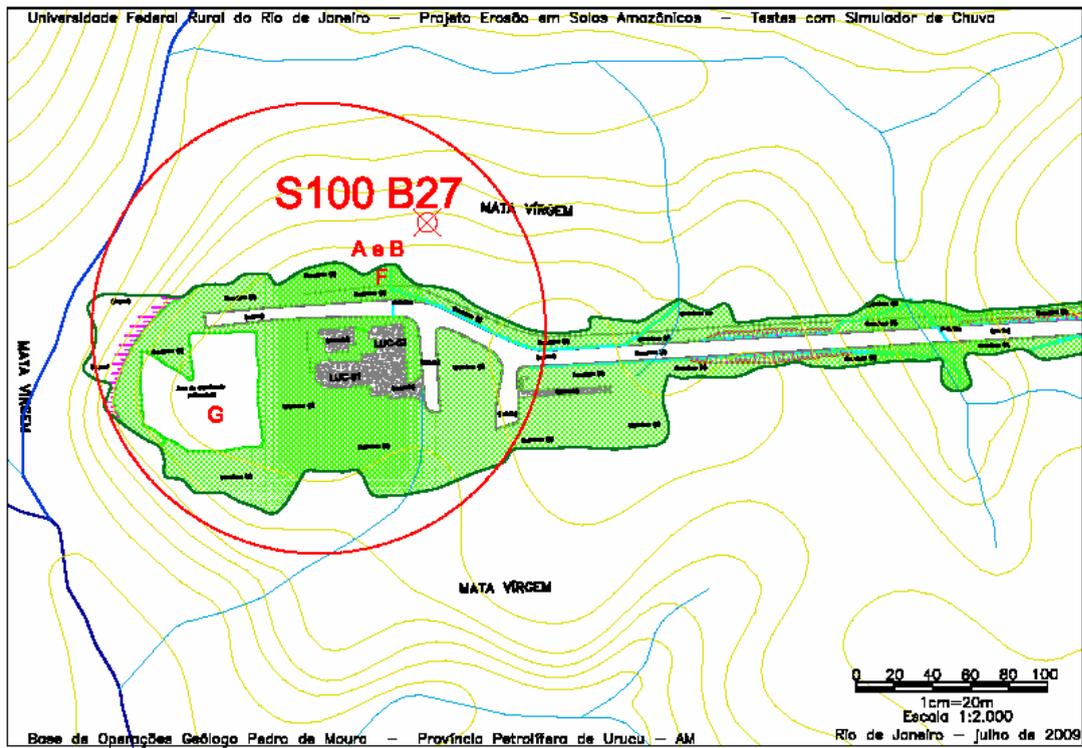
## 7.8. Anexo H – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 17



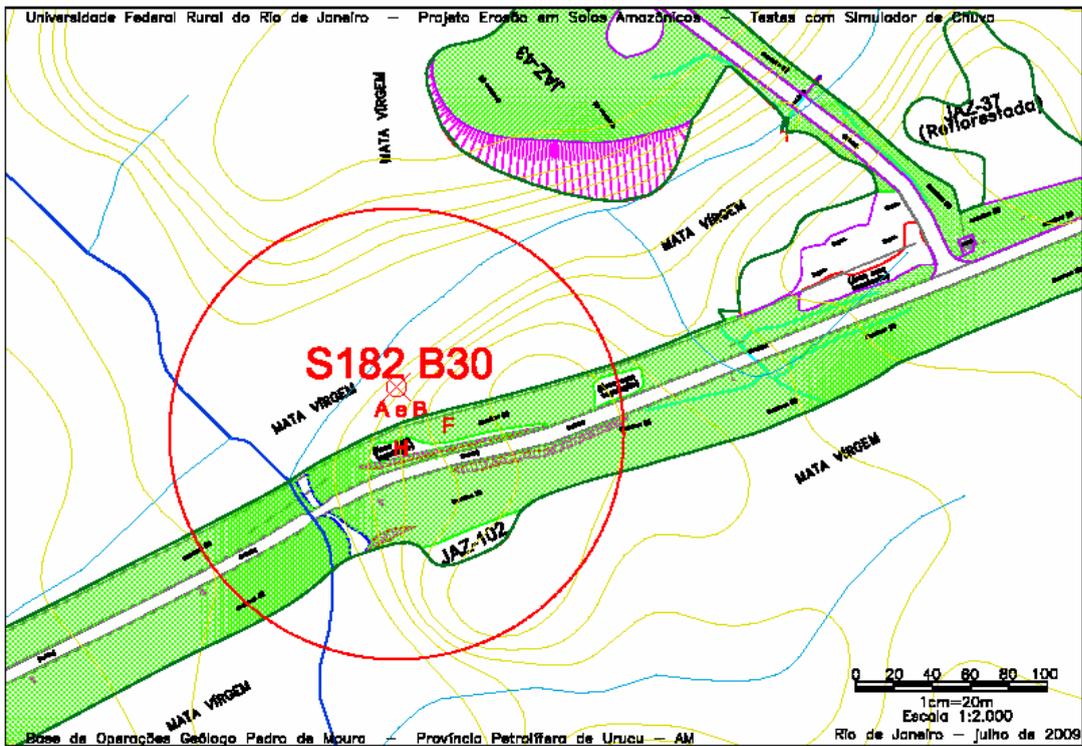
## 7.9. Anexo I – Visão Geral da Área dos testes da bateria 25



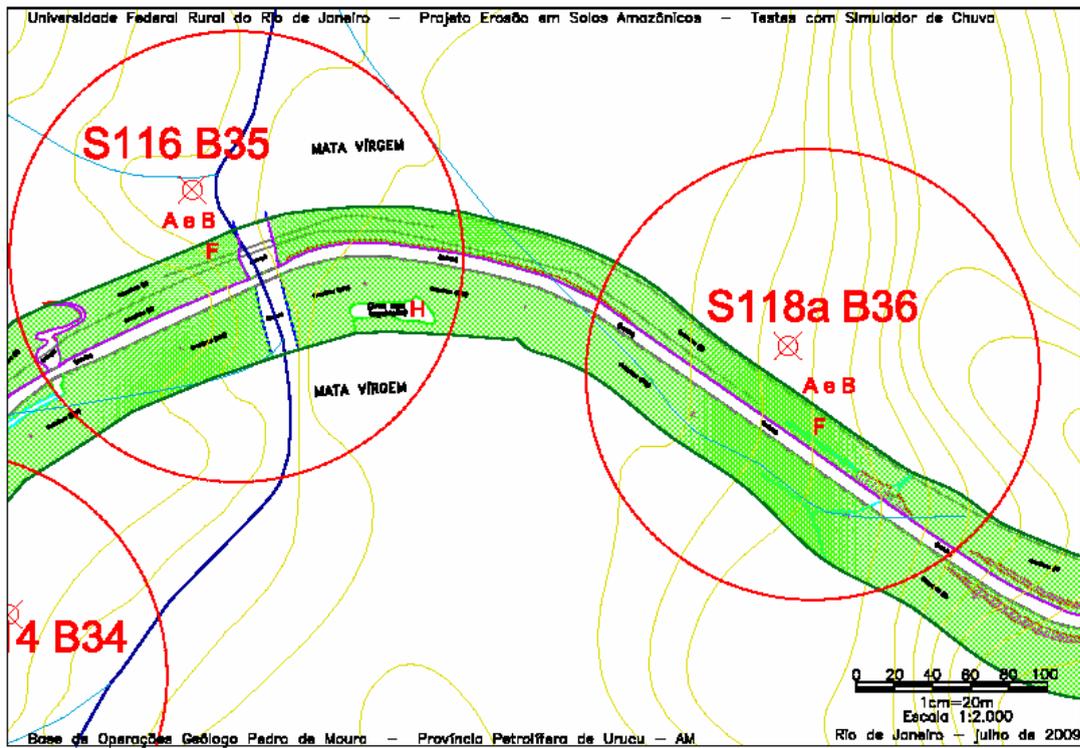
### 7.10. Anexo J – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 27



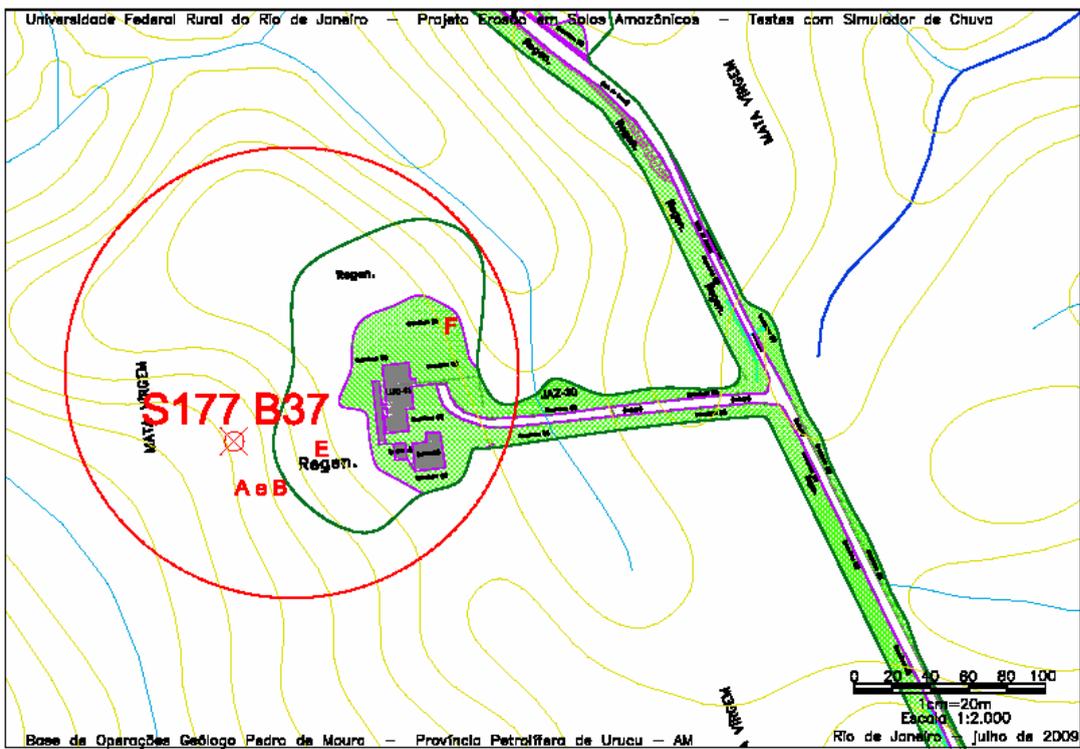
### 7.11. Anexo L – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 30



### 7.12. Anexo M – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 35

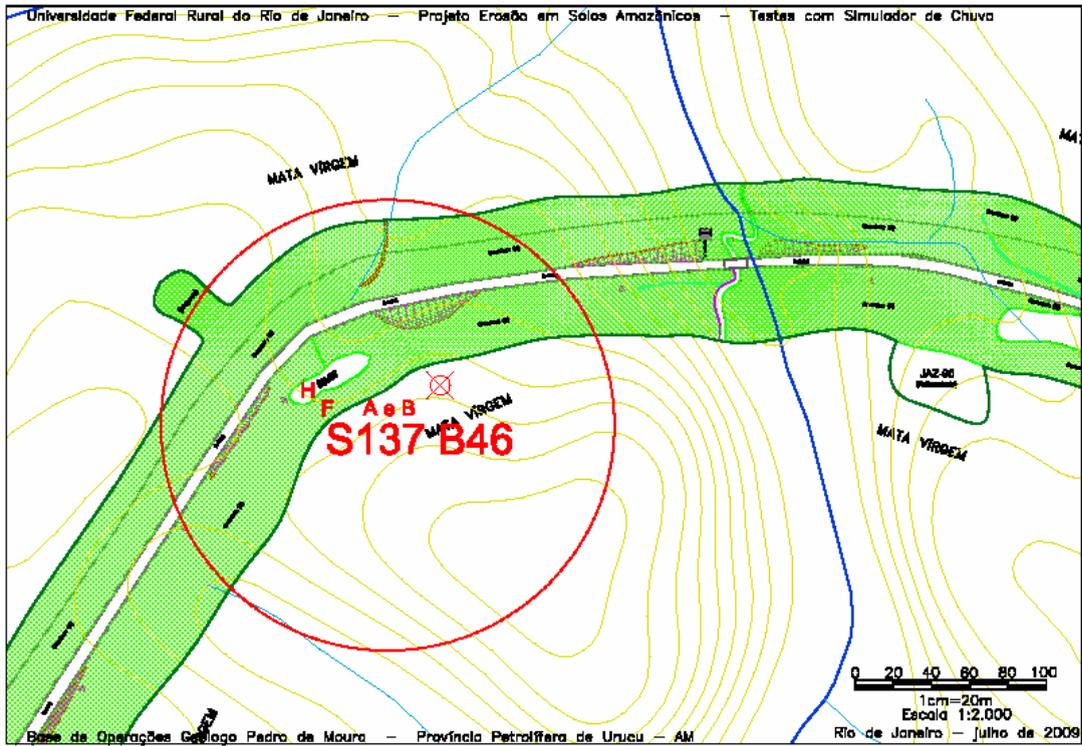


### 7.13. Anexo N – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 37

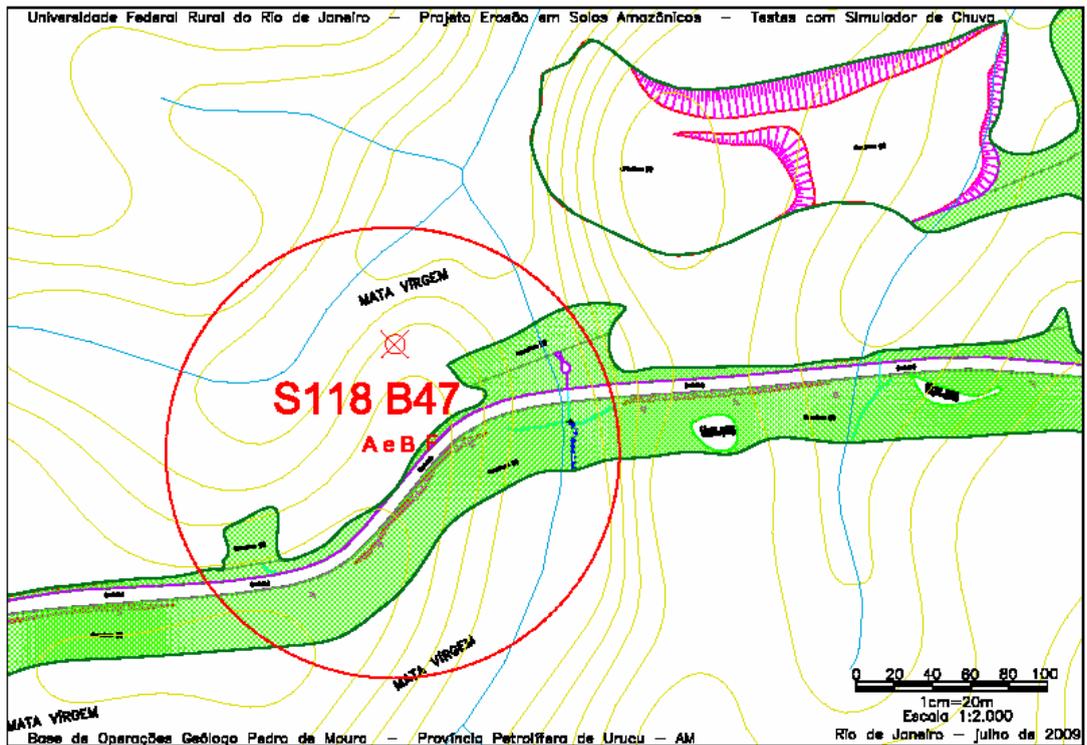




### 7.16. Anexo Q – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 46



### 7.17. Anexo R – Visão Geral da Área dos Testes da Bateria 47



## 7.18. Anexo S – Planilha de Dados de uma Bateria de Testes

| Bateria n°:  | 02                     | Cobertura:                                     | <i>F (Gramínea)</i> |               | Repetição n°:                                 | 1              | Data:       | 22/nov/2009 |
|--|------------------------|--|---------------------|---------------|---|----------------|-------------|-------------|
| Início do Teste  |                        | Início do Escoamento                           |                     | Fim Coleta    |   | Fim Escoamento |             |             |
| 13:57 (h:min)  |                        | 13:58 (h:min)                                  |                     | 14:59 (h:min) |   | 15:01 (h:min)  |             |             |
| Momento da coleta (min)  | Escoamento Superficial | Perda de Solo na Parcela - PS_Parc (Sedimento) |                     |               |   |                |             |             |
|  | Tempo Coleta           | Volume (mL)                                    | Coletor N°          | M1 (g)        | M2 (g)  | Tara (g)       | PS_Parc (g) |             |
| 0 a 1  | 1 min                  | 66   | 0010                |               | 33,6647                                       | 33,5492        | 0,1155      |             |
| 1 a 2  |                        | 340  |                     |               |   |                |             |             |
| 3 a 4  |                        | 510  |                     |               |   |                |             |             |
| 5 a 6  |                        | 700  | 0011                |               | 34,1237                                       | 33,9319        | 0,1918      |             |
| 7 a 8  |                        | 720  |                     |               |   |                |             |             |
| 9 a 10   |                        | 750  |                     |               |   |                |             |             |
| 11 a 12  |                        | 760  | 0012                |               | 34,0651                                       | 33,9981        | 0,0670      |             |
| 13 a 14  |                        | 780  |                     |               |   |                |             |             |
| 15 a 16  |                        | 740  |                     |               |   |                |             |             |
| 17 a 18  |                        | 740  | 0013                |               | 32,5471                                       | 32,4160        | 0,1311      |             |
| 19 a 20  |                        | 730  |                     |               |   |                |             |             |
| 21 a 22  |                        | 750  |                     |               |   |                |             |             |
| 23 a 24  |                        | 760  | 0014                |               | 34,2245                                       | 34,0318        | 0,1927      |             |
| 25 a 26  |                        | 770  |                     |               |   |                |             |             |
| 27 a 28  |                        | 740  |                     |               |   |                |             |             |
| 29 a 30  |                        | 760  | 0015                |               | 33,9401                                       | 33,7762        | 0,1639      |             |
| 31 a 32  |                        | 720  |                     |               |   |                |             |             |
| 33 a 34  |                        | 730  |                     |               |   |                |             |             |
| 35 a 36  |                        | 710  | 0016                |               | 32,5866                                       | 32,4169        | 0,1697      |             |
| 37 a 38  |                        | 700  |                     |               |   |                |             |             |
| 39 a 40  |                        | 700  |                     |               |   |                |             |             |
| 41 a 42  |                        | 690  | 0017                |               | 32,6621                                       | 32,5218        | 0,1403      |             |
| 43 a 44  |                        | 660  |                     |               |   |                |             |             |
| 45 a 46  |                        | 690  |                     |               |   |                |             |             |
| 47 a 48  |                        | 680  | 0018                |               | 33,0157                                       | 32,8429        | 0,1728      |             |
| 49 a 50  |                        | 650  |                     |               |   |                |             |             |
| 51 a 52  |                        | 680  |                     |               |   |                |             |             |
| 53 a 54  |                        | 670  | 0019                |               | 34,7251                                       | 34,5705        | 0,1546      |             |
| 55 a 56  |                        | 640  |                     |               |   |                |             |             |
| 57 a 58  |                        | 700  |                     |               |   |                |             |             |
| 59 a 60  | 710                    | 0020   |                     | 33,7977       | 33,6716                                       | 0,1261         |             |             |
| Volume de Escoamento após desligar bomba = 325 <i>ML</i>                                       |                        |  |                     |               |   |                |             |             |
| Verificação da Intensidade de Precipitação - IP (**): 69,7mm.h <sup>-1</sup>                   |                        |  |                     |               |   |                |             |             |
| <b>M1 = Massa água+Sedimento+Tara; M2 = Massa Sedimento+Tara</b>                               |                        |  |                     |               | <b>PS_Parc = Perda de Solo na Parcela (g)</b> |                |             |             |
| M1 e M2: dados obtidos em Laboratório; M1 massa ao chegar do Campo; M2 após secagem em estufa. |                        |  |                     |               |   |                |             |             |