

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS - PPGCFT**

**A INFLUÊNCIA DA EROSÃO NA REGENERAÇÃO DE CLAREIRAS**

**JORGE GLAUCO COSTA NASCIMENTO**

**Manaus, Amazonas**

**Dezembro de 2009**

**JORGE GLAUCO COSTA NASCIMENTO**

**A INFLUÊNCIA DA EROSÃO NA REGENERAÇÃO DE CLAREIRAS**

**ORIENTADOR: Dr. GIL VIEIRA**

**CO-ORIENTADOR: Dra. SUELY DE SOUZA COSTA**

Tese apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - PPGCFT como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências de Florestas Tropicais.

**Manaus, Amazonas**

**Dezembro de 2009**

N244 Nascimento, Jorge Glauco Costa  
A influência da erosão na regeneração de clareiras / Jorge Glauco Costa  
Nascimento. --- Manaus : [s.n.], 2009.  
xix, 162 f. : il. color.

Tese (doutorado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2009

Orientador : Gil Vieira

Co-orientador : Suely de Souza Costa

Área de concentração : Recursos Florestais

1. Ecologia florestal. 2. Reflorestamento. 3. Áreas degradadas –  
Recuperação. 4. Petróleo – Exploração – Aspectos ambientais. 5. Impacto  
ambiental – Amazônia. I. Título.

CDD 19. ed. 574.52642

### **SINOPSE:**

Estudo da influência recíproca da erosão na sucessão vegetal em áreas impactadas em processo de restauração, na província petrolífera de Urucu, na Amazônia Ocidental Brasileira. Aspectos como cicatrização do dossel, banco de sementes, estabelecimento de plantas foram avaliados. Propõe uma classificação das áreas degradadas pela indústria do petróleo.

## DEDICATÓRIA

*Aos que contribuíram para esta tese.*

*Em especial a Daniela, Emanoela, Jorge Henrique e Jorge Caetano .*

## AGRADECIMENTOS

A Universidade do Estado da Bahia – UNEB pelo irrestrito apoio prestado. Aos dirigentes, colegas professores e funcionários do Departamento de Ciências Exatas e da Terra – DCET I e da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PPPG.

Sou grato ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia por ter me acolhido. Ao meu orientador Dr. Gil Vieira e a co-orientadora Dra. Suely de Souza Costa, com carinho e firmeza me guiaram nesta caminhada. A rede CT-Petro Amazônia que prestou o apoio necessário aos trabalhos de campo e articulações com a empresa petrolífera. A pesquisadora MSc Raquel Medeiros auxiliar de campo, revisora, amiga que se transformou em irmã. Ao MSc Geângelo Calvi e MSc Lianna Molinaro, pelo auxílio no trabalho de campo e desenvolvimento da pesquisa. A Dra Isolde Ferraz pela leitura e correção do capítulo sobre a interferência da erosão no banco de sementes. A botânica pesquisadora MSc Ieda Amaral, pelo incentivo e apoio. A abençoada secretária do curso de Ciências de Florestas Tropicais Ana Clycia, sempre alerta com as datas e disposta me a auxiliar. Sou grato ao parobotânico Francisco Quintiliano do Santos – Carçoço, pela identificação das plantas e ensinamentos. Aos estagiários Akis Silva, Juliana Fonseca e Radiely Oliveira, prestaram auxílio valioso nos trabalhos de laboratório.

A PETROBRAS pelo apoio nos trabalhos de campo, em especial ao pessoal da área de Saúde, Segurança e Meio Ambiente – SMS.

A Universidade do Estado do Amazonas UEA, Laboratório de Sementes, na pessoa da professora MSc Maria da Gloria Mello e Sheila Carvalho, com carinho e paciência me atenderam e abrigaram o experimento de germinação de sementes. A Dra. Katell Uguen, pelas correções, incentivo e amizade.

A EMBRAPA Amazonia Ocidental nas pessoas do Dr Wenceslau Teixeira e MS Gilvan Martins pelas análises de solo, esclarecimentos e contribuições para esta tese.

Ao Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Centro Regional de Manaus, Coordenação de Inteligência, pelo apoio vigoroso e assessoria em sensoriamento remoto e geoprocessamento, em especial ao MSc Daniel Assumpção. Ao Dr. Moacir Campos da coordenação de sensoriamento remoto pelas correções e idéias no capítulo sobre erosão e cicatrização do dossel.

## RESUMO

A eficácia na restauração de áreas impactadas pela indústria petrolífera na Amazônia é um dos indicadores da sustentabilidade desta atividade econômica. O aperfeiçoamento das técnicas para restaurar ecossistemas perturbados passa pelo conhecimento da influência recíproca dos fatores bióticos e abióticos, importantes para entender o mosaico de espécies e a estrutura das comunidades. O desafio é integrar a pesquisa ecológica com a geomorfológica. A chave está em trabalhar com fenômenos que ocorrem na mesma escala de tempo e espaço. Desta visão vem o objetivo da tese: estudar como a erosão interfere e sofre interferência na restauração de áreas que utilizam a sucessão ecológica como princípio. As áreas estudadas estão contidas em um raio de 20 km ao redor das coordenadas 65°11'15"W e 04°51'55"S, Coari – Amazonas, Brasil. Os instrumentos para obtenção de dados foram: **a)** análise de imagens de satélites; **b)** observações diretas; **c)** levantamento da microtopografia; **d)** coleta e ensaios com amostras do banco de sementes no solo; **d)** acompanhamento da mortalidade em plantios e sua relação com processos erosivos; **e)** inventário da regeneração. Estes dados foram coletados e tratados por estatística descritiva, testados e correlacionados, considerando os sítios de erosão e deposição, no contexto de características locais: **i)** solo exposto; **ii)** regeneração e **iii)** dossel do plantio. Os resultados mostram que em 76% das áreas onde foi realizado o plantio de árvores o solo permanece exposto, ou ocupado por espécies invasoras exóticas. Proponho o abandono da denominação clareira para as áreas impactadas pela indústria petrolífera, tendo em vista a intensidade do distúrbio. Em substituição apresento uma classificação das áreas degradadas em função do uso antes da restauração e do substrato: **a)** infraestrutura; **b)** prospecção e pesquisa; **c)** poço; **d)** empréstimo; **e)** bota-fora. O banco de sementes vem sendo recomposto após o distúrbio, a quantidade de sementes viáveis no banco aumenta das áreas de erosão para as de deposição ( $p=0,0062$ ). Esta diferença é menor quanto maior for a proteção do solo. A diversidade de sementes cresce com o aumento da proteção do solo pela vegetação. A mortalidade das plantas cultivadas apresentou correlação significativa ( $r=0,74$ ) com a presença de processos erosivos. O distúrbio provocado durante a abertura e utilização da área pode comprometer a resiliência do ecossistema. Nestes casos, a regeneração natural que ocorre é compatível com a sucessão primária e a restauração precisa ser enfocada como tal. Por isto recomendo que as técnicas para restauração da floresta impactada pela exploração de hidrocarbonetos sejam aperfeiçoadas e adequadas à intensidade do distúrbio causado, em cada área e dentro de uma mesma área.

## ABSTRACT

One of sustainability indicator of economic activity in the oil industry in the Amazon is the effectiveness in the restoration of impacted areas. The improvement of restoration techniques to recover disturbed ecosystems pass by knowledge of the reciprocal influence of biotic and abiotic factors, and it's important to understand the mosaic distribution and structure of the communities. The challenge is to integrate ecological and geomorphological researches. The key is work with phenomena that occur on the same scale of time and space. In this point of view the goal of the thesis can be defined as: how erosion interfere and suffer interference in the restoration of areas that use ecological succession as a principle. The studied areas are contained in a 20 km around the coordinates 65 ° 11'15 "W and 04 ° 51'55" S. The tools used to collect the data were: a) analysis of satellite images, b) direct observations, c) survey the microtopography d) collection and testing with samples of the soil seed bank, d) monitoring of mortality in plantations and relation to erosion processes, e) inventory of regeneration. These data were collected and processed considering the sites of erosion and deposition in the context of local characteristics: i) exposed soil, ii) regeneration and iii) restored canopy. The data were processed by descriptive statistics, tested and correlated and th76,59% of the areas were trees was planted, the soil remain exposed or occupied by exotic invasive species. I propose renounce the designation for clearing in the areas impacted by the oil industry because the term refers to an approach focused on secondary succession. In stead of I present a classification for degraded areas in terms of use before the restoration and substratum: a) infrastructure, b) exploration and research, c) well d) loan and) send-off. The seed bank has been recovery after disturb. The quantity of viable seeds increases in the areas of bank from erosion to the deposition ( $p= 0,0062$ ), this difference is smaller as great is the ground cover. The diversity is higher with the ground cover increase. The trees planted mortality showed significant correlation ( $r=0,74$ ) with the presence of erosion process. The disturbance caused during the opening and use of the area can compromise the ecosystem resilience. In these cases the natural regeneration that occurs is consistent with the primary succession. The restoration needs to be focused as such. Because that I recommend the improvement in the techniques for restoration in the forest impacted by the exploitation of hydrocarbons, appropriate to the intensity of the disturbance caused in each area

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	
1.1 OBJETIVO	1
1.2 INTRODUÇÃO	2
1.3 EMBASAMENTO TEÓRICO	4
1.3.1 SUCESSÃO VEGETAL	4
1.3.2 CLAREIRAS	7
1.3.3 EROSÃO	10
1.3.4 INTERAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL COM A EROSÃO	16
1.4 OBJETIVO DA TESE	20
1.4.1 HIPÓTESES	20
1.5 CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM	20
1.5.1 LOCALIZAÇÃO	20
1.5.2 TEMPO GEOLÓGICO	22
1.5.3 TEMPO HISTÓRICO	28

<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>34</b>
<b>O PLANTIO DE ÁRVORES TEM FAVORECIDO O CONTROLE DA EROÇÃO E A CICATRIZAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL NA AMAZÔNIA? O CASO DE URUCU – AM, BRASIL</b>	
2.1 OBJETIVO	34
2.2 RESUMO	35
2.3 INTRODUÇÃO	36
2.4 METODOLOGIA	39
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>59</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ABERTAS PELA PESQUISA E EXPLORAÇÃO DE HIDROCARBONETOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL</b>	
3.1 OBJETIVO	59
3.2 RESUMO	60
3.3 INTRODUÇÃO	61
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	64
3.4.1 COLETA DE DADOS DIRETOS E INDIRETOS	64
3.4.1.1 Pesquisa Bibliográfica	64

3.4.2 LEVANTAMENTOS SISTEMÁTICOS DE CAMPO	64
3.4.3 ANÁLISE DE IMAGENS ORBITAIS	66
3.4.4 CLASSIFICAÇÃO	67
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>87</b>
<b>EFEITO DA EROSIÃO NO BANCO DE SEMENTES NAS ÁREAS EM RESTAURAÇÃO DE URUCU, AM, BRASIL</b>	
4.1 OBJETIVOS	87
4.2 RESUMO	88
4.3 INTRODUÇÃO	89
4.4 METODOLOGIA	92
4.4.1 SELEÇÃO DAS ÁREAS	92
4.4.2 COLETA DE AMOSTRAS DO BANCO DE SEMENTES	94
4.4.3 TRATAMENTO DAS AMOSTRAS EM LABORATÓRIO	95
4.4.4 ACOMPANHAMENTO DA GERMINAÇÃO	96
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	98

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>111</b>
<b>EFEITO DA EROÇÃO NO ESTABELECIMENTO DE PLANTAS CULTIVADAS EM ÁREAS ABERTAS PELA INDÚSTRIA PETROLÍFERA NA AMAZÔNIA</b>	
5.1 OBJETIVO	111
5.2 RESUMO	112
5.3 INTRODUÇÃO	113
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	116
5.4.1 O EXPERIMENTO DE COMPETIÇÃO INTER E INTRA ESPECÍFICA	117
5.4.2 O ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS	118
5.4.3 TRATAMENTO DOS DADOS	120
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
5.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>133</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>135</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>Tabela 1</b> – Classificação dos canais de escoamento em função do aprofundamento, (Bigarella <i>et al.</i> , 2007).	<b>11</b>
<b>Tabela 2</b> – Efeitos das glaciações cenozóicas na paisagem da Amazônia Ocidental. (Base: Tricart 1966, 1975, 1977; Haffer e Prance 2002).	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 1</b> – Modelo de planilha para compilação dos dados.	<b>44</b>
<b>Tabela 2</b> – Variação das classes dossel do plantio/regeneração/solo exposto entre 1986 e 2007. Os valores são percentuais da área total (112,4 hectares). Urucu, AM, Brasil.	<b>51</b>
<b>Tabela 3</b> – Teste de Mann-Whitney para verificação das diferenças entre as classes de mapeamento, nos intervalos de tempo considerados. Urucu, AM, Brasil.	<b>51</b>
<b>Tabela 4</b> – Percentual da área total de 112,4 hectares recobertos com as classes dossel do plantio/regeneração/solo exposto, no ano de 2007 e em relação ao tempo de plantio. Urucu, AM, Brasil.	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 1</b> – Classificação das áreas impactadas pela indústria petrolífera na Amazônia Ocidental, com base em Urucu, Am, Brasil.	<b>84</b>

<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 1</b> – Quantidade de amostras do banco de sementes coletadas em cada tipo proteção do solo e no conjunto. Urucu, AM, Brasil.	<b>97</b>
<b>Tabela 2</b> – Relação entre a proteção do solo e a idade dos plantios visando a restauração. Para as 36 áreas escolhidas de forma aleatória. Ano de referência 2007. Urucu, AM. Brasil.	<b>99</b>
<b>Tabela 3</b> – Sementes germinadas no experimento do banco de sementes em diferentes tipos de cobertura protetora do solo. Urucu, AM, Brasil.	<b>99</b>
<b>Tabela 4</b> – Dependência dos resultados de germinação entre os pontos de erosão e de deposição, para as diferentes coberturas protetoras do solo e o total de amostras. Correlação de Spearman ( $\rho$ ). Urucu, AM, Brasil.	<b>101</b>
<b>Tabela 5</b> – Resultado da pesagem (kg) das amostras do banco de sementes para um mesmo volume de solo ( $0,004m^3$ ). Urucu, Am, Brasil.	<b>103</b>
<b>Tabela 6</b> – Relação de dependência entre o peso da amostra e a quantidade de sementes germinadas. Correlação de Spearman ( $\rho$ ). Urucu, AM, Brasil.	<b>105</b>
<b>Tabela 7</b> – Diversidade ( $H'$ ), Shannon (1948) e dominância ( $d$ ) (Berger e Parker 1970) para as sementes germinadas no experimento do banco de sementes. Urucu, AM, Brasil.	<b>106</b>

<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>111</b>
<b>Tabela 1</b> – Declividade das quadras onde foi realizado o plantio, Urucu 2006. Urucu, AM,Brasil.	<b>124</b>
<b>Tabela 2</b> – Percentual de mudas mortas por quadra em cada uma das áreas. Urucu, AM, Brasil.	<b>128</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>1</b>
<b>Figura 1</b> – Diferentes tipos de canais de escoamento das águas pluviais e processos erosivos associados, (Fonte: USDA/NRCS 2002).	<b>11</b>
<b>Figura 2</b> – Influência da vegetação na redução da perda de solo e do escoamento. Chuvas com intensidade alta $> 100 \text{ mm.h}^{-1}$ e intensidade baixa $< 25 \text{ mm.h}^{-1}$ . (Fonte: Garcia-Fayos, 2004 - modificado).	<b>12</b>
<b>Figura 3</b> - Modelo de relações entre a cobertura vegetal e a erosão em ambientes mediterrâneos. Este modelo representa os efeitos da cobertura vegetal sobre a erosão, assim como o efeito da erosão sobre a cobertura vegetal, e a retroalimentação entre a cobertura vegetal e a erosão do solo. (Fonte Garcia-Fayos, 2004 - modificado.).	<b>18</b>
<b>Figura 4</b> – Localização da província petrolífera de Urucu. Amazonas, Brasil.	<b>21</b>
<b>Figura 5</b> – Bacia Amazônica. (Fonte: Nasa - modificado)	<b>22</b>
<b>Figura 6</b> – Bacias sedimentares do Solimões, Amazonas e Parnaíba. Em 1 arco de Iquitos; 2 arco de Carauari; 3 arco do Purus. (Fonte: Barata e Caputo, 2007 - modificado).	<b>23</b>
<b>Figura 7</b> – Campos de óleo e gás na bacia do Solimões. Destacada a província de Urucu. (Fonte: Barata e Caputo, 2007 - modificado).	<b>24</b>
<b>Figura 8</b> - Seção geológica da Bacia do Solimões, segundo (Eiras,1999). (Fonte: Petrobras.)	<b>25</b>

- Figura 9** – Em “1” exposição da estratigrafia da formação Içá em Urucu. Em “2” conglomerado basal da formação Içá no piso de uma área. Em “3” detalhe do pacote mosqueado do topo da formação. Urucu, AM, Brasil . 26
- Figura 10** – Precipitação média e número de dias chuvosos. Urucu, AM, Brasil. 29  
(Fonte: Estação meteorológica Urucu).
- Figura 11** – Temperatura média mensal e pluviosidade. Urucu, AM, Brasil. (Fonte: 29  
Estação meteorológica Urucu).
- Figura 12** – Balanço hídrico com dados da estação de Tefé. Tefé, AM, Brasil. (Fonte 30  
INMET 2009)
- Figura 13** – Água armazenada no solo com dados da estação de Tefé. Tefé, AM, 30  
Brasil. (Fonte INMET 2009)
- Figura 14** – Esboço geomorfológico da província petrolífera de Urucu. Urucu, AM, 32  
Brasil. (Base: Imagem SRTM NASA)
- Figura 15** – Dossel da floresta nas imediações das coordenadas 04<sup>0</sup>53'09" S e 33  
65<sup>0</sup>19'59,79" W. À esquerda vista de cima para baixo e à direita vista de baixo para  
cima. Urucu, AM, Brasil.
- CAPÍTULO 2** 34
- Figura 1** – Localização das 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. 41
- Figura 2** – Atributos que interrelacionados definem as classes de mapeamento em 45  
campo das 39 áreas estudadas em Urucu, AM, Brasil.

- Figura 3** – Quantidade de áreas abertas nos intervalos de tempo considerados neste estudo. Urucu, AM, Brasil. **47**
- Figura 4** – Idade do plantio em 2007 das 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. **47**
- Figura 5** – Classes de vegetação mapeadas nos anos de 1991 e 1995, nas 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. (LUC, RUC, J, são denominações da empresa para identificação das áreas). **49**
- Figura 6** – Classes de vegetação mapeadas nos anos de 2001 e 2007, nas 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. (LUC, RUC, J, são denominações da empresa para identificação das áreas) **50**
- Figura 7** - Aspectos locais das áreas de 2,66 ha, à esquerda; 4,18 ha no centro e 2,4 ha à direita, em setembro de 2008. Em “A” gramínea *Andropogon bicornis* L iniciando a invasão da área, ao fundo o plantio (regeneração) e depois a floresta. Em “B” erosão no interior do plantio expondo o sistema radicular e comprometendo a estabilidade das árvores. Em “C” solo exposto às intempéries e a erosão, o que limita a colonização pela vegetação. Entre junho e setembro de 2001 foram plantadas: 6.000 mudas na área de 2,26 ha; 14.270 mudas na área de 4,18 ha e 4.620 mudas na área de 2,4 ha. Base imagem Quickbird setembro de 2004, disponível no aplicativo web Google Earth. Urucu, AM, Brasil. **55**
- Figura 8** – Em “A”, crosta formada pelo impacto das gotas de chuva (1). Em “2” um micropedestal também modelado pelas gotas de chuva. O escoamento superficial rebaixa a superfície. Em “B” em primeiro plano, área de espraiamento e deposição de partículas. No segundo plano, canais anastomosados - filetes. Urucu, AM, Brasil. **56**
- Figura 9** – Em “C” marcas de onda com partículas depositadas transversais ao fluxo. A ponta da lapiseira indica a direção do fluxo de água. Em “D” sulco de erosão com a deposição de partículas no leito. Urucu, AM, Brasil. **57**

**Figura 10** – Erosão rebaixando a superfície, expondo o sistema radicular das touceiras de gramíneas. A erosão limita a sobrevivência até mesmo de plantas ruderais invasoras. Urucu, AM, Brasil. **57**

### **CAPÍTULO 3** **59**

**Figura 1** – Tamanho X Quantidade de áreas abertas pela empresa petrolífera. **73**  
Urucu, AM, Brasil.

**Figura 2** – Pluviosidade média associada à quantidade de plantios no mês, entre os anos de 1991 a 2005. Urucu, AM, Brasil. **76**

**Figura 3**– Presença das 20 espécies mais utilizadas nas 167 áreas recuperadas, no período de 1991 a 2005. Urucu, AM, Brasil. **77**

**Figura 4** – Estimativa dos investimentos anuais na restauração de áreas entre os anos de 1991 a 2005. Urucu – AM, Brasil. **77**

**Figura 5** – Acompanhamento da regeneração de área com 2,83 ha. Em julho de 1996 foram plantadas 28.000 mudas de 13 espécies diferentes. Entre 2001 e 2007 a maior parte da área continuava com solo exposto. Urucu, AM, Brasil. **79**

**Figura 6** – Imagem Quickbird de 2004 da área de 2,83 ha. As fotos sobre a imagem orbital são de outubro de 2008. As setas indicam o local de onde a foto foi tirada e o ângulo de visada. Trata-se da mesma área da Figura 5. Urucu, AM, Brasil. **79**

**Figura 7** – Relação das áreas de solo exposto, regeneração e floresta para áreas de empréstimo e poços no ano de 2007. Urucu – AM, Brasil **81**

**Figura 8** – Áreas de exploração petrolífera na Amazônia Ocidental. Observar nas imagens menores o uso de gramíneas no controle da erosão e o plantio de mudas de árvores. **85**

<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>87</b>
<b>Figura 1</b> – Localização das áreas de coleta de amostras do banco de sementes, Urucu, AM, Brasil.	<b>93</b>
<b>Figura 2</b> – Tipos de cobertura protetora do solo. Em “A” solo exposto; em “B” gramínea; em “C” dossel do plantio. Urucu, AM, Brasil.	<b>94</b>
<b>Figura 3</b> – Amostra do banco de sementes. Volume de 0,004m <sup>3</sup> . Urucu, AM, Brasil.	<b>95</b>
<b>Figura 4</b> – Em “A” bandejas preparadas para irem para o viveiro. Em “B” distribuição das amostras no viveiro. Manaus, AM, Brasil.	<b>96</b>
<b>Figura 5</b> – Contagem e identificação da germinação. Manaus, AM, Brasil.	<b>97</b>
<b>Figura 6</b> – Média diária da variação da radiação solar incidente sobre as bancadas durante a germinação das amostras do banco de sementes. Fevereiro de 2008. Manaus, AM, Brasil.	<b>98</b>
<b>Figura 7</b> – Relação entre as áreas que apresentaram maior quantidade de sementes germinadas no ponto de erosão e no ponto de deposição. Urucu, AM, Brasil.	<b>100</b>
<b>Figura 8</b> – Escoamento superficial em área degradada. Observar a deposição de partículas transversais ao fluxo da água e a colonização pela vegetação às margens do canal de escoamento. Urucu, AM, Brasil.	<b>102</b>
<b>Figura 9</b> – Gramíneas crescendo às margens de uma área de deposição de sedimentos. Urucu,AM, Brasil.	<b>104</b>
<b>Figura 10</b> – As espécies que mais germinaram nos pontos de erosão e de deposição no banco de sementes das áreas com solo exposto. Urucu, AM, Brasil.	<b>107</b>
<b>Figura 11</b> – As espécies que mais germinaram nos pontos de erosão e de deposição no banco de sementes das áreas recobertas por gramíneas. Urucu, AM, Brasil.	<b>107</b>

- Figura 12** – As espécies que mais germinaram nas amostras do banco de sementes nas áreas recobertas pelo dossel do plantio. Urucu, AM, Brasil. **107**
- Figura 13** – As espécies mais encontradas no inventário ao redor dos pontos de coleta. Realizado em mês com média de pluviosidade 60 mm. Urucu, AM, Brasil. **108**
- Figura 14** – As espécies mais encontradas no inventário ao redor dos pontos de coleta. Realizado em mês com média de pluviosidade 250 mm. Urucu, AM, Brasil. **109**
- CAPÍTULO 5** **111**
- Figura 1** – Planialtimetria da área J 94 com a distribuição das quadras, Urucu, 2006. Urucu, AM, Brasil. **119**
- Figura 2** – Corte I – J, paralelo às linhas de plantio na quadra 8 da LUC 15. Os F3, F4, F5, F6 e F7 são os poços de sondagem. Urucu, AM, Brasil. **123**
- Figura 3** – Rebaixamento da superfície expondo o sistema radicular da planta. Urucu, AM, Brasil. **125**
- Figura 4** – Correlação entre o total de plantas mortas e as plantas mortas associadas a processos de erosão  $r=0,742$ . Urucu, AM, Brasil. **128**

# **CAPÍTULO 1**

## **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

### **1.1 OBJETIVO**

- Introduzir o tema da tese e seus fundamentos norteadores.

## 1.2 INTRODUÇÃO

A expansão da pesquisa e exploração de hidrocarbonetos na Amazônia Ocidental ameaça a rica biodiversidade e sociodiversidade ali existente. A eficácia dos trabalhos desenvolvidos pela indústria petrolífera para a restauração das áreas degradadas é um dos indicadores da sustentabilidade desta atividade econômica.

No Brasil, para minimizar os impactos ambientais a empresa petrolífera investe na restauração das áreas. Faz uma abordagem dendrológica, focada na regeneração natural assistida. Na base desta linha de ação estão os fundamentos da sucessão vegetal secundária. Neste contexto esta tese está contida na rede CT-Petro Amazônia que reúne diversas instituições e pesquisadores na busca do desenvolvimento de tecnologias para a recuperação de ecossistemas e conservação da biodiversidade na Amazônia brasileira. Os estudos relacionados à restauração das áreas, em sua grande maioria, têm sido direcionados aos aspectos ecológicos, florestais, botânicos, faunísticos e os ligados à ciência do solo. Credita-se isto não só a abordagem conceitual de ecólogos, biólogos, engenheiros florestais e agrônomos, mas, também, ao reduzido número de pesquisa e instrumentos disponibilizados pelos geocientistas a esses pesquisadores. Mesmo sendo importantes, poucas são as pesquisas que integram os diferentes campos da ciência.

O desafio desta pesquisa é mostrar aspectos da interface entre a ecologia e a geomorfologia. Objetiva estudar a influência recíproca entre erosão<sup>1</sup> e sucessão vegetal. Essa integração tem como elo entre os fatores bióticos e abióticos a água em movimento. Analisa o plantio de árvores e sua eficácia no controle da erosão e cicatrização do dossel. Apresenta uma proposta de classificação das áreas abertas e utilizadas pela indústria de pesquisa e exploração de hidrocarbonetos, fundamentada nos usos pretéritos e substrato, que implicam em diferentes respostas à regeneração natural e as técnicas de restauração. Estuda o efeito da erosão, transporte e deposição sobre o banco de sementes e o estabelecimento de mudas de árvores plantadas.

---

<sup>1</sup> Erosão – A palavra é utilizada no sentido do trabalho mecânico realizado pela água em movimento e que também pode ser realizado pelo vento. Envolve o desprendimento, transporte e a deposição de partículas.

O primeiro capítulo contém a introdução, o embasamento teórico, a localização da área, a caracterização da paisagem e os objetivos. Os capítulos subsequentes, elaborados na forma de artigos, remetem as informações básicas como localização e caracterização da área ao conteúdo deste primeiro capítulo.

O segundo capítulo tem o objetivo de analisar a eficácia do plantio de árvores, para o controle da erosão e cicatrização do dossel. A análise é fundamentada na variação cronológica espacial da relação entre dossel → solo exposto → regeneração → dossel do plantio, a partir da classificação automática supervisionada de uma série cronológica de imagens orbitais. Apóia a interpretação em dados diretos e no resultado de pesquisas desenvolvidas no âmbito da rede CT-Petro Amazônia. Estudo inovador que permite uma visão histórica e evolutiva da província petrolífera e das atividades de restauração ali promovidas. Destaca que as áreas utilizadas no contexto da exploração de hidrocarbonetos sofrem alterações profundas, que por vezes superam a resiliência do ecossistema. Condição que é diferenciada das clareiras naturais e das abertas para uso da atividade agropecuária.

O terceiro capítulo tem como objetivo classificar as áreas utilizadas pela indústria petrolífera. As áreas são classificadas em função dos diferentes usos, porque estes usos implicam em diferentes alterações no ecossistema. O que resulta em maior, ou menor, resiliência quando de sua regeneração natural ou induzida.

O quarto capítulo testa o efeito do processo erosão→deposição na quantidade e diversidade de propágulos no banco de sementes do solo, considerando este efeito em diferentes tipos de exposição do solo as intempéries. Estudo importante para entender os padrões de estabelecimento das espécies, a estrutura das comunidades de plantas e com isto possibilitar o desenvolvimento de técnicas para restaurar os ecossistemas perturbados. Na Amazônia e no Brasil esta pesquisa com banco de sementes em áreas em processo de restauração é inovadora.

O quinto capítulo testa a influência da erosão no estabelecimento de mudas plantadas para restaurar a floresta. Apresenta a relação de dependência entre a mortalidade de mudas e a presença de processos erosivos. Discute esta dependência a partir da perspectiva ecológica. Evidenciando a importância do

controle da erosão nos plantios que buscam a restauração. Após o artigo são apresentadas as conclusões da tese e recomendações para continuidade das pesquisas e aperfeiçoamento das técnicas empregadas na restauração florestal. A bibliografia citada finaliza o trabalho.

### **1.3 EMBASAMENTO TEÓRICO**

O embasamento teórico desta tese abriga conceitos da ecologia e da geomorfologia, estão contidos na teoria da sucessão vegetal, clareiras, erosão e nas interações entre a vegetação e a erosão, que são apresentados a seguir.

#### **1.3.1 SUCESSÃO VEGETAL**

Este tema é relevante para esta tese porque as técnicas de restauração têm raízes na teoria da sucessão. O aperfeiçoamento da restauração florestal em Urucu passa pela mudança na forma de como focar a sucessão vegetal nas áreas degradadas.

A sucessão ecológica é um dos conceitos fundamentais em ecologia. Trata da modificação seqüencial na densidade e frequência de espécies animais e vegetais em uma comunidade biótica. Quando o processo diz respeito apenas à comunidade de plantas recebe a denominação de sucessão vegetal. A sucessão desenvolvida a partir de um ambiente estéril, geralmente caracterizada pela baixa fertilidade do solo, denomina-se sucessão primária (Gorham *et al.*, 1979). A sucessão primária pressupõe ausência de legado biológico, isto é, sem prévia vegetação, banco de sementes, ou matéria orgânica que origine a vegetação primária. A sucessão desenvolvida em locais previamente habitados, que sofreram alterações ambientais causadas ou não pelo ser humano, na qual participam sementes ou plântulas da vegetação preexistente, denomina-se sucessão secundária (Glenn-Lewin *et al.*, 1993). O tema foi tratado pelo holismo neo-clemensiano até a metade do século XX. Nos dias atuais prevalece o modelo reducionista. A clássica dicotomia entre holismo e reducionismo constitui um marco adequado para quem estuda a teoria da sucessão (Walker, 2005).

O holismo concentra sua atenção nas trocas, nas diversidades, na produtividade, na biomassa, na eficiência da reciclagem de nutrientes e outras características dos ecossistemas. O paradigma norteador é a natureza em equilíbrio. Considera que o desenvolvimento da vegetação em um lugar segue uma série fixa e previsível de etapas, que culminam com uma comunidade estável de plantas em equilíbrio com o ambiente físico. Este estágio é denominado clímax. No caso, a sucessão diz respeito apenas às interações entre a comunidade biótica – plantas e animais. O retrocesso ocorre somente no caso de uma interferência como o fogo ou a erosão. A comunidade clímax em uma região esta determinada pelo clima, constituindo assim o clímax climático. Com o passar do tempo este conceito foi aperfeiçoado, considerando uma multiplicidade de outros estados de equilíbrio, a exemplo do clímax edáfico. Esta teoria está fundamentada no conceito de equilíbrio da natureza (Clements 1916 e 1936; Whittaker, 1953; Deléage, 1991; Vallauri, 1997; Walker e Del Moral, 2003).

Os reducionistas, ao estudarem a sucessão, enfatizam as perturbações (distúrbios), os fenômenos estocásticos, as histórias de vida e interações entre espécies. Convencidos que a sucessão é a consequência imprevisível da interação de cada espécie com seu entorno biótico e abiótico. Um novo paradigma foi colocado para os estudos ecológicos, o da natureza em fluxo. As consequências desta mudança de paradigma são diversas. Em substituição ao conceito de clímax, apresenta o conceito de equilíbrio dinâmico. O equilíbrio do sistema apresenta oscilações a cada instante, devido à entrada de um elemento exótico ao sistema. A evolução da biodiversidade modifica constantemente o sistema, inclusive em se considerando um sistema fechado (Gleason, 1926; Pickett e Mc Donnell 1989; Glenn-Lewin *et al.*, 1992; Vallauri, 1997, Pickett e Parker, 1994; Gratzner *et al.*, 2004).

Mesmo com diferentes enfoques, existem tendências gerais para caracterizar as trocas no funcionamento dos ecossistemas durante a sucessão, a saber: **a)** a biomassa e a produção são incrementadas ao longo da sucessão, com taxas diferenciadas. O que supõe uma diminuição do quociente entre produção primária e biomassa; **b)** a massa de heterótrofos aumenta com relação à biomassa total; **c)** o comprimento das cadeias tróficas aumenta; **d)** o número de espécies aumenta assim como a diversidade de espécies; **e)** a reciclagem intensa de nutrientes aumenta e a taxa de renovação diminui; **f)** os mecanismos de homeostasia são mais efetivos,

graças a uma maior longevidade dos organismos; **g**) a sucessão é, portanto, um processo auto-organizado (Margalef, 1963, 1997; Odum, 1969, 1992; Diersen 2000; Solè e Bascompte, 2006).

Os distúrbios são um importante fator a interferir na sucessão vegetal, são eles os responsáveis pela abertura de clareiras nas florestas. Trata-se de um mecanismo dinâmico que modifica as interações competitivas, os mosaicos sucessionais e a trajetória do ecossistema. A dinâmica do ecossistema é função das interações espaço temporais do regime de eventos. A análise do distúrbio considera sua dimensão temporal, espacial e magnitude. A dimensão temporal inclui a data de ocorrência, frequência e previsibilidade. A frequência diz respeito às repetições que o distúrbio acontece em um intervalo de tempo. A previsibilidade esta relacionada à periodicidade do distúrbio, seu ciclo de ocorrência em um intervalo de tempo. Fatores que ditam o ritmo da sucessão e regeneração da floresta. A dimensão espacial corresponde à extensão (escala) e a localização do distúrbio, refletindo no tamanho da clareira e sua posição geográfica. A magnitude diz respeito à severidade, indicada por seus efeitos no ecossistema. A magnitude se reflete no tipo de queda, na geometria, no ambiente interno e na capacidade de regeneração da área afetada. As variações entre as características temporais, espaciais e a magnitude dos distúrbios podem afetar a resiliência dos ecossistemas nos locais afetados pelo distúrbio. Assim como a utilização de diferentes definições de clareiras levam a resultados diversos no estudo de sua dinâmica (Glenn-Lewin *et al*, 1993; van der Meer *et al*, 1994; Jentsch, 2007).

Os distúrbios naturais acarretam a queda de uma ou mais árvores e são provocados pela morte de um indivíduo, escorregamentos de solo, furacões, blowdown, fogo, dentre outros. Existem também distúrbios não naturais, causados pelos seres humanos. Estudos em clareiras originadas por distúrbios não naturais a exemplo de incêndios, corte seletivo, desmatamento, mudanças no uso do solo, foram desenvolvidos por pesquisadores como Higuchi *et al.*, (1997); Zimmerman *et al.*, (2000); Hooper *et al.*, (2004 e 2005); Holl (2006), Oliveira, *et al.*, ( 2006), Jardim *et al.*, (2007), Laurence *et al.*,( 2007). As áreas objeto deste estudo foram todas abertas por distúrbios não naturais.

### 1.3.2 CLAREIRAS

As áreas abertas e utilizadas pela exploração de petróleo são genericamente denominadas clareiras. A restauração destas áreas impõe uma reflexão sobre o que é uma clareira; seja no aspecto da sucessão vegetal; seja na resposta às práticas de restauração; seja na realidade observada em campo.

No estudo da sucessão, atenção especial deve ser dedicada às bordas das manchas de vegetação. Isto porque são nas bordas que os processos de substituição são mais intensos. O processo de sucessão é uma combinação hierárquica de processos elementares, ou seja: **a)** a planta individual é a unidade básica que atinge o sítio e neste local sobrevive e morre; **b)** a dinâmica dentro e as interações entre populações determina um grau de integração entre indivíduos, uma comunidade vegetal *stricto sensu*; **c)** onde uma comunidade termina há uma borda (Orlói, 1993). As bordas normalmente estão associadas às clareiras.

Por definição clareira natural é uma abertura no dossel que se estende verticalmente para o solo, através de todos os níveis da vegetação, limitada pela vegetação maior que dois metros de altura (Brokaw 1982). Ou ainda pode ser definida como uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que circundam a abertura do mesmo (Runkle 1981). As clareiras são consideradas protagonistas na regeneração de florestas tropicais, contribuindo para diversidade das mesmas. O estudo das clareiras naturais pode ser dividido em duas grandes linhas: **1)** Estudos sobre a estrutura – tamanho, tipo de queda, geometria, zoneamento interno, ambiente de clareira e periodicidade; **2)** estudos sobre a regeneração – fontes de regeneração, evolução da clareira, grupos ecológicos, sucesso de colonização (Hubbell e Foster, 1986).

O tamanho e a distribuição das classes de tamanho das clareiras são considerados fundamentais para o entendimento da composição e dinâmica da floresta, na medida em que o tamanho condiciona a entrada de luz e determina a área dos mosaicos que irão compor a estrutura da floresta. O tipo de queda gera situações distintas quanto à entrada de luz e revolvimento do solo. A geometria das clareiras procura entender as clareiras a partir de figuras geométricas tridimensionais, cada qual com diferenças na entrada de luz e por conseqüência no processo de regeneração. A diversidade de identificação de formas e maneiras de descrever indica que o ideal é considerar cada clareira dentro das particularidades

de sua formação (Oldeman, 1978; Runkle, 1982; Brokaw, 1985; Hubbell e Foster, 1986; Almeida, 1989; Martinez-Ramos *et al.*, 1989; Clark, 1990; Tabarelli e Mantovani 1999; Lundquist e Beatty, 2002).

As diferenças na entrada de luz e disponibilidade de nutrientes dentro de uma mesma clareira cria diferentes ambientes, denominados - zonas. O zoneamento interno considera os diferentes ecossistemas criados no entorno da árvore caída. Há, também, o zoneamento considerando a borda e o centro da clareira, na medida em que há diferenças microclimáticas e estruturais entre o centro e a borda, influenciando a regeneração das espécies (Orians, 1982; Hubbell e Foster 1986; Popma *et al.*, 1988; Brown 1993).

A abertura e fechamento de clareiras é o principal mecanismo de manutenção das florestas tropicais. Consiste, basicamente, na renovação florestal através de um processo contínuo de crescimento e morte que tem a clareira como o início de novos ciclos de crescimento (Watt 1947, Brokaw, 1985; Hubbell e Foster, 1986, Whitmore 1989, 1990). Embora estudos como de Montgomery & Chazdon (2002) destaquem mecanismos de regeneração sem a influência de clareiras.

A periodicidade na abertura das clareiras é um importante componente dos distúrbios em florestas tropicais, na medida em que o período de abertura afeta a composição do banco de sementes e plântulas disponíveis para colonização do espaço aberto (Bazzaz 1983, Dalling *et al.*, 1997, 2002). Isto porque a grande maioria das espécies vegetais não produz sementes continuamente ao longo do ano (Garwood 1983, Van Schaik *et al.*, 1993). Assim como as sementes que chegam antes, ou logo após a formação da clareira, tem mais chances de germinação e estabelecimento do que aquelas envoltas pela serrapilheira ou sob o solo (Denslow e Hartshorn 1994). Na Amazônia, Índia, México, Costa Rica e Panamá o pico de formação de novas clareiras corresponde à estação de maiores índices pluviométricos (Uhl *et al.*, 1988; Nelson, *et al.*, 1994; Dalling e Hubbell 2002; Brokaw 1982; Brandani *et al.*, 1988).

No processo de regeneração da floresta o estabelecimento de novos indivíduos se dá por propágulos oriundos da dispersão (chuva de sementes), pelo banco de sementes, plântulas ou ainda a partir da reprodução vegetativa. O balanço entre estes modos de regeneração influencia o sucesso ou a dominância de cada espécie na comunidade. Na regeneração de clareiras naturais ou artificiais a

dispersão de propágulos é um elemento chave. Trata-se de um processo que ocorre no espaço e no tempo, podendo ser classificada como primária ou secundária. A dispersão primária pode ser: a) baricórica; b) pelo vento (anemocória); c) por animais (zoocória); d) auto-dispersão (autocória); e) hidrocória. A dispersão secundária é feita por processos abióticos e por animais. Ocorre após a semente chegar ao solo pela dispersão primária. Comparativamente, a dispersão secundária promovida pelos animais é mais estudada que a realizada pelos fatores abióticos. (Van der Pijl, 1982; Schupp *et al.*, 1989; Howe *et al.*, 1985; Harper, 1997; Kennard *et al.*, 2002; Rodrigues *et al.*, 2004; Araújo, 2002, Nascimento *et al.* 2002; Siqueira 2002; Vander Wall *et al.*, 2005).

As sementes que chegam ao solo pelos mecanismos de dispersão - chuva de sementes - bem como aquelas presentes na serrapilheira compõem o banco de sementes. Entendido como reservatório de sementes viáveis existente em determinada parcela do solo (Baker, 1989; Garwood, 1989). A regeneração tem pelo menos quatro processos relacionados ao banco de sementes: **1)** colonização e estabelecimento de populações; **2)** manutenção da diversidade de espécies; **3)** estabelecimento de grupos ecológicos; **4)** restauração da riqueza de espécies (Uhl *et al.*, 1988). A composição das sementes do banco necessariamente não tem correspondência direta com a composição florística da mata primária. As plantas pioneiras, por produzirem sementes em maior quantidade, predominam no banco de sementes (Leal Filho, 2000). As sementes menores penetram com maior facilidade nas gretas e fendas do solo e as que possuem dormência, permanecem mais tempo viáveis (Grime *et al.*, 1988; Thompson, 1979; Thompson e Grime 1979). O sucesso da regeneração tem ligação com a densidade de sementes prontas para germinar e as condições ambientais favoráveis para seu estabelecimento. Como algumas sementes são fotossensíveis germinam com rapidez quando a luz do sol chega até elas, podendo estas plântulas permanecer em estado de latência. Em função do tempo de permanência das sementes no solo, o banco de sementes pode ser classificado em: persistente e transitório. No persistente, as sementes permanecem aptas a germinar por períodos superiores a um ano. Nos transitórios as sementes permanecem aptas a germinar em parte do ano. Os estudos sobre a regeneração de clareiras são especialmente focados na sucessão secundária. (Cheke *et al.*, 1979; Roberts, 1981; Richards, 1998).

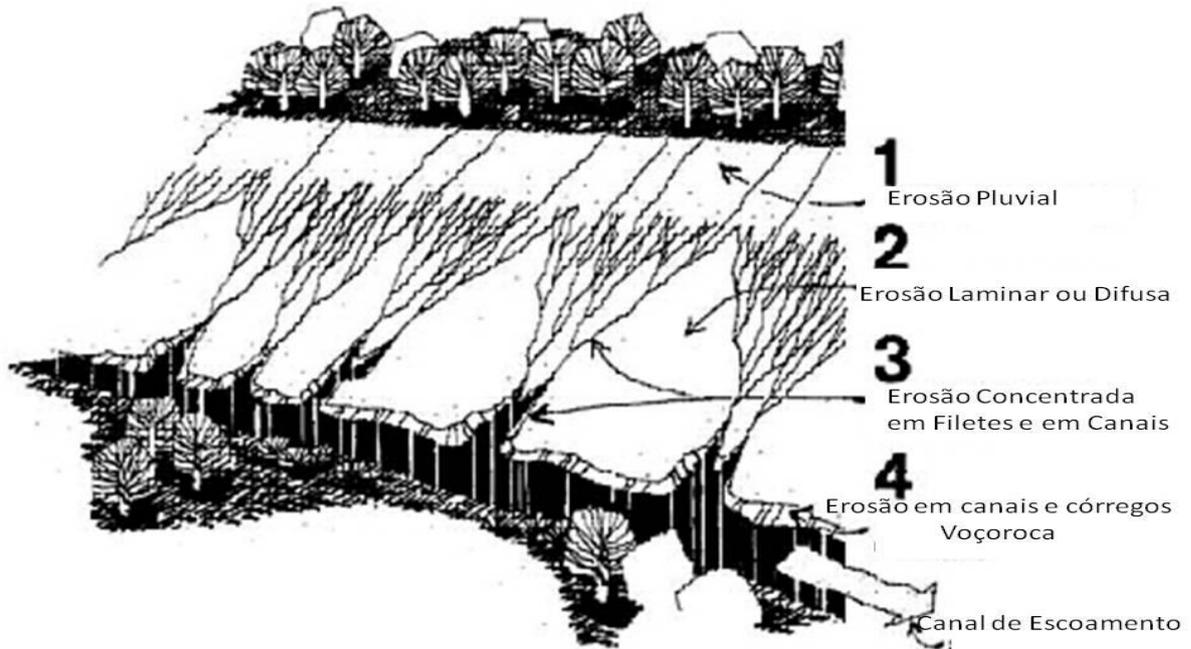
Além das sementes, chegam ao solo diferentes materiais disponibilizados pela biota. Principalmente, folhas, caules, frutos, flores e resíduos animais. Dentre outras funções ecológicas a serrapilheira desempenha um importante papel na minimização da erosão. Ela absorve até 300 vezes o seu peso em volume de água, minimizando assim o escoamento superficial (Dias e Oliveira Filho, 1997; Barnes *et al.*, 1997; Ferreira *et al.*, 2005). Os restos vegetais representam obstáculos ao escoamento superficial diminuindo assim a velocidade do escoamento e evitando a concentração do fluxo. Ao reduzir a velocidade e minimizar a concentração em um único canal diminui o poder erosivo da água em movimento.

### **1.3.3 EROSÃO**

A erosão é um fenômeno resultante da desagregação, transporte e deposição das partículas de solo pela ação seqüencial ou isolada do vento, da chuva e do escoamento superficial. A erosão costuma ocorrer na superfície do solo, removendo a porção mais fértil do perfil, onde há melhores condições físicas e biológicas para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. É um processo natural, com a participação da gravidade, a partir do qual os relevos e irregularidades do modelado terrestre se equilibram (Guerra., 2007).

A erosão é um processo que pode ser subdividido em três fases. A primeira consiste do desprendimento das partículas da rocha ou dos agregados do solo. Este desprendimento habitualmente ocorre pela ação da gravidade com a ajuda de outras forças como a ação do vento, da água ou da temperatura. Sendo que os agregados de solo podem se desprender pela ação das gotas de chuva. Em uma segunda fase, as partículas desprendidas na fase anterior são transportadas pelos agentes erosivos como a gravidade, a água e o vento. Durante o transporte, estas partículas podem atuar como agentes abrasivos, na medida em que ao entrarem em contato com o solo podem provocar o desprendimento de novas partículas. Na terceira fase ocorre a deposição das partículas, oportunidade em que a energia dos agentes de transporte diminui, ou diminuem as irregularidades do terreno, ou mesmo a vegetação passa a reter o fluxo de partículas no todo ou em parte (Garcia-Fayos, 2004).

Existem dois tipos de erosão: a natural e a acelerada. A erosão acelerada é a provocada pelos seres humanos. Ambas podem se manifestar como erosão laminar e erosão em sulcos (gully erosion). A erosão laminar pode ser difusa (sheet erosion) ou concentrada (rill erosion), (Figura 1).



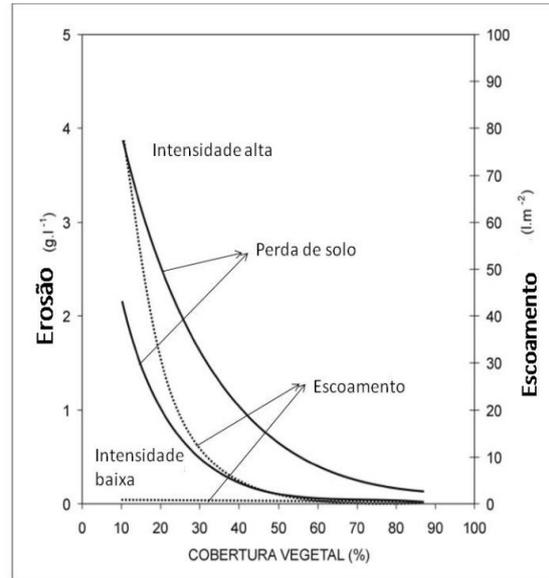
**Figura 1** – Diferentes tipos de canais de escoamento das águas pluviais e processos erosivos associados, (Fonte: USDA/NRCS 2002 - modificado).

Os canais de escoamento são moldados por processos erosivos e podem ser classificados em função do aprofundamento do entalhamento (Bigarella *et al.*, 2007) (Tabela 1).

**Tabela 1** – Classificação dos canais de escoamento em função do aprofundamento, (Bigarella *et al.*, 2007).

Tipo	Profundidade	Tipo	Profundidade
Ranhura ou filete	Até 5cm	Vala	30 a 100cm
Sulco	5 a 30 cm	Ravina	> 100cm

A vegetação interfere no sentido de minimizar a erosão na medida em que: a) aumenta a estabilidade dos agregados do solo; b) aumenta a coesão do solo; c) protege do impacto das gotas de chuva; d) aumenta a capacidade de infiltração; e) reduz o escoamento superficial (Garcia-Fayos, 2004), (Figura 2).



**Figura 2** – Influência da vegetação na redução da perda de solo e do escoamento. Chuvas com intensidade alta  $> 100\text{mm.h}^{-1}$  e intensidade baixa  $< 25\text{mm.h}^{-1}$  (Fonte: Garcia-Fayos, 2004 - modificado).

Franken *et al.*, (1992) estudando a interceptação da chuva pelo dossel da floresta nos arredores de Manaus concluiu que em média 77% da precipitação chega ao solo. Na Amazônia Venezuelana Jordan e Heuveldop (1981) concluíram que 95% da precipitação chega ao solo. Valores maiores dos que os encontrados para a floresta na Malásia onde a interceptação da chuva pela floresta varia de 25 a 80% (Sim, 1972). Os diferentes estratos florestais fragmentam os pingos das chuvas em frações menores e a energia cinética se dissipa no impacto com as folhas. Ao chegar à superfície do terreno a serrapilheira fragmenta ainda mais a gota de chuva e amortece o impacto da água sobre o solo. Considerando índices pluviométricos acima de 2.000mm anuais, um volume considerável de água chega e a transita sobre o solo.

Estas sucessivas interceptações fazem com que sob o dossel da floresta a infiltração ocorra intensamente. Com a saturação de água no solo passa a predominar o escoamento difuso, que molda a forma côncava das vertentes e forma vales em “V” (Ab Saber, 1965). Em função da declividade da vertente, dos índices pluviométricos, características físicas do solo, do peso da vegetação e da ação de animais, podem se instalar processos como “creep” e a solifluxão, que ocorrem de forma localizada nas vertentes (Tricart, 1965). De forma generalizada o escoamento difuso transporta de maneira lenta e efetiva o solo nas áreas florestadas. A perda anual de solos em florestas tropicais húmidas varia de 30 a 350  $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ,

valores próximos aos encontrados para o bioma caatinga e cerrado (Leprun, 1994). A variação dos valores medidos pode estar relacionada a: **a)** periodicidade e intensidade das chuvas; **b)** estrutura vertical da floresta (organização dos diferentes estratos florestais); **c)** quantidade e tamanho dos fragmentos vegetais da serrapilheira; **d)** características físicas do solo (Pradini *et al.*, 1976; Ponçano e Cristofolletti, 1987; Tavares e Vitte 1989; Martini *et al.*, 2006).

Um caminho para entender os fatores envolvidos na erosão do solo passa pela compreensão da Equação Universal de Perda de Solo – USLE que é um modelo desenvolvido por Wischmeier e Smith (1965; 1978) com a finalidade de gerenciar os dados empíricos da perda de solos obtidos em múltiplas parcelas de cultivo nos Estados Unidos. Seu objetivo era quantificar as perdas de solo pela agricultura devido à erosão hídrica e relacioná-los com diversos parâmetros do solo e das precipitações, para poder estabelecer um modelo capaz de prever a taxa de erosão a partir de uns poucos fatores. Sua representação matemática é  $A = R K L S C P$ . Onde: **A** = perda média anual de solo; **R** = erosividade das chuvas; **K** = erodibilidade dos solos; **LS** = fator topográfico - declividade / comprimento da encosta; **C** = cultivo e manejo; **P** = prática conservacionista.

Estes fatores podem ser agrupados em duas categorias:

- 1) **R K LS** ligam-se ao potencial natural de erosão laminar dos solos. Dependem das características naturais e só podem ser modificados através de mudanças no ambiente. Como mudanças climáticas ou erosões importantes a ponto de modificar a topografia;
- 2) **C P** estão relacionados às formas de ocupação e uso da terra. Podem ser alterados pela intervenção humana, a exemplo da modificação do tipo de cultivo.

A erosividade das chuvas (**R**) é a capacidade potencial da chuva causar erosão no solo. O conceito corresponde às perdas por erosão devido às chuvas, em solo perfeitamente uniforme, com comprimento de rampa e declividade padronizados, totalmente homogêneo, com cobertura vegetal também padronizada.

A erosividade das chuvas está relacionada à erosão pluvial e pode causar: a) desagregação do solo em partículas; b) obstrução dos poros do solo pelas

partículas; c) redução da capacidade de infiltração de água pelo selamento (Cardoso *et al.*, 2004). A quantidade de solo desestruturado está relacionada a: a) intensidade da precipitação; b) velocidade com que a gota atinge o solo; c) tamanho da gota.

A interceptação da chuva pela floresta equatorial representa uma importante parcela do total de água que cai sob a forma de chuva. Parte desta água retorna à atmosfera, por evaporação, antes de chegar ao solo. A floresta é capaz de interceptar algo em torno de 25,6% a 11,6% do total de chuvas (Ferreira e Dallarosa, 2005). Sendo que a gota de chuva que chega ao solo é fragmentada pelos sucessivos estratos da floresta. Por outro lado, no caso do desflorestamento, a erosão do solo chega a ser 1.000 vezes maior. (Pradini *et al.*, 1976; Fritsch e Sarrailh, 1986; Ferreira *et al.*, 2005).

A erodibilidade dos solos (K) pode ser conceituada como o índice relativo às propriedades inerentes ao solo, que reflete a sua susceptibilidade à erosão. Portanto, trata-se de um fator intrínseco a cada tipo de solo. As propriedades do solo que influenciam na erosão são: a) as que controlam a velocidade de infiltração da água – permeabilidade e capacidade de absorção; b) As de ordem coesiva – resistem à dispersão, salpicamento, abrasão, força de transporte das chuvas e enxurradas (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

O fator topográfico (LS) significa que a perda de solo por erosão está na razão direta do comprimento da rampa e da inclinação do terreno. Representa as perdas de solo esperadas para uma unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 22,1m de comprimento com 9% de declividade. Atribui-se um maior potencial erosivo às encostas mais íngremes. Assim como é maior a perda de solos nas encostas mais longas, quando comparadas às encostas mais curtas.

O fator uso e manejo (C) está relacionado à interação dos diferentes graus de proteção oferecidos pelas culturas em seus diferentes estágios de desenvolvimento. Bem como a incidência dos fatores climáticos, à produtividade dos solos e ao manejo decorrente dos tratamentos culturais. Trata-se do quociente entre a erosão medida na parcela padrão, utilizada para determinação da erodibilidade do solo (K). Portanto, é um fator que tem que ser determinado experimentalmente, a partir do

comparativo entre uma parcela mantida sem vegetação e preparada para o plantio, com uma parcela semelhante, porém cultivada.

O fator prática conservacionista (P) é um fator dificilmente separável do fator uso e manejo (C). Trata-se da relação das perdas de terra ou água em um terreno cultivado segundo as normas conservacionistas, com um terreno análogo plantado e cultivado contrariando as normas conservacionistas.

O modelo da USLE embora tenha sido revisado e melhorado (Sanroque *et al.*, 1983; Renard *et al.*, 1991, 1998; Sonneveld e Nearing, 2003), tem sido criticado por suas carências e falta de ajustes às previsões fora das condições climáticas na qual foi desenvolvido. Inclusive quando se considera um período longo de tempo. A equação não leva em consideração as interações entre os fatores envolvidos, como os parâmetros hidrológicos e geomorfológicos. Também não é capaz de quantificar a erosão em sulcos e canais (Morgan, 1997). Mas tem o seu valor intrínseco, por ter sido um marco conceitual e ter estudado o papel da vegetação no controle da erosão e suas relações com os outros fatores que a desencadeiam.

A abertura do dossel altera por completo esta dinâmica. O sistema passa a buscar outro ponto de equilíbrio dinâmico. Para entender a erosão em Urucu é preciso conhecer como são abertas as áreas, que tem dimensões que variam de 0,02 hectares a sete hectares. O distúrbio está representado por: **a)** retirada de toda cobertura vegetal e banco de sementes; **b)** retirada dos horizontes do solo pela extração mineral para as obras civis e/ou pela terraplanagem, normalmente ficando a rocha intemperizada como piso; **c)** compactação como complemento à terraplanagem e/ou trânsito de veículos e máquinas pesadas; **d)** eventual contaminação por óleo e graxas e/ou deposição de resíduos sólidos e de lavra.

Com o dossel aberto aumenta a radiação solar incidente no terreno, refletindo em aumento da temperatura e redução da disponibilidade hídrica. As gotas de chuva passam a impactar diretamente o solo, desagregando grumos e aumentando ainda mais a compactação pela formação de uma crosta fina, favorecendo o escoamento superficial. Processo conhecido como erosão pluvial (Poesen e Savat, 1980, 1981).

A erosão pelo escoamento das águas pluviais que merecem maior atenção e controle por parte da companhia petrolífera são aquelas próximas as tubovias e vias de acesso, tendo em vista os prejuízos materiais que causam e podem causar.

Nestes locais se desenvolvem sulcos de erosão até vossorocas (Vieira *et al.*, 2005). Nas áreas abertas utilizadas para empréstimo, perfuração de poços e bota fora, a erosão atua com intensidade. Arruda (2005), quantificou a erosão nestes sítios em 30 parcelas em diferentes áreas. A média destas medidas é de  $170,12 \pm 94,36$  ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Valor que varia em função da declividade, intensidade da chuva, tempo da precipitação e do intervalo entre as precipitações.

#### **1.3.4 INTERAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL COM A EROSÃO**

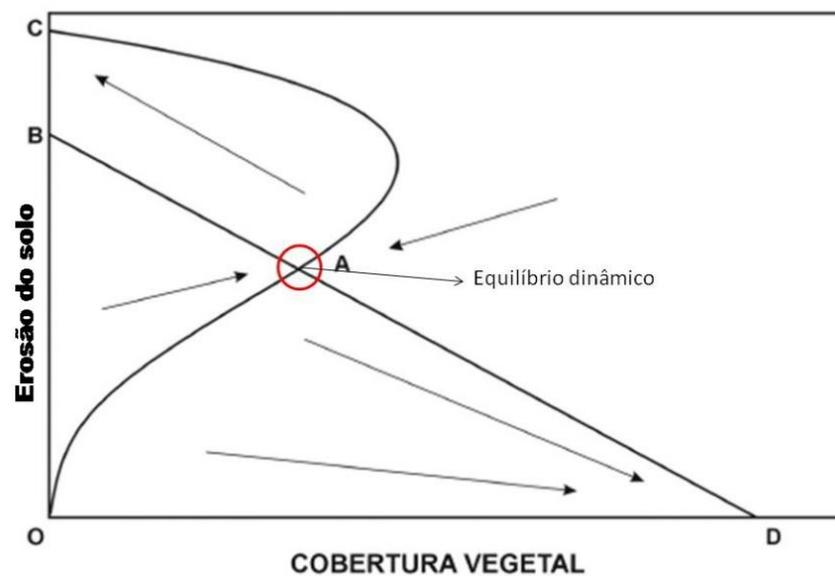
Este estudo transdisciplinar resgata os princípios do que foi denominado como “moderna ecologia”, quando se reconheceu que as comunidades de plantas mudam quando o substrato muda. Estas comunidades vegetais têm participação ativa na mudança do substrato (Cowles, 1899). A dinâmica de abertura do dossel nas florestas tropicais pode estar relacionada a um fenômeno comum na natureza, conhecido como “criticalidade auto-organizada”. Sistemas criticamente auto-organizados, ou no estado crítico, são aqueles sistemas onde os elementos constituintes podem influenciar uns nos outros, direta ou indiretamente (Solé e Monruba, 1995; Solé *et al.*, 1999). Os processos bióticos, relacionados a sucessão vegetal, e os abióticos, relacionados a erosão, estão contidos nesta abordagem ampla.

Ao interrelacionar ecologia com a geomorfologia o desafio está em integrar diferentes paradigmas, métodos de pesquisa, abordagens e medidas de sucesso. Os eixos que limitam e definem este enfoque são: a) a estrutura e os processos dos ecossistemas; b) a escala de tempo e espaço onde a dinâmica natural acontece (Thoms e Parsons, 2002; Wu e Hobbs, 2002; Sebastian, 2007). Este desafio passa por uma melhor compreensão e integração da pesquisa ecológica com a geomorfológica. Entender como estes processos interagem e qual o processo de resposta entre eles é importante para o desenvolvimento de técnicas efetivas de restauração. Os processos ecológicos e geomorfológicos ocorrem na mesma escala de tempo e espaço, integrar estudos sobre os processos erosivos com os de sucessão vegetal não é o único caminho, mas é representativo do novo paradigma (Mayer e Rietkerk, 2004; Renschler *et al.*, 2007).

Dois autores lançaram as bases teóricas que permitiram começar a estruturar esta tese, um ecólogo (Grime, 1977), e um geógrafo (Tricart, 1977). Sob a ótica da ecologia Grime (1977) considera que a diversidade genética da maioria das plantas vasculares é fruto de pressões resultantes da combinação específica entre competição, estresse e distúrbios. O estresse está associado à limitação da produção de biomassa, motivada por restrições ou excesso quanto ao provimento de luz, água e nutrientes. O distúrbio está ligado a destruição parcial ou total da biomassa, motivada por herbivoria, ataque de patógenos ou erosão do solo. Para diferentes intensidades de um e do outro, as plantas adotam diferentes estratégias de ocupação do espaço. Para baixa intensidade de distúrbio e estresse adotam a estratégia da competição; para os distúrbios de baixa intensidade e alta intensidade de estresse adotam a estratégia de tolerância ao estresse; para alta intensidade de distúrbio e baixa intensidade de estresse adotam a estratégia ruderal. Entretanto, quando é alta a intensidade do distúrbio e do estresse não há estratégia viável para o desenvolvimento de plantas vasculares (Grime, 1977).

Sob a ótica das geociências, nas florestas tropicais existe uma integração dialética entre a alteração geoquímica das rochas e a erosão superficial, sendo que os processos de lixiviação e lessivagem promovem a disjunção das ligações ferro-argila, instabilizando os horizontes superficiais, preparando-os para o processo erosivo (Büdel, 1982). O estudo das paisagens intertropicais identifica esta fase como biostasia (Erhart, 1956), ou fitoestasia (Tricart, 1977), na medida em que os processos morfogenéticos são fracos ou nulos, existindo um equilíbrio entre o potencial geoecológico e a exploração biológica. Período que o balanço morfogenético é negativo, com a pedogênese predominando sobre a morfogênese, meio estável (Tricart, 1977). No meio estável há um “*optimum*” para o desenvolvimento da vida. Na resistasia (Erhart, 1956) ocorre a retirada dos elementos residuais (elementos minerais e hidróxidos de ferro e alumina) gerados na fase biostática havendo um desequilíbrio, com a morfogênese predominando sobre a pedogênese (balanço morfogenético positivo), repercutindo no potencial geoecológico do sítio, meio instável (Tricart, 1977). Nesta fase os processos erosivos se manifestam de forma perceptível, sendo que existe um antagonismo entre a morfogênese e o desenvolvimento da vida (Cassetti, 2007).

Sob a ótica da geomorfologia, a erosão é um dos fatores de estresse mais importantes no estabelecimento das plantas. A erosão atua diretamente sobre a vegetação descalçando as raízes, retirando e redistribuindo plantas e propágulos. Indiretamente atua lixiviando nutrientes e reduzindo a capacidade de acumulação de água. A erosão hídrica é uma força ecológica capaz de modificar a composição da vegetação e seu padrão espacial. Ao mesmo tempo a vegetação é capaz de manter a erosão sob controle. Existindo retroalimentação entre este sistema de interação (Garcia-Fayos, 2004) (Figura 3).



**Figura 3** - Modelo de relações entre a cobertura vegetal e a erosão em ambientes mediterrâneos. Este modelo representa os efeitos da cobertura vegetal sobre a erosão, assim como o efeito da erosão sobre a cobertura vegetal, e a retroalimentação entre a cobertura vegetal e a erosão do SOLO (Fonte Garcia-Fayos, 2004 - modificado).

A figura 3 apresenta um modelo de relações entre a erosão e a vegetação. A linha “OAC” apresenta o valor da cobertura vegetal necessário para manter a erosão controlada. A partir de “O”, conforme aumenta a erosão maior cobertura vegetal será necessária para manter a erosão controlada. Uma vez alcançado o ponto de inflexão da curva “OAC” os valores de erosão são tais que passam a restringir a cobertura vegetal. Ou seja, a partir da inflexão da curva “OAC” a cobertura vegetal não é mais capaz de controlar a erosão, passando a ser comprometida por esta. A linha “BAD” mostra que quanto menor a erosão do solo mais se desenvolve a cobertura vegetal. Assim quanto a cobertura vegetal se aproxima de zero a erosão é mais intensa, ponto “B”. Quando a cobertura vegetal é mais desenvolvida “D” o valor

da erosão é mínimo. A interseção das curvas “OAC” e “BAD” em “A” (círculo vermelho) mostra que a erosão e a cobertura vegetal estão em equilíbrio dinâmico.

A partir da figura 3 se pode prever a variação esperada no sistema para quaisquer variações de valores entre a erosão do solo e cobertura vegetal. Qualquer valor de erosão contido no setor “OAD” não afeta negativamente a cobertura vegetal e está tendendo a crescer até o ponto “D”. O setor “BAC” do diagrama tem erosão atuante o que renova e posteriormente restringe o desenvolvimento da cobertura vegetal. Há perda de plantas e a cobertura vegetal é minimizada, na medida em que o sistema tende para “B” ou “C”. A linha “OA” representa um limiar crítico onde à direita a cobertura vegetal se desenvolve e a erosão diminui e à esquerda a erosão aumenta na medida em que a vegetação diminui. Este limiar é específico para cada sistema e pode ser modificado na medida do aumento de sua complexidade, como a inserção do fator tempo ou de variações de precipitação (Thornes 1988, 1990; Thornes e Brandt 1994).

Estudos em diferentes ecossistemas e com diferentes objetivos demonstraram que a erosão do solo diminui a taxa de crescimento das plantas. Assim como a redução da umidade na zona das raízes favorece o desenvolvimento da erosão, tendo em vista a perda do vigor das plantas (Thornes, 1985). A erosão regressiva, derivada do escoamento concentrado que avança de jusante para montante entalhando a superfície do terreno, pode resultar na morte ou raleamento da cobertura vegetal, que por sua vez tende a incrementar a erosão devido à redução da resistência ao escoamento (Bull, 1979).

A influência da erosão no banco de sementes deve ser analisada no contexto da dispersão secundária. Sendo mais susceptíveis ao transporte as sementes mais leves e menores. As interações entre os fatores bióticos e a erosão são mais estudadas nos ambientes fluviais e em ecossistemas mais secos. Locais onde os processos erosivos são marcantes. Nas florestas tropicais nem sempre a influência recíproca entre estes fatores é perceptível com facilidade. Isto porque os processos geomorfológicos superficiais operam muito lentamente, tornando as interações com os fatores ecológicos menos visíveis e de difícil mensuração. Com a abertura do dossel e a exposição do solo às intempéries, esta situação se modifica. Facilitando a identificação e mensuração da interrelação (Chambers e MacMahon, 1994; Richards *et al.*, 2002; Garcia-Fayos, 2004; Bochet e Garcia-Fayos, 2004; Gurnell, 2007; Stallins, 2006).

## 1.4 OBJETIVO DA TESE

- ❖ Caracterizar alguns aspectos de como a erosão interfere e sofre interferência da restauração que tem a sucessão vegetal como princípio.

### 1.4.1 HIPÓTESES

- A restauração das áreas degradadas tem contribuído para o controle da erosão e a cicatrização do dossel florestal;
- As áreas utilizadas pela indústria petrolífera podem ser agrupadas em classes;
- A erosão influencia o banco de sementes;
- A erosão influencia o estabelecimento de mudas;

## 1.5 CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM

O entendimento das interações dinâmicas entre processos bióticos e abióticos passa pelo conhecimento dos fatores ambientais que compõe a paisagem. Para entender a paisagem é necessário ter noção de sua história e as mudanças em seus atributos geológicos, geográficos, climáticos e biológicos. Modificações estas responsáveis pela geodiversidade e biodiversidade hoje observada (Morley, 2000; Haffer e Prance, 2002; Rossetti *et al.*, 2005).

### 1.5.1 LOCALIZAÇÃO

As áreas pesquisadas estão localizadas na Amazônia Ocidental brasileira, no estado do Amazonas, município de Coari, dentro do quadrilátero de coordenadas: a) 65°22'39"W / 04°52'22"S; b) 65°23'05"W / 05°10'00"S; c) 65°00'45"W / 05°10'00"S; d) 65°02'39"W / 04°44'46"S. O nome da Província Petrolífera de Urucu está relacionado a sua proximidade do rio de mesmo nome. A exploração foi iniciada no ano de 1986 (Figura 4).

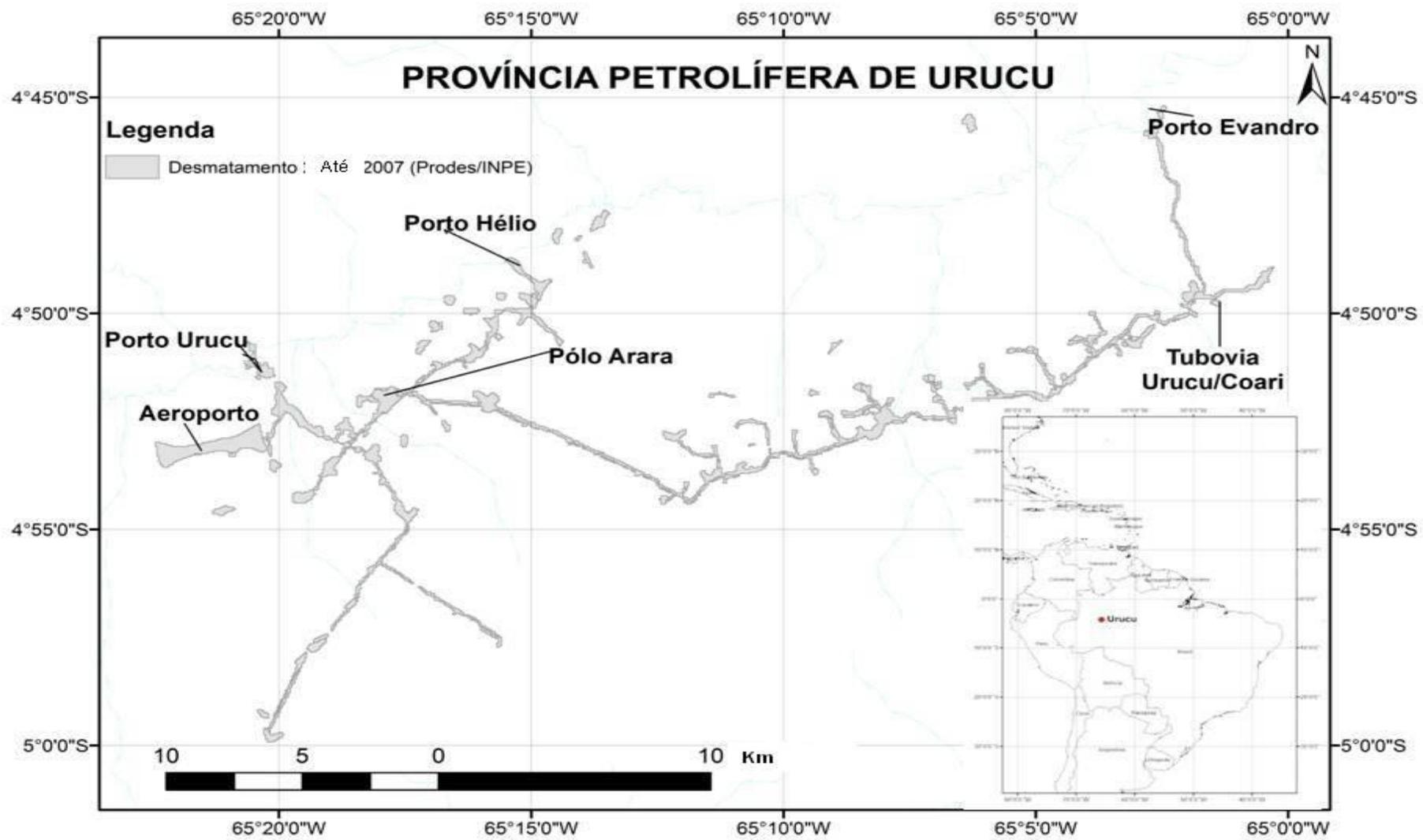
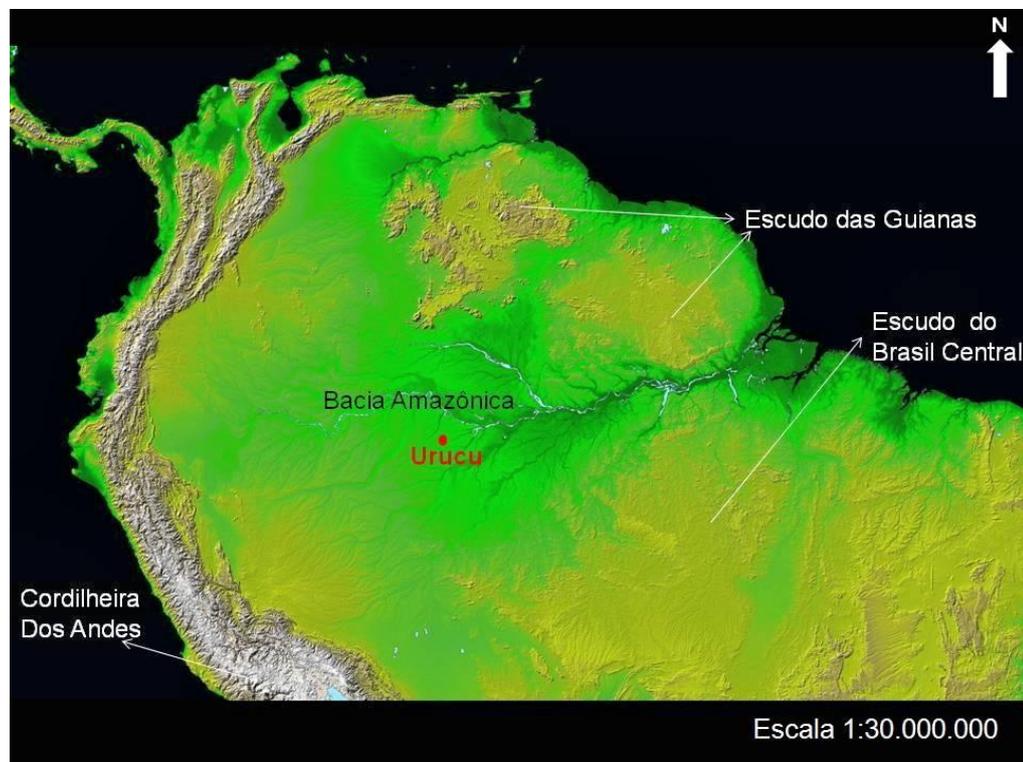


Figura 4 – Localização da província petrolífera de Urucu. Amazonas, Brasil.

### 1.5.2 TEMPO GEOLÓGICO

A Bacia Amazônica é caracterizada como fossa de afundamento entre os escudos das Guianas e Brasil Central e a cordilheira dos Andes (Figura 5). Foi depositada sobre rochas ígneas e metamórficas formadas a 2,6 bilhões e 500 milhões de anos antes do presente – A.P. Cortada pela calha do rio Amazonas duas distintas bacias sedimentares, Amazonas e Solimões, encontram-se alojadas ente cinco arcos estruturais que de oeste para leste são identificados como: Iquitos, Carauari, Purus, Monte Alegre e Gurupá. Este último relacionado à separação dos continentes que deu origem ao oceano Atlântico (Barata e Caputo, 2007) .



**Figura 5** – Bacia Amazônica. (Fonte: Nasa - modificado)

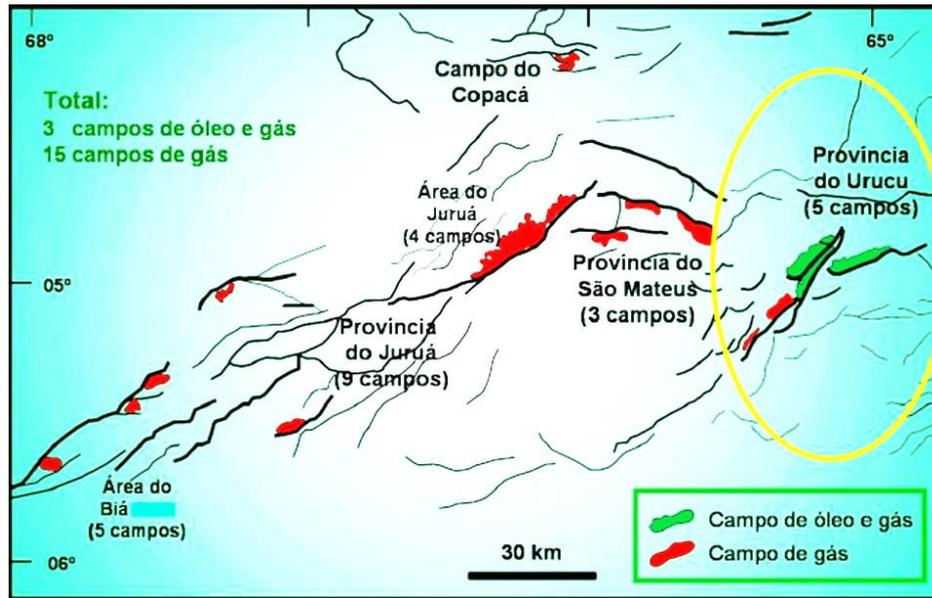
A bacia do Solimões, de idade paleozóica, limita-se ao norte pelo escudo das Guianas, ao sul pelo escudo do Brasil Central, a oeste pelo arco de Iquitos e a leste pelo arco do Purus. O arco do Purus limitou a sedimentação entre as bacias do Amazonas e Solimões durante grande parte do paleozóico (500-220 milhões de anos A.P.). O arco de Carauari divide a bacia sedimentar do Solimões nas sub-bacias do Jandiatuba, a oeste, e Juruá, a leste (Barata e Caputo, 2007) (Figura 6).



**Figura 6** – Bacias sedimentares do Solimões, Amazonas e Parnaíba. Em 1 arco de Iquitos; 2 arco de Carauari; 3 arco do Purus (Fonte: Barata e Caputo, 2007 - modificado).

Estes arcos estruturais no passado geológico tiveram importância relevante na diversificação dos sistemas deposicionais e ecossistemas associados. Entretanto, o mesmo não pode ser afirmado quanto ao papel destas estruturas na distribuição da biodiversidade em nossos dias, como acreditam alguns autores (Patton *et al.*, 2000; Silva e Patton., 1998). Como os arcos encontram-se soterrados desde o Cretáceo superior ou Terciário (70,6 milhões de anos A.P. a 20,43 milhões de anos A.P.) (Caputo, 1991), eles não podem ser protagonistas na compartimentação de zonas biogeográficas na maior parte do Cenozóico. Logo, não puderam exercer influência determinante sobre a geodiversidade e a biodiversidade atual (Milani e Araújo, 2003; Rossetti *et al.*, 2005; Barata e Caputo, 2007).

Na Amazônia brasileira a bacia do Solimões é a primeira a produzir óleo e gás comercialmente. Até o momento, foram identificados 15 campos de gás e três campos de óleo e gás (Figura 7). Este potencial e a exploração podem aumentar com a chegada do gás natural a Manaus, pelo gasoduto Coari-Manaus, que incrementará a demanda sobre o produto. Assim como os investimentos previstos, para os próximos 5 anos, na pesquisa e exploração de hidrocarbonetos na bacia Amazônica.

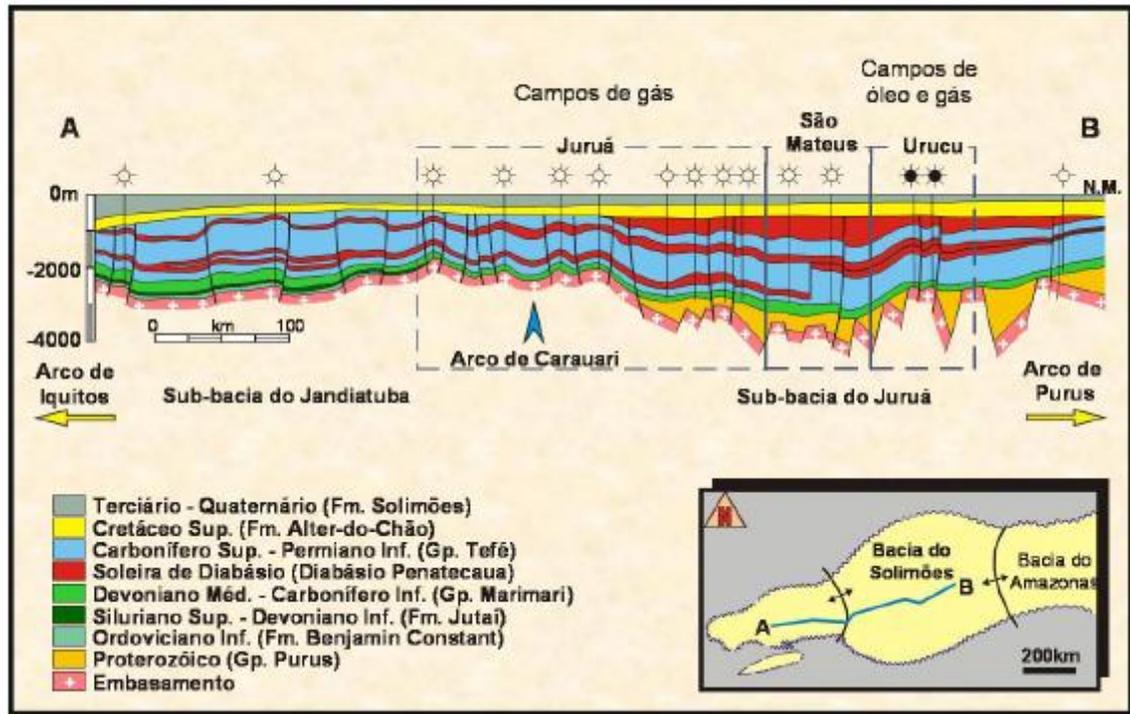


**Figura 7** – Campos de óleo e gás na bacia do Solimões. Destacada a província de URUCU. (Fonte: Barata e Caputo, 2007 - modificado).

As rochas que compõem a bacia do Solimões pertencem a dois contextos geológicos deposicionais distintos. O primeiro corresponde ao intervalo de tempo que vai de 495 a 248 milhões de anos A.P. Fazem parte desta sequência as formações Benjamin Constant, formação Jutai e os Grupos Marimari (formações Uerê, com o Membro Arauá; Jandiatuba, com o Membro Jaraqui) e Tefé (formações Juruá, Carauari e Fonte Boa) (Figura 8). Estas rochas são as que têm relevância como geradoras e acumuladoras de hidrocarbonetos. No outro contexto temos as rochas depositadas a partir de 142 milhões de anos A.P., conhecidas como Grupo Javari. As formações Alter do Chão e Solimões fazem parte desta sequência (Eiras *et al.*, 1994).

As rochas da formação Alter do Chão estão representadas por arenitos grossos, argilitos, conglomerados e brechas intraformacionais de coloração vermelho amarronzado. Esta sequência é relacionada a sistemas deposicionais fluviais. A formação Solimões está representada por sedimentos de granulação mais fina como argilitos vermelho e cinza com fósseis abundantes e camadas de linhito e, com menor representatividade, arenito grosso. Há controvérsias quanto ao sistema deposicional relacionado a esta formação. Estudos fundamentados na fauna de moluscos fósseis propõem a existência de um enorme sistema predominantemente lacustre, com localizadas invasões marinhas. A comprovação desta teoria é relevante para compreender a origem da biodiversidade da área. Na medida em

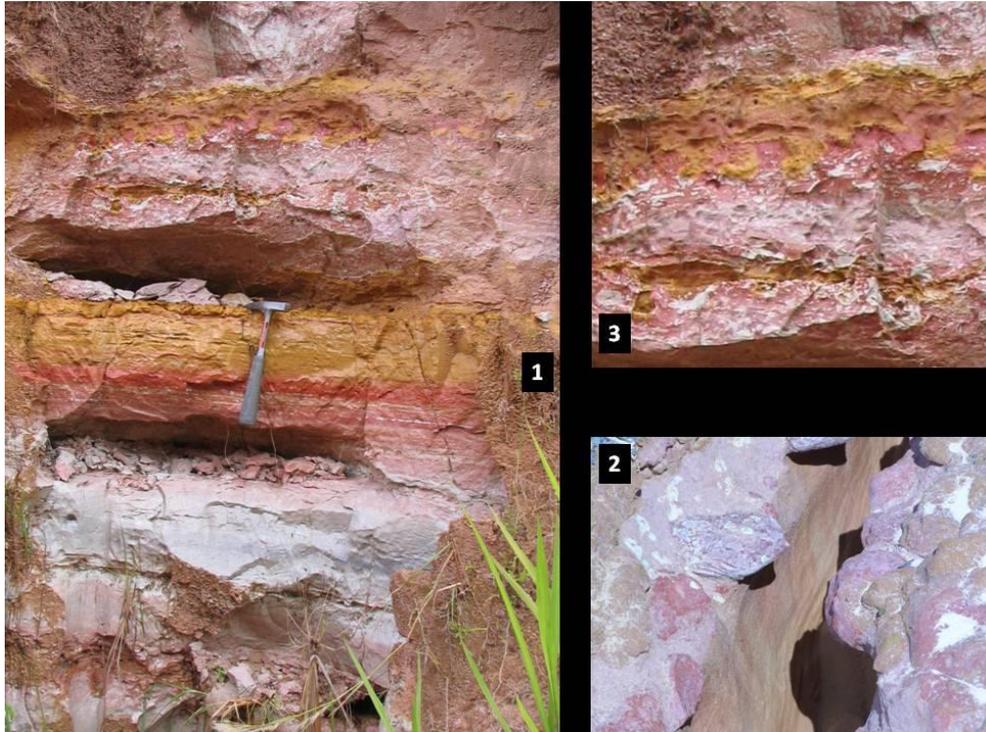
que, somente após o desaparecimento deste lago e a instalação do sistema fluvial haveria condições para o desenvolvimento da floresta tropical (Rossetti *et al.*, 2005).



**Figura 8** - Seção geológica da Bacia do Solimões, segundo (Eiras,1999). (Fonte: Petrobras.)

Em contato por discordância erosiva sobre a formação Solimões ocorre a formação Içá, representada por arenitos, argilitos e conglomerados. Os arenitos têm coloração branca a avermelhada claro, granulação fina a grossa e compostos por 73% de quartzo, 25% de feldspato, 2% de muscovita secundariamente biotita e minerais pesados (Rossetti *et al.*, 2005). Os argilitos são de coloração amarelada a avermelhada com finas laminações plano paralelas. Na base encontram-se conglomerados formados por seixos de quartzo e fragmentos de argilito. No topo da formação observa-se um horizonte argilo arenoso, mosqueado nas cores branco avermelhado, sugerindo exposição a condições intempéricas. Ao contrário do mapeado por outros autores (Eiras 1999; e Rossetti *et al.*, 2005), em Urucu os afloramentos observados pertencem a formação Içá (Figura 9).

Os litotipos acima descritos foram submetidos à dinâmica externa do Terciário até o presente. Dinâmica esta que respondeu a instabilidade que conjugou o efeito de três fatores: 1) instabilidade tectônica; 2) instabilidade no nível de base do sistema fluvial, resultante de oscilações no nível do mar associadas a períodos glaciais e interglaciais; 3) instabilidade climática.



**Figura 9** – Em “1” exposição da estratigrafia da formação Içá em Urucu. Em “2” conglomerado basal da formação Içá no piso de uma área. Em “3” detalhe do pacote mosqueado do topo da formação. Urucu, AM, Brasil.

A instabilidade tectônica se manifestou por movimentos de subida e descida de partes da crosta terrestre, tipo horst e graben. Está registrada na paisagem por rios encaixados, migração de canais, terraços soerguidos, paleo várzeas, e segmentos retilíneos de canais fluviais. No rio Urucu e tributários é comum a alternância de segmentos meandantes com retilíneos, sinalizando a presença de áreas abatidas e soerguidas respectivamente. Lineamentos menores, orientados nas direções NE-SW e NNE-SSW, são evidenciados por mudanças bruscas,  $90^{\circ}$ , na rede de drenagem (Costa *et al.*, 1996). A instabilidade do nível de base do sistema fluvial está associada às glaciações. Por sua vez as glaciações induziram modificações climáticas na Amazônia. A Tabela 2 sintetiza a dinâmica associada a alternância entre os períodos glaciais e interglaciais. Outras mudanças climáticas de menor expressão espacial e temporal foram detectadas. Entretanto, estas não foram capazes de criar ilhas de isolamento da vegetação. A paisagem da Amazônia é poligênica, onde atuaram fatores ligados a dinâmica interna (geológica/estrutural), dinâmica externa (intemperismo, morfogênese e pedogênese) e dinâmica climática (glaciações e pulsos de aquecimento e resfriamento).

**Tabela 2** – Efeitos das glaciações cenozóicas na paisagem da Amazônia Ocidental (Base: Tricart 1966, 1975, 1977; Haffer e Prance 2002).

<b>ATRIBUTOS</b>	<b>GLACIAÇÃO</b>	<b>INTERGLACIAL</b>
<b>CLIMA</b>	<p>Armazenamento de água em zonas glaciais.</p> <p>Instabilidade climática de curto prazo com fortes variações anuais, interanuais e diárias, no espaço e/ou no tempo</p> <p>Chuvas violentas e irregulares.</p>	<p>Degelo, aumento das águas livres e da evaporação.</p> <p>Estabilidade climática a curto prazo com redução das amplitudes meteorológicas e dos contrastes temporais e/ou espaciais.</p> <p>Chuvas regulares.</p>
<b>VEGETAÇÃO</b>	<p>Redução da biomassa com extensão das formações florestais descontínuas e/ou caducifólias.</p> <p>Separação dos biotopos e biocenoses da floresta pluvial em refúgios circundados por espaços não florestais.</p>	<p>Aumento da biomassa com extensão das formações vegetais densas e sempre verdes.</p> <p>Unificação dos biotopos e biocenoses da floresta pluvial por meio de novos espaços florestais. Não necessariamente idênticos aos precedentes.</p>
<b>DINÂMICA DO MODELADO</b>	<p>Regressão marinha, rebaixamento do nível de base dos canais fluviais implicando em maior poder erosivo dos rios.</p> <p>A montante erosão regressiva, dissecação e rebaixamento do relevo, escoamento difuso.</p> <p>A jusante presença de cones de dejeção, colúvios e planícies de espraiamento – terraços climáticos.</p> <p>Intemperismo incipiente do substrato, fossilização e rejuvenescimento dos solos, linhas de pedra. Nos maciços cristalinos predomina a esfoliação esferoidal, devido a bruscas alternâncias entre frio e calor, os elementos solúveis são mobilizados, os óxidos estão disponíveis para se concentrarem em crostas.</p>	<p>Transgressão marinha elevando o nível de base dos canais fluviais e reduzindo o poder erosivo dos rios.</p> <p>A montante dos canais há estabilização do relevo, o escoamento é concentrado.</p> <p>A jusante sedimentação em meio tranquilo, por decantação ou precipitação, planícies e terraços aluviais.</p> <p>Intemperismo químico intenso e profundo do substrato, aprofundamento dos solos. Hidrólise progressiva e desintegração dos maciços cristalinos expostos no período glacial. Lixiviação dos elementos solúveis. Individualização e solubilização do ferro e alumínio, eliminação do material retido nos compostos orgânicos e minerais.</p>

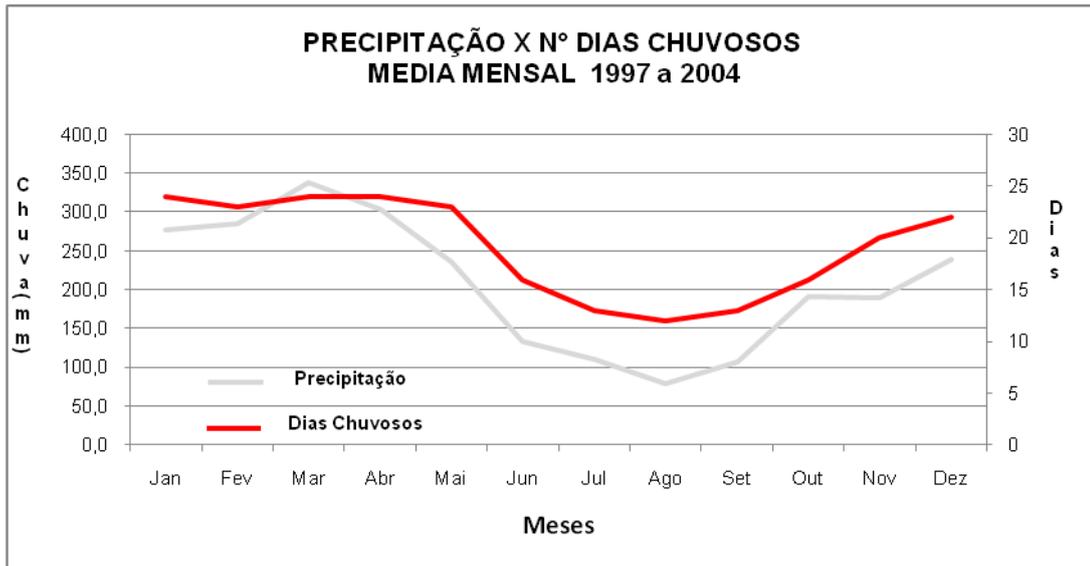
### 1.5.3 TEMPO HISTÓRICO

Apresentada as características que influenciaram a paisagem de Urucu como hoje esta se encontra, são evidenciadas as características da paisagem que influenciam de forma mais direta a atuação dos processos erosivos e a restauração da floresta nos dias atuais.

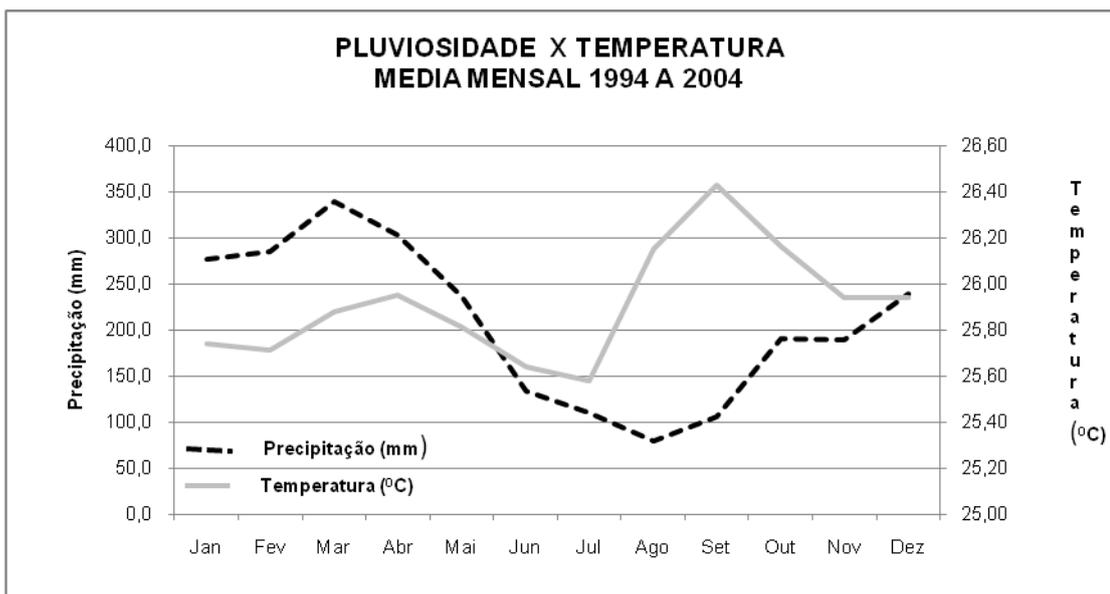
Os dados meteorológicos em Urucu vêm sendo obtidos desde 1997. Para uma abordagem climatológica estas informações ainda não são significativas, mas servem para traçar um perfil mais próximo de alguns parâmetros meteorológicos locais. Aguiar (2001) fez um estudo comparativo entre os dados de seis (6) estações meteorológicas de municípios no entorno de Urucu, com o de três (3) estações locais e mostrou que não existem discrepâncias entre as medições. Comparando os dados das estações dos municípios do entorno com a de referência em Urucu, a variação para um mesmo parâmetro foi menor que 10%. Mesmo considerando que as estações dos municípios do entorno estavam em áreas urbanas e as de Urucu dentro de clareiras. A exceção foi a da conhecida variabilidade da pluviosidade.

As chuvas em Urucu são predominantemente convectivas, irregulares em sua distribuição no tempo e no espaço. Não sendo raro caírem na forma de aguaceiros localizados, de grande intensidade volumétrica em um curto período de tempo.

Conforme os dados obtidos entre 1994 e 2004, o mês mais chuvoso é março, média de 338 mm no período. O mês que menos chove é o de agosto, média de 79 mm. A média anual acumulada é de 2.486 mm. O mês que tem menos dias chuvosos é o de agosto, com 12 dias,. A temperatura média anual é de 25,9°C. O mês mais quente é setembro, com média de 26,4°C. O mês mais frio é julho, com média de 25,5°C. A média da umidade relativa do ar é de 91% (Figuras 10 e 11)

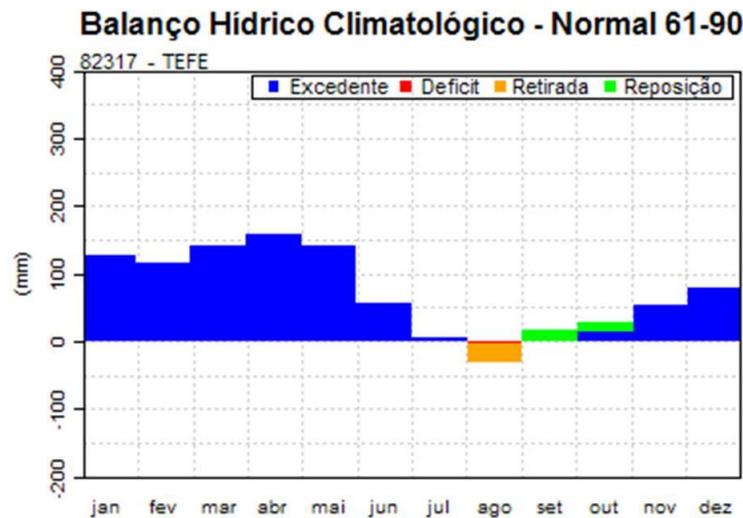


**Figura 10** – Precipitação média e número de dias chuvosos. Uruçu, AM, Brasil (Fonte: Estação meteorológica Uruçu)

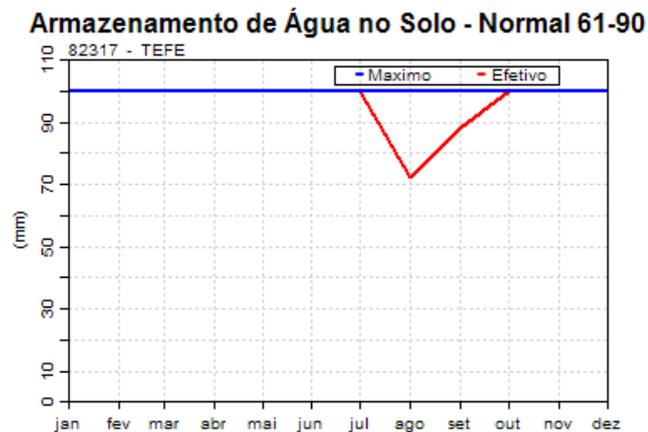


**Figura 11** – Temperatura média mensal e pluviosidade. Uruçu, AM, Brasil (Fonte: Estação meteorológica Uruçu).

Há falta de dados históricos para elaboração do balanço hídrico local. Entretanto, os dados da estação meteorológica de Tefé permitem uma aproximação. O déficit hídrico existe apenas durante o mês de agosto. Mas mesmo neste período ainda restam 70 mm de água armazenada no solo. Nos demais meses do ano há excedente hídrico. Sendo os meses de setembro e outubro o período de reposição (Figuras 12 e 13).



**Figura 12** – Balanço hídrico com dados da estação de Tefé. Tefé, AM, Brasil (Fonte INMET 2009)



**Figura 13** – Água armazenada no solo com dados da estação de Tefé. Tefé, AM, Brasil (Fonte INMET 2009).

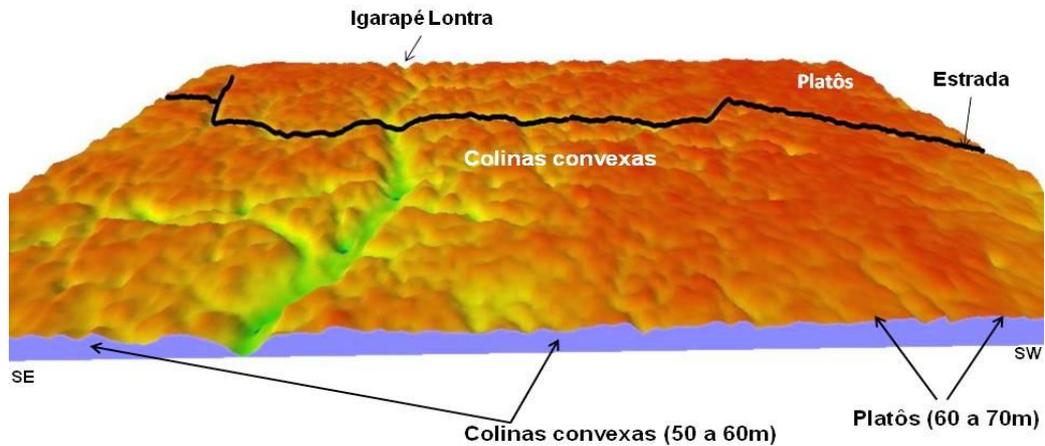
Nas rochas da formação Içá, em Urucu, o modelado foi esculpido em três compartimentos principais. O platô serve como divisor de águas das sub-bacias do rio Urucu com o rio Coari, ambos tributários do lago de Coari, que deságua no rio Solimões. São as porções mais elevadas do terreno, em cotas acima de 60 m, com topos aplainados que vem sendo dissecados em lombas suaves, convexas, por canais de drenagem pouco entalhados em forma de “V”. As vertentes são curtas e a diferença de nível entre o topo e a base da vertente é menor que 5 m. A densidade de drenagem é baixa e apresenta padrão retangular. A superfície plana favorece a infiltração fazendo do intemperismo químico, representado pela hidrólise e pela

hidratação, o principal agente de degradação da paisagem (Opdecamp, 1998; Vitte, 2005). O solo predominante é o Cambissolo Hápico (Wenceslau 2009 - conversa pessoal) com manchas de Argissolo Vermelho Amarelo, ambos fruto da pedogênese sobre os sedimentos alterados da formação Içá. A dinâmica do meio é considerada estável, segundo classificação de Tricart (1977).

Entre as cotas de 50 m e 60 m predominam as colinas convexas. Os rios são encaixados em vales na forma de “V”, com diferença de nível entre o topo e a base da vertente que pode chegar a 10 m. A densidade de drenagem é maior que a unidade anterior e o padrão retangular dentrítico. Os processos morfodinâmicos predominam sobre o intemperismo no modelamento do relevo. O escoamento difuso nas vertentes, creep e solifluxão, são processos característicos. A classe de solo mais encontrada na unidade é do Argissolo Vermelho Amarelo. A dinâmica do meio é “intergrade”, intermediária, na medida em que os processos morfodinâmicos e pedogenéticos agem de forma concorrente (Tricart, 1977) (Figura 14).

As planícies e terraços fluviais estão situados nas cotas abaixo de 50 m, tem forma aplainada, apresentando desmoronamento de margens e bordas dos canais. O escoamento é concentrado e periodicamente ocorrem inundações. Os vales têm forma de “U” e predominam os processos morfogenéticos relacionados à dinâmica fluvial. Solos aluvionares, arenosos, são característicos desta unidade. O meio é considerado instável na medida em que a morfogênese é o fator determinante no sistema natural (Tricart, 1977).

ESBOÇO GEOMORFOLÓGICO DA PROVÍNCIA PETROLÍFERA DE URUCU



Base: SRTM/NASA

**Figura 14** – Esboço geomorfológico da província petrolífera de Urucu. Urucu, AM, Brasil.  
(Base: Imagem SRTM NASA)

O modelado encontra-se recoberto por floresta ombrófila densa, de terra firme. A altura das árvores está entre 20 e 30 m e a maioria tem DAP<sup>2</sup> entre 10 e 30 cm. Dentre as espécies mais abundantes estão a *Eschweilera coriacea*, *Eschweilera wachenheim*, *Microphollis guyanensis*, *Oenocarpus bataua* e *Chrysophillum sanguinolentum* (Amaral, 1996). Existe uma distribuição diamétrica decrescente com todas as classes representadas, o que indica uma floresta madura, estabilizada e com a perpetuação das espécies garantida. A diversidade de espécies é alta, 247/500 indivíduos, índice próximo ao encontrado para o Peru e superior aos encontrados em estudos similares na Amazônia central e oriental (Amaral, 1996).

Esta cobertura vegetal em seus diferentes estratos cumpre importante papel no sentido da estabilização do ecossistema. A fotossíntese utiliza pouco mais de 1% da energia proveniente da radiação solar, especialmente na faixa do espectro entre o visível e o ultravioleta (Whitmore 1983; Vásques-Yanes & Orozco-Segovia 1984). A interceptação da radiação térmica (infravermelho) pela vegetação chega a 25% do total que atinge a superfície. O infravermelho próximo em grande parte é refratado. O infravermelho térmico é absorvido provocando o aquecimento da planta,

<sup>2</sup> DAP – Diâmetro acima do peito, obtido a 1,30m acima do solo.

forçando sua transpiração – evapotranspiração. Neste processo a planta consome energia, interferindo em sua produtividade. Ao mesmo tempo em que promove o fluxo da água infiltrada no solo para planta e da planta para atmosfera na forma de vapor. Movimentação que influi no processo de formação do solo e é contabilizado como déficit no escoamento, no olhar da hidrologia.

A vegetação também protege o solo dissipando a energia cinética das chuvas e fornecendo galhos, folhas e restos vegetais que, dentre outros aspectos, servem de obstáculos para a água das chuvas e o escoamento superficial. Além de reter água nas folhas e na serrapilheira. Elementos que também são contabilizados no balanço hídrico como déficit no escoamento.

A cobertura florestal protege o solo da incidência direta da radiação solar e da chuva, minimizando o aporte direto de energia no sistema, que se comporta como no estado de biostasia. Autores como Salati e Vose (1984), consideram o sistema em equilíbrio. Este equilíbrio é dinâmico, na medida em que ocorrem trocas de energia e fluxo de matéria (Figura 15).



**Figura 15** – Dossel da floresta nas imediações das coordenadas  $04^{\circ}53'09''$  S e  $65^{\circ}19'59,79''$  W. À esquerda vista de cima para baixo e à direita vista de baixo para cima. Urucu, AM, Brasil.

## **CAPÍTULO 2**

# **O PLANTIO DE ÁRVORES TEM FAVORECIDO O CONTROLE DA EROSÃO E A CICATRIZAÇÃO DO DOSSEL FLORESTAL NA AMAZÔNIA? O CASO DE URUCU – AM, BRASIL<sup>3</sup>**

### **2.1 OBJETIVO**

- Analisar a eficácia da restauração das áreas degradadas no controle da erosão e na cicatrização do dossel florestal;

---

<sup>3</sup> Sendo preparado, na forma de artigo, para submissão à revista PlosOne

## 2.2 RESUMO

A diversidade socioambiental da Amazônia Ocidental está sendo ameaçada pela exploração de petróleo. A eficácia das medidas de restauração ecológica da indústria petrolífera nesta região é um dos aspectos na avaliação da sustentabilidade desta atividade econômica. Este capítulo tem como objetivo verificar a eficácia da restauração das áreas degradadas no controle da erosão e na cicatrização do dossel florestal. Foram selecionadas 39 áreas em restauração que somam 112,4 hectares. A cena LANDSAT 001\_063, obtida nos anos de 1986, 1991, 1995, 2001 e 2007 foi tratada com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, tendo como apoio uma imagem Quickbird de setembro de 2004 e o controle de campo. Três classes de características locais foram analisadas pela técnica de máxima verossimilhança: **i)** solo exposto; **ii)** regeneração; **iii)** dossel do plantio. Os resultados indicaram que: **1)** no ano de 2007 dentre as áreas em restauração a classe solo exposto está representada em 76,59% da área total das clareiras e apenas 4,8% está recoberta por dossel do plantio; **2)** as espécies que mais regeneram são gramíneas e ruderais, principalmente exóticas invasoras; **3)** nos plantios as espécies que melhor se estabeleceram foram aquelas tolerantes ao estresse edáfico e hídrico; **4)** o plantio de árvores tem contribuído apenas de forma localizada no controle da erosão; **5)** o dossel não está sendo cicatrizado, nem está sendo recuperada sua funcionalidade, tampouco a sua diversidade biológica.

### 2.3 INTRODUÇÃO

A Amazônia Ocidental é um “hot spot” da biodiversidade no mundo e a exploração de hidrocarbonetos uma realidade na região. Os impactos socioeconômicos e ambientais desta atividade são perceptíveis, a expansão prevista ameaça as populações tradicionais, a vida selvagem, a biodiversidade e a paisagem como um todo (Finer *et al.*, 2008).

Os fundamentos das preocupações com os impactos socioambientais desta atividade na Amazônia vêm sendo evidenciado em trabalhos como de Thomsen *et al.* (2001); Laurance *et al.*, (2001); O’Rourke e Connolly (2003); Sawyer (2004); Martinez *et al.*, (2007). As empresas petrolíferas anunciam na grande mídia os investimentos e iniciativas para conservação ambiental e restauração ecológica. Diante destas posições o objetivo deste estudo é analisar a eficácia da restauração das áreas degradadas no controle da erosão e na cicatrização do dossel florestal. Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito da rede CT-PETRO Amazônia, que reúne diversas instituições e pesquisadores na busca do desenvolvimento de tecnologias para a recuperação de ecossistemas e conservação da biodiversidade na Amazônia brasileira.

A implantação da província petrolífera de Urucu segue o modelo “ilha”, um pedaço de terra de 36.000 hectares na margem direita do rio Urucu, cercado pela floresta por todos os lados. Em linha reta, a cidade mais próxima, Tefé, fica a 180 km. Coari está a 250 km. O acesso é rigidamente controlado, feito somente por via aérea e fluvial. Este modelo evitou a urbanização/favelização do entorno imediato e os problemas decorrentes deste processo. Na área de influência direta de Urucu a paisagem florestal foi transformada em urbano/industrial, sem qualquer ligação com a história e a ecologia local, tipificando uma tendência global na gestão de paisagens, polarizada entre um intenso e concentrado uso da terra e vastas áreas sem utilização (Vos e Klijn, 2000; Antrop, 2006).

Em pouco mais de 20 anos de exploração do campo de hidrocarbonetos uma área de 2.897,3 hectares (INPE, 2007) foi desmatada para instalação de poços, vias de acesso, portos, aeroporto, tubovias, instalações industriais, canteiro de obras, pátios de material e alojamentos. O primeiro efeito do desmatamento é a redução da diversidade animal e vegetal no local diretamente atingido. A abertura do dossel

favorece a maior entrada de energia, via radiação solar e chuvas. Como conseqüência, as condições microclimáticas no local são alteradas e os processos biofísicos também. Nas clareiras naturais e abertas para atividades agropecuárias o distúrbio não ultrapassa o horizonte superficial do solo. Nas áreas abertas pela atividade petrolífera o distúrbio se estende à retirada da camada superficial do solo, inclusive o banco de sementes, a fauna edáfica e toda porção aerada e descompactada do solo.

Em Urucu as instalações para exploração de hidrocarbonetos e apoio a esta atividade traz à superfície a rocha alterada – regolito. Este é o limite preferencial para as atividades de extração de material de empréstimo e o substrato utilizado para que a área de engenharia comece a preparar a sub-base para instalação de vias de acesso, poços e a maior parte da infra-estrutura para produção. Este processo resulta em trazer à superfície substrato mais compacto. O adensamento natural médio do solo no piso destas áreas afetadas, calculado a partir de 30 medidas feitas por Arruda (2005), é de  $1,43 \pm 0,14 \text{ g/cm}^3$ . O que representa um aumento de 56% em relação a compactação do solo na floresta. A porosidade é 65% menor que a média na floresta. A superfície resultante apresenta declives que variam de 5% a 20% e infiltração da ordem de  $5\text{mm.h}^{-1}$  (Segundo, *et al.*, 2005).

A chuva na região de Coari tem erosividade de  $8.899,90 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.ano}^{-1}$ , sendo  $1.350,50 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.ano}^{-1}$ , em março, a  $158,87 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.ano}^{-1}$  em agosto, (Macedo *et al.*, 2007). Incidindo nas superfícies desprovidas de vegetação, compacta e ao mesmo tempo desagrega e transporta o solo (Poesen e Savat, 1981). As constantes chuvas com a reduzida infiltração nas áreas desmatadas potencializa a erosão hídrica, com média de  $170,12 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Arruda, 2005), variando em função de: a) das características físicas do solo; b) declividade; c) periodicidade; d) intensidade das chuvas; e) presença e características da serrapilheira; f) fitofisionomia. Parte do material desprendido e transportado pela erosão é depositado no interior da própria área. A carga sólida exportada se deposita em canais fluviais menores, sem poder para transportar o material que recebem (Goch, 2007).

Atendendo preceitos legais e em conformidade com a certificação ISO 14000, para minimizar os impactos da abertura do dossel nas áreas mineradas, de

perfuração e apoio, é feito o plantio de árvores, preferencialmente autóctones, dentro do proposto pela técnica de regeneração natural assistida (Shono *et al.*, 2007). Nas obras viárias e tubovias o controle da erosão em taludes é feito por hidrossemeadura, com gramíneas tipo *Andropogon bicornis* L, *Panicum pilosum* Sw, *Brachiaria spp.* que costumam estar associadas a *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth e *Desmodium barbatum* (L.) Benth.

A identificação de indicadores de sucesso é uma área sensível na avaliação das práticas de restauração (Noss, 1999). Mantovani (1988) e Rodrigues e Gandolfi (2001) propõe que a restauração deve contemplar medidas que propiciem o retorno dos processos ecológicos, para isto devem ser adotadas práticas que possibilitem o fim da perturbação e condições para o estabelecimento de propágulos, de modo a permitir que a área restaurada se perpetue. A entrada de energia pelo sol, chuva e vento domina as forças estruturadoras dos ecossistemas, sendo um bom indicador para avaliar o sucesso da restauração (Ehrenfeld, 2000). Estes são os fundamentos que direcionaram a escolha do controle da erosão e da cicatrização do dossel como indicadores. A cicatrização do dossel controla a entrada de luz, ameniza o microclima com a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar e do solo (Jennings *et al.*, 1999), além de minimizar a erosão pluvial e a decorrente do escoamento superficial. O microclima ameno e o controle da erosão facilitam o estabelecimento de propágulos, otimizando a restauração e sua perpetuação (Thornes, 1985; Garcia-Fayos, 2004).

O uso do sensoriamento remoto como ferramenta para o manejo sustentável de florestas e o monitoramento das mudanças na cobertura florestal, inclusive em sua estrutura, vem sendo amplamente utilizado em diferentes países e com diferentes objetivos. A aplicação de métodos e técnicas de classificação das imagens passa pela acurácia e precisão da imagem em registrar o que está acontecendo no terreno e com a floresta (Franklin, 2001; Gautam *et al.*, 2002; Mayaux *et al.*, 2005; Olander *et al.*, 2008). A acurácia das imagens LANDSAT para medição do desmatamento é de 90 a 95% em mosaicos de até um hectare, em se tratando de áreas planas (Roy *et al.*, 1991; Steininger 1996; LeIMGruber *et al.*, 2005). O monitoramento da degradação da floresta assim como de sua regeneração é mais complexo (DeFries *et al.*, 2007). Nestes casos à utilização de imagens de alta

resolução e de séries históricas de imagens podem superar esta dificuldade (Asner 2001; Palace *et al.*, 2008).

Existem diversas técnicas com medidas diretas para estimativa da cobertura do dossel (Floyd e Anderson, 1987). Técnicas estas que são utilizadas de forma ampla, inclusive para acompanhamento da restauração do dossel como aquela indicada por Melo *et al.*, (2007). O uso de imagens de satélite para monitoramento do desmatamento em florestas tropicais úmidas cresce, especialmente em função da importância dos estudos sobre estoques de carbono, a exemplo de Hansen *et al.*(2008) que monitorou o desmatamento deste bioma, em diferentes continentes, entre os anos de 2000 e 2005. O monitoramento do desmatamento na floresta amazônica brasileira é feito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, projeto Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES (INPE/PRODES) que vem acompanhando e quantificando as taxas de desmatamento desde o ano 2000. O monitoramento do INPE é complementado por trabalhos como de Peres (2006) que identificou o raleamento da floresta pelo desmate seletivo na Amazônia brasileira; ou o de Laurance *et al.*, (2002) que testou em modelos a possibilidade do desmatamento ter diminuído na Amazônia brasileira entre os anos de 1978 e 2000. Na Amazônia ocidental estudos sobre o desflorestamento vêm sendo realizados a exemplo de Vinã *et al* (2004) que analisou as taxas de desmatamento entre os anos de 1973 e 1996, na faixa de fronteira entre a Colômbia e o Equador, zona produtora de coca e hidrocarbonetos.

O direcionamento desta pesquisa é dado pela pergunta norteadora: o plantio de árvores tem favorecido o controle da erosão e a cicatrização do dossel da floresta na província petrolífera de Urucu? Pergunta derivada da hipótese que a restauração das áreas degradadas tem contribuído para o controle da erosão e a cicatrização do dossel florestal em Urucu.

## **2.4 METODOLOGIA**

Este estudo acompanha o desmatamento e a cicatrização do dossel florestal com foco no controle da erosão, em 39 áreas utilizadas pela indústria petrolífera que estão sendo restauradas ou que foram abandonadas. Para este acompanhamento

utilizou imagens LANDSAT, cena 001\_063, obtidas nos anos de 1986, 1991, 1995, 2001 e 2007. Abordagem feita com técnicas de sensoriamento remoto e controle de campo, conforme a seguir apresentado.

A contextualização da abertura do dossel em Urucu foi feita com base nos dados do INPE/PRODES, entre os anos de 2000 a 2007, em anos anteriores a 2000 foram utilizadas as imagens LANDSAT. Segundo a empresa petrolífera, no ano de 2007 existiam 196 áreas degradadas utilizadas para perfuração de poços, apoio e lavra de material de empréstimo, juntas somavam 214,6 hectares. Deste total foram selecionadas todas as maiores que 1,8 hectares (20 pixels na imagem Landsat), um conjunto de 39 áreas que somam 112,4 hectares (Figura 1).

Das 39 áreas foi levantado junto à empresa as seguintes informações: a) tamanho da área; b) data do plantio com fins de restauração; c) quantidade de árvores plantadas em cada área; d) espécies utilizadas. Com estas informações foi possível: i) estimar o espaçamento do plantio dividindo a área informada pela quantidade de mudas plantadas; ii) Estimar a regeneração natural pela constatação da presença de espécies diferentes daquelas que foram cultivadas; iii) avaliar a situação do plantio quanto ao controle da erosão e a cicatrização do dossel nos anos posteriores ao plantio. A análise da evolução do plantio foi realizada pela classificação das diferentes características locais de cobertura do solo em cada área, como explicitado a seguir.

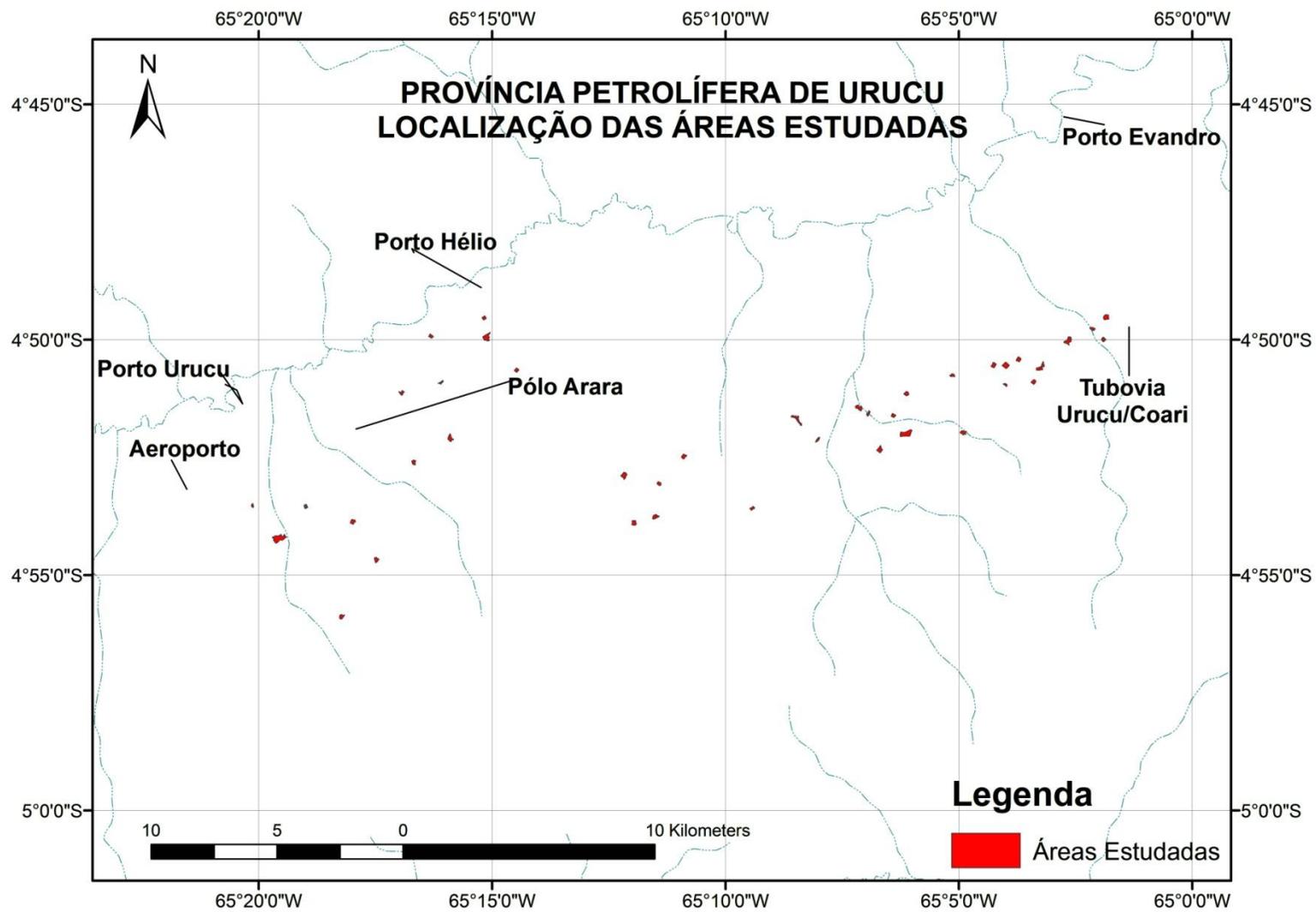


Figura 1 – Localização das 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil.

As 39 áreas selecionadas foram delimitadas na imagem Quickbird obtida em setembro de 2004, disponível no aplicativo web Google Earth (acesso em 28 de junho de 2007). Para execução desta tarefa foi utilizada a ferramenta de edição de polígonos do software Google Earth Pro 4.0. Tais polígonos delimitadores foram exportados em formato (kmz) para o software Global Mapper 8.0 e convertidos em shapefile (.shp). No programa ArcGIS 9.2 os arquivos (.shp) foram reprojetados, passando de Sistema de Coordenadas Geográficas - Datum SAD69 para a Projeção South America Albers Equal Área Conic. Depois de reprojetados foi calculada a área, em metros quadrados, de cada um dos polígonos.

As imagens TM LANDSAT 5, cena 001\_063, composição R5G4B3 de junho de 1986, julho de 1991, agosto de 1995, julho de 2001 e julho de 2007, foram obtidas e posteriormente georreferenciadas no software Global Mapper 8.0. Utilizando como referência o mosaico GeoCover Landsat Zulu cena S-20-00\_2000 disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>.

Os “shapes” dos polígonos delimitados na imagem Quickbird foram superpostos nas imagens LANDSAT e passaram por uma classificação supervisionada no software Envi 4.3. O método utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*) e as classes definidas como: 1) solo exposto (desmatamento – tons em rosa e textura lisa ou pouco rugosa na imagem); 2) regeneração (regeneração natural e através de plantio – tons verde claro e textura menos rugosa ou lisa na imagem); 3) dossel do plantio (tons verde escuro e textura rugosa na imagem). A classificação esta restrita a superfície contida no interior dos 39 polígonos.

As cores e texturas para as classes mapeadas estão relacionadas a uma realidade de campo. Realidade fruto da interrelação de dois ou mais atributos ambientais. Neste estudo, que foca a cicatrização do dossel e o controle da erosão, os atributos considerados são: vegetação, serrapilheira, processos erosivos ou morfodinâmicos e formas associadas aos processos. A classe solo exposto está relacionada à presença da vegetação de forma dispersa, em menos de 30% do terreno. A classe regeneração está relacionada a qualquer tipo de cobertura vegetal rasteira ou arbustiva ( $h \leq 5m$ ), natural ou cultivada, que protege de 30% a 70% da superfície do solo contra o impacto direto das gotas de chuva. A classe dossel do

plantio está ligada ao fechamento das copas das árvores cultivadas, interceptando a chuva e a penetração direta da luz solar. Cada classe está relacionada à sua funcionalidade, minimização da erosão. Não está necessariamente relacionada à composição florística.

As classes e a classificação digital das áreas abertas foram confirmadas em campo, com GPS de navegação. Oportunidade em que foi feita: **1)** a identificação visual das classes solo exposto, regeneração e dossel do plantio (Figura 3); **2)** Descrição das espécies predominantes em cada classe (identificação, altura, diâmetro da copa); **3)** processos erosivos (erosão pluvial, escoamento difuso, escoamento em filetes, escoamento concentrado, deposição); **4)** microformas (torres de pedra, salpicos de chuva, crostas, superfícies lisas com partículas dispersas maiores que a fração areia, canais anastomosados - filetes, marcas de onda, sulcos de erosão, zonas de espraiamento de partículas, poças e alagadiços); **5)** documentação fotográfica.

A variação temporal das áreas ocupadas pelas classes mapeadas: solo exposto, regeneração e dossel do plantio foi analisada a partir de intervalos de cinco anos em média. Definidos pela série de imagens trabalhadas 1986 a 1991; 1991 a 1995; 1995 a 2001; 2001 a 2007. Intervalos definidos pelas datas das imagens trabalhadas. Estes intervalos de tempo foram utilizados para definir períodos de abertura do dossel e variação da proteção do solo pelas diferentes classes de mapeamento.

Ainda no ArcGIS 9.2 os “shapes” das áreas abertas foram superpostos sobre cada uma das imagens LANDSAT dos diferentes anos da cronosequência 1986/1991/1995/2001/2007, da mais antiga para mais nova. Verificando assim o período de abertura do dossel de cada área degradada.

Os dados sobre as áreas ocupadas por cada uma das classes de mapeamento, nos diferentes anos, foram compilados em uma planilha (Tabela 1).

**Tabela 1** – Modelo de planilha para compilação dos dados.

CLASSE ÁREA	DOSS.PLAN. 2001	REGENERA 2001	SOLO EXP. 2001	DOSS.PLAN. 2007	REGENERA 2007	SOLO EXP. 2007
TT	...	...	...	...	...	...
XX	...	...	...	...	...	...
YY	...	...	...	...	...	...

Com o programa Excell 2007 e MINITAB 12, foram calculados os percentuais das superfícies ocupadas pelas diferentes classes de mapeamento, em cada polígono e do conjunto dos polígonos. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Anderson-Darling. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para comparar os valores, em hectare, das diferentes classes mapeadas nos diferentes anos considerados neste estudo. Também foram elaboradas figuras e tabelas para condensar e facilitar a compreensão dos resultados.

As pesquisas multidisciplinares realizadas no âmbito da rede CT-Petro Amazônia serviram de subsídio para discussão dos resultados encontrados neste estudo e para interpretação com base na literatura sobre restauração ecológica.

**Figura 2** – Atributos que interrelacionados definem as classes<sup>4</sup> de mapeamento em campo das 39 áreas estudadas em Urucu, AM, Brasil.

CLASSE / ATRIBUTOS	VEGETAÇÃO	SERRAPILHEIRA	PROCESSOS	FORMAS	
<b>Solo exposto</b>	Até 30% de vegetação dispersa na superfície. Touceiras isoladas de gramíneas, mudas de plantio com altura (h) h ≤ 1,0m e/ou diâmetro da copa ≤ 1,5m). Solo desprotegido ou com até 30% de cobertura vegetal dispersa.	Ausente. Podem estar presentes resíduos sólidos espalhados de forma isolada ou concentrado em um ponto. Cobertura do solo por resíduos sólidos (entulho, canos, terra, troncos e galhos) de até 20%.	Erosão pluvial em mais de 80% da superfície da área, escoamento difuso, escoamento em filetes, escoamento concentrado, deposição.	Torres de pedra, salpicos de chuva (salpicamento), crostas, superfícies lisas com partículas de areia ou maiores dispersas na superfície, marcas de onda, marcas de filetes, sulcos de erosão, zona de espraiamento, poças e alagadiços, gretas de ressecamento. Superfícies aplainadas e rampas com menos de 30% de declive	
<b>Regeneração</b>	Gramíneas e regeneração natural e plantios com (1,0 < h ≤ 5 m e/ou diâmetro da copa 1,5 a 2,5m). Touceiras de gramíneas contíguas. Proteção do solo de até 70% da superfície. Solo protegido com cobertura vegetal de 30 a 80%.	Raizes de árvores cultivados e gramíneas, touceiras secas, folhas esparsas, restos de poda, resíduos sólidos. De 21 a 70% de cobertura do solo.	Erosão pluvial minimizada, atinge menos de 30% da superfície e de forma descontínua. Escoamento difuso. Escoamento em filetes e concentrado entre as touceiras de gramíneas ou entre as mudas plantadas (entre linhas de plantio), deposição.	Relíquias das formas anteriores, Salpicos de chuva esparsados, marcas de filetes e sulcos de erosão, raras áreas de espraiamento, poças e alagadiços. Superfícies aplainadas e rampas com menos de 30% de declive	
<b>Dossel do plantio</b>	Copas das árvores cultivadas ficam a menos de 30cm uma das outras ou se entrelaçam (h>5 m e/ou diâmetro da copa > 2,5m). Mais de 80% do solo recoberto pela copa das árvores	Presença de serrapilheira recobrimdo mais de 70% do solo. Resíduos sólidos	Predomina o escoamento difuso, escoamento concentrado é raro.	Raras relíquias das formas anteriores. Sem marcas de erosão características. Presença de poças e alagadiços. Superfícies aplainadas	

<sup>4</sup> Para composição de bandas Landsat R5G4B3: **solo exposto** – tons rosa, textura lisa ou ligeiramente rugosa; **regeneração** – tons verde claro, textura lisa a rugosa; **dossel de plantio** – tons verde escuro, textura rugosa. Urucu, AM, Brasil.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados analisados mostram que a abertura do dossel na província petrolífera de Urucu teve início em 1986. Em junho de 1986 existiam duas áreas abertas, próximas uma da outra, que correspondem ao primeiro poço de exploração. Tendo como base os levantamentos do INPE/PRODES no período de 2000 a 2007<sup>5</sup>, verificou-se que o ritmo intenso de desmatamento na província de hidrocarbonetos aconteceu entre junho de 1986 e o ano de 1997. Neste período de 11 anos ocorreu 80% de todo o desmatamento até 2007. Entre 1997 e 2006 o desmatamento foi de 19% do total desmatado, relacionado a ampliação da unidade de produção, asfaltamento das vias de acesso, instalação de tubovias e as áreas de lavra de material de empréstimo que dão suporte as obras civis. No ano de 2007 observou-se em campo uma retomada das atividades que causam desmatamento como: perfuração de poços; abertura e recapeamento de estradas; instalação de tubovias e lavra de material de uso na construção civil.

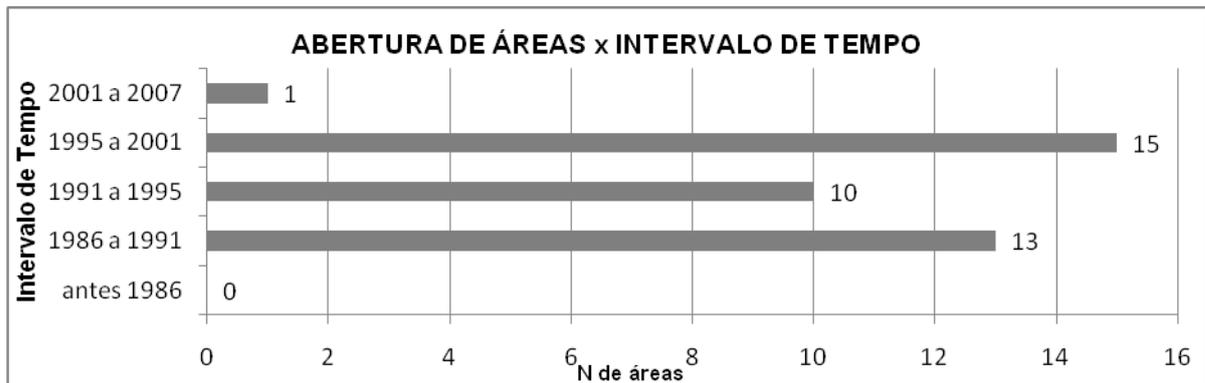
As áreas objeto desta pesquisa e de restauração pela empresa petrolífera são as de instalação de poços, mineradas e de apoio. Em conformidade com a série histórica de imagens utilizadas, dentre as 39 áreas selecionadas 13 foram abertas entre os anos de 1986 a 1991; 10 áreas foram abertas entre os anos de 1991 e 1995; e 15 foram abertas entre os anos de 1995 a 2001. Apenas uma foi aberta entre 2001 e 2007 (Figura 3).

Dez anos se passaram entre o início da degradação das áreas e o início das atividades de restauração. Entre 1995 e 2001 foram plantadas 65% das áreas degradadas em Urucu. Quanto a idade dos plantios das áreas selecionadas nesta pesquisa três não foram plantadas; cinco foram plantadas entre 2001 e 2007; vinte e quatro foram plantadas entre 1998 e 2001, sete foram plantadas entre 1998 e 1995 (Figura 4).

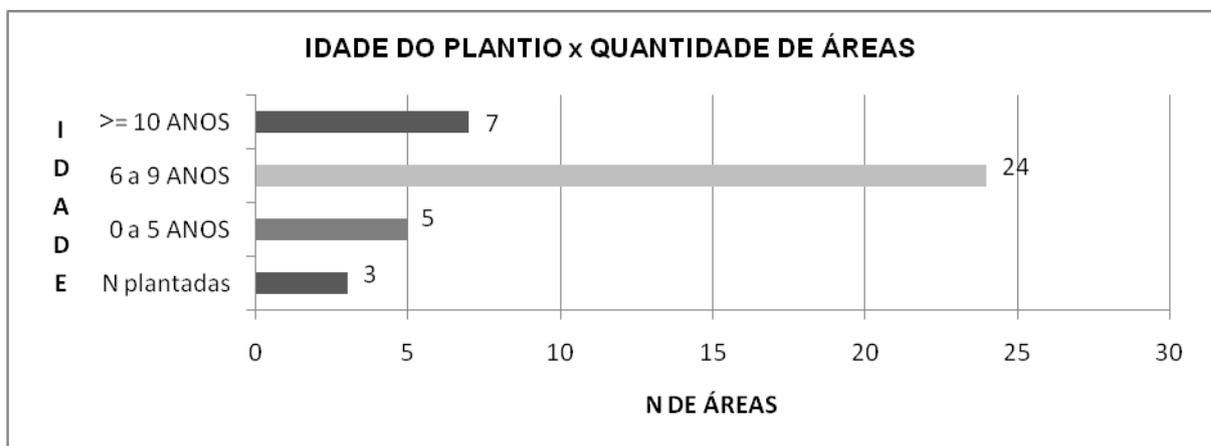
Os dados da empresa mostram que o tempo entre a degradação da área e o plantio visando a restauração vem diminuindo. Dentre as 39 áreas selecionadas dez levaram mais de 10 anos para serem plantadas. A partir do ano 2000 o tempo decorrido entre a abertura da área e o plantio ficou menor que cinco anos (Figura 5).

---

<sup>5</sup> Disponível em [http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2007.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm), acesso em 13/04/2008.



**Figura 3** – Quantidade de áreas abertas nos intervalos de tempo considerados neste estudo. Urucu, AM, Brasil.

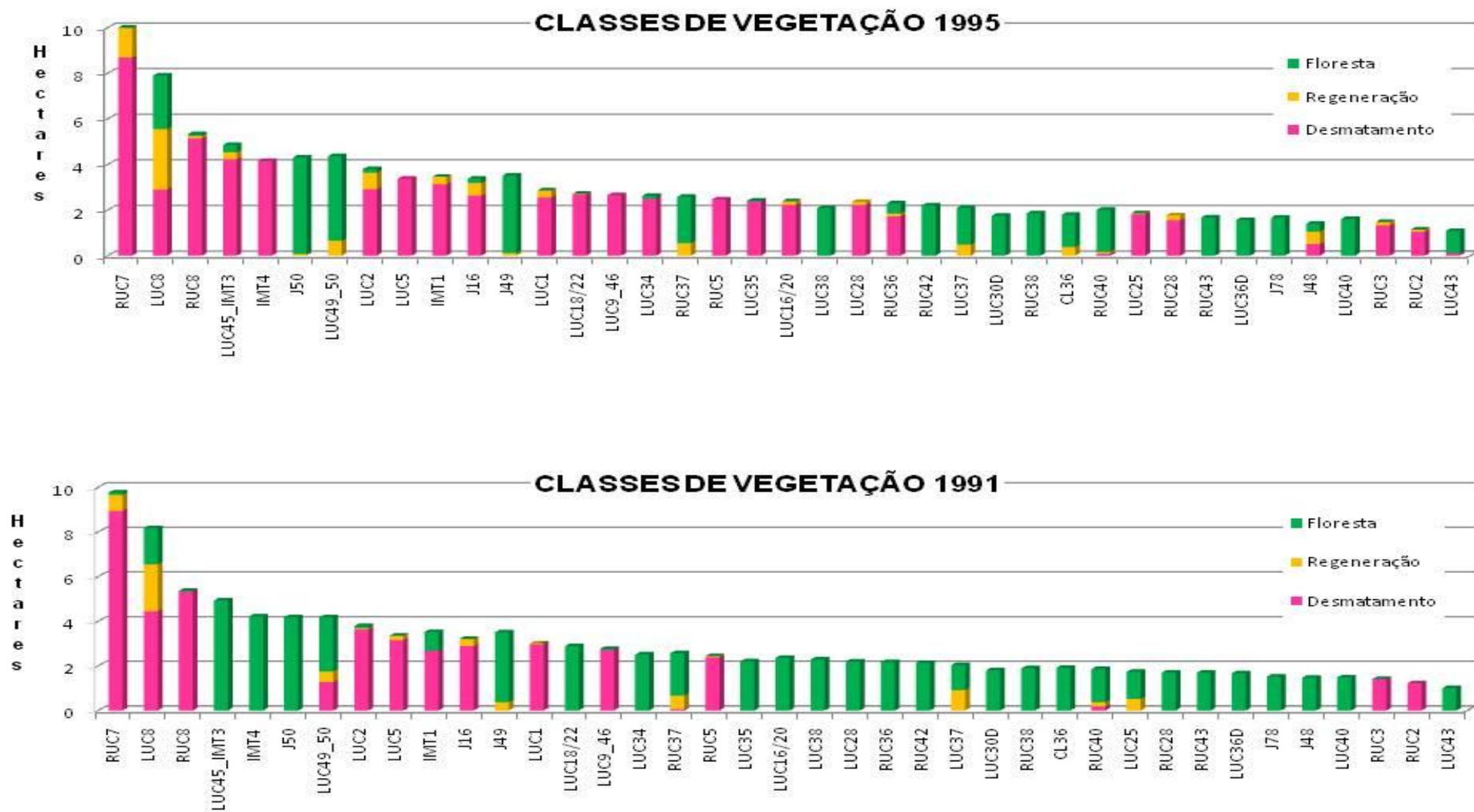


**Figura 4** – Idade do plantio em 2007 das 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil.

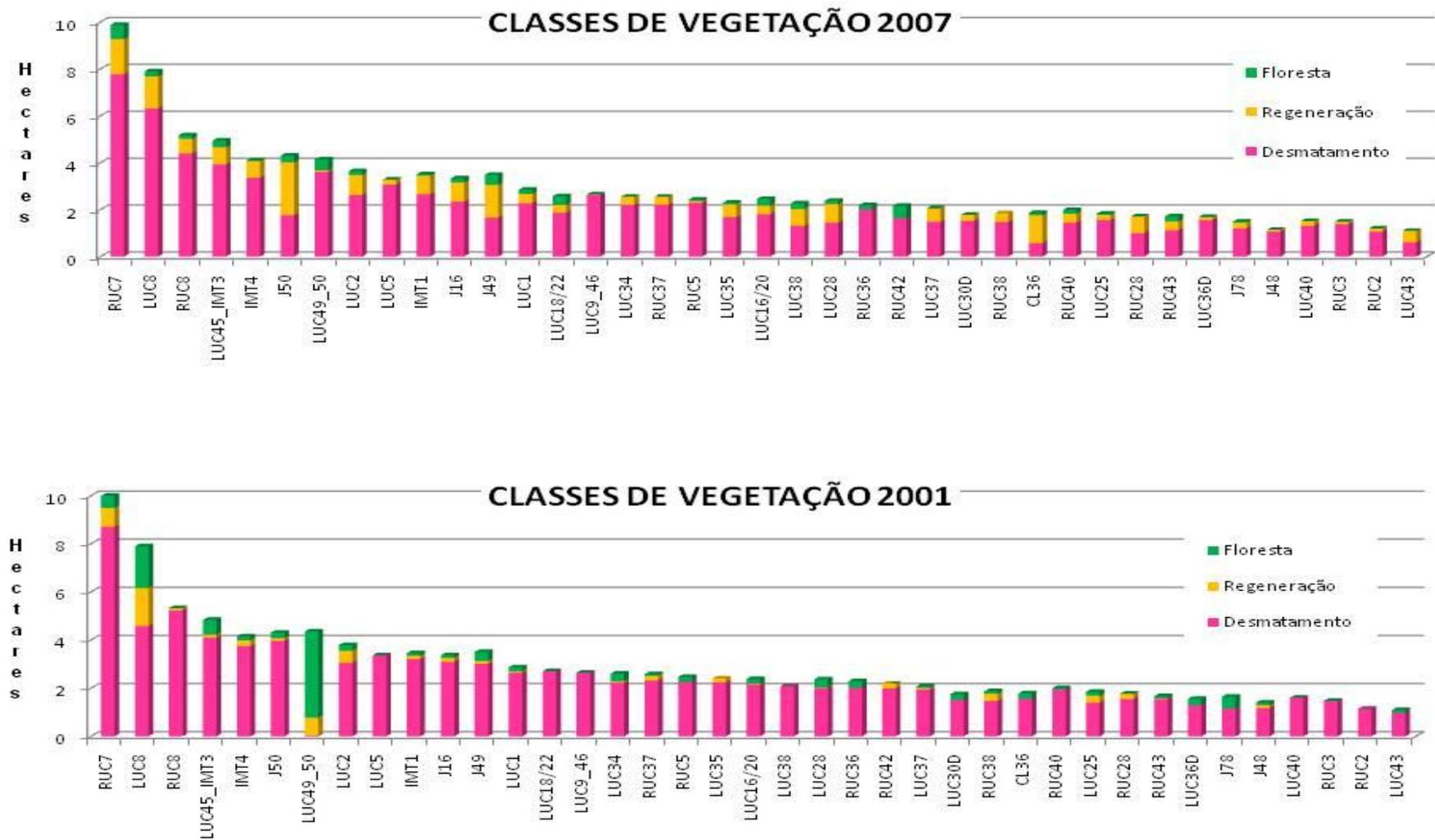
Segundo informação da empresa, nas 39 áreas foram plantadas 342.504 árvores de 44 espécies para revegetar um total de 112,4 hectares. A utilização destas espécies não foi uniforme, o gênero *Inga* está presente em 82% dos plantios (variedades *Inga edulis* Mart.; *Inga cayennensi* (Jacq.) Pers; *Inga laurina* (Sw.) Wild; *Inga capitata* (Desv); o *Hymenolobium modestum* Ducke em 78% e a *Vismia guianensis* (Albl.) Choisy em 75%. A espécie exótica *Myrcia fallax* (Rich) DC foi utilizada em 65% dos plantios. Em média foram plantadas  $17 \pm 4,78$  espécies por área. A diversidade de mudas plantadas variou em função da disponibilidade das espécies no viveiro da empresa. Nos plantios com mais de 10 anos o espaçamento entre as árvores foi de 1 X 1m. Nos plantios entre seis e nove anos o espaçamento utilizado foi de 1,5 X 1,5m. Nos plantios com até cinco anos o espaçamento foi 2 X 2m. O plantio foi realizado em linhas paralelas, independente da microtopografia, nenhuma técnica de proteção do solo ou controle de erosão foi empregada.

Nas áreas estudadas o observado em campo foi o predomínio da vegetação rasteira, principalmente as gramíneas exóticas como *Panicum pilosum* Sw, *Andropogon bicornis* L e *Brachiaria humidicola* (Rendle), utilizadas na hidrossemeadura de taludes das vias de acesso e que se dispersaram para as demais áreas. Estas plantas invadem as áreas em restauração e competem pela luz, água e nutrientes com os propágulos vindos da floresta. Competem por água e espaço das raízes com as mudas de árvores plantadas. Dentre as espécies arbóreas que foram plantadas e sobreviveram predominam as espécies *Inga edulis* Mart, *Vismia guiannensis* (Albl.) Choisy e a *Myrcia fallax* (Rich) DC. Nos meses mais chuvosos foi observada a regeneração natural de propágulos das árvores cultivadas e da floresta. Mas estes resistem ao dessecamento somente nas áreas de dossel do plantio. A diversidade florística está bastante simplificada, quando comparada com a quantidade de mudas plantadas na oportunidade do trabalho de restauração e, principalmente, com as áreas de floresta nativa local (Amaral *et al.*, 2004) e a regeneração natural destas florestas (Lima Filho *et al.*, 2006; Ezawa *et al.*, 2006; Bastos *et al.*, 2008).

Nas 39 áreas estudadas a classificação digital supervisionada mostrou que no ano de 1986 toda a superfície das áreas estudadas estava protegida pela floresta prístina. Em 1991, 21 das 39 áreas estudadas ainda não haviam sido abertas, número que cai para oito em 1995. Em 2007 a superfície total com solo exposto era de 76,59%. A área ocupada pela regeneração era de 18,60%, enquanto a superfície total recoberta pelo dossel do plantio era de somente 4,81%. Nenhuma das 39 áreas voltou à classe de floresta após a intervenção e plantio visando a restauração (Figuras 5 e 6).



**Figura 5** – Classes de vegetação mapeadas nos anos de 1991 e 1995, nas 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. (LUC, RUC, J, são denominações da empresa para identificação das áreas).



**Figura 6** – Classes de vegetação mapeadas nos anos de 2001 e 2007, nas 39 áreas estudadas. Urucu, AM, Brasil. (LUC, RUC, J, são denominações da empresa para identificação das áreas).

Ainda segundo a classificação digital supervisionada, entre os anos de 2001 a 2007 a superfície total recoberta pela regeneração teve um aumento: passou de 5,77% para 18,60%, diferença significativa entre as classes de mapeamento segundo o teste de Mann-Whitney ( $p < 0,0001$ ). A superfície total com solo exposto e dossel do plantio diminuiu de 84,21% para 76,59%, e de 10,02% para 4,81%, respectivamente. Entretanto, considerando o conjunto das áreas estas diferenças, segundo o teste de Mann-Whitney, não foram significativas ( $p < 0,22$  e  $p < 0,22$ ) (Tabela 2 e 3).

**Tabela 2** – Variação das classes dossel do plantio/regeneração/solo exposto entre 1986 e 2007. Os valores são percentuais da área total (112,4 hectares). Uruçu, AM, Brasil.

Ano / Classe	Dossel Plantio (%)	Regeneração (%)	Solo Exposto (%)
1986	100	0	0
1991	55,09	5,85	39,06
1995	33,30	9,28	57,42
2001	10,02	5,77	84,21
2007	4,81	18,6	76,59

**Tabela 3** – Teste de Mann-Whitney para verificação das diferenças entre as classes de mapeamento, nos intervalos de tempo considerados. Uruçu, AM, Brasil.

ANO / CLASSE	DOSSSEL PLANTIO ( $p <$ )	REGENERAÇÃO ( $p <$ )	Solo Exposto ( $p <$ )
1986 – 1991	0,005	0,005	0,001
1991 – 1995	0,029	0,03	0,06
1995 – 2001	0,12	0,48	0,02
2001 – 2007	0,22	0,0001	0,22

O avanço da classe regeneração entre os anos de 2001 a 2007 não pode ser creditado somente ao plantio e desenvolvimento de mudas em superfícies com solo exposto. Isto porque dos 6,8 hectares de incremento na classe regeneração 4,6 hectares ocorreram sobre a classe dossel do plantio. Sabendo que as gramíneas precisam receber a radiação solar direta, a ocupação das superfícies recobertas pela classe dossel do plantio só pode acontecer com o desaparecimento do mesmo.

A redução de superfícies com a classe dossel do plantio e solo exposto e o avanço da classe regeneração esta relacionada a três aspectos que se complementam: **1)** No ano de 2005 o Amazonas viveu a pior seca dos últimos 60 anos. O que pode ter impactado negativamente os plantios visando a restauração. Com a volta da normalidade pluviométrica as plantas invasoras, que germinam mais rapidamente e se adaptam bem a insolação direta, colonizaram as superfícies disponíveis; **2)** O aumento na dispersão das plantas invasoras. Relacionado ao

aumento do uso da hidrossemeadura, que disponibiliza propágulos para serem dispersos pela água, vento, pessoas e animais. Permitindo assim a chegada e colonização das áreas em restauração pela vegetação rasteira; **3)** A abertura de uma área de empréstimo, nas imediações das coordenadas 65°8'30"W e 04°51'40"S, transformou 4,3 ha de florestas (classe dossel do plantio) em 1,77 ha da classe solo exposto e 2,25 ha de classe regeneração, entre os anos de 2001 e 2007 (Figura 6).

Diferenças constatadas no percentual recoberto por uma ou por outra classe nem sempre foram significativas quando submetidas a teste estatístico. Resultado interpretado pelo fato da área expressa pelo percentual ser pequena diante do total das áreas consideradas. Como as áreas foram analisadas no conjunto, o valor fica diluído, perdendo significância estatística.

Os dados do ano de 2007 mostram que são os plantios entre seis e nove anos que tem maior percentual de solo protegido por vegetação (regeneração e dossel do plantio). O esperado é que este resultado correspondesse aos plantios mais antigos (Tabela 4). Isto mostra que a idade do plantio não é um fator determinante na presença desta ou daquela classe de cobertura vegetal sobre o solo. Tampouco que a cobertura vegetal é homogênea em cada uma das áreas estudadas. No ano de 2007 existiam, pelo menos, duas classes de mapeamento em todas as 39 áreas (Figura 6). Fatores ambientais como compactação do solo, processos erosivos, dessecamento, competição e facilitação, interferem na restauração (Ezawa *et al.*, 2006; Leal Filho *et al.*, 2006; Molinaro e Vieira, 2007). Um sinal que é necessário a adequação das técnicas de restauração às especificidades do meio, inclusive dentro de uma mesma área.

**Tabela 4** – Percentual da área total de 112,4 hectares recobertos com as classes dossel do plantio/regeneração/solo exposto, no ano de 2007 e em relação ao tempo de plantio. Urucu, AM, Brasil.

	Solo Exposto (%)	Regeneração (%)	Dos Plant (%)
Plantios com + de 10 anos	87	11	2
Plantios entre 6 e 9 anos	65	30	5
Plantios de 0 a 5 anos	78	15	7
2007	76,59	18,60	4,81

Em clareiras naturais ou mesmo áreas onde o solo é impactado apenas superficialmente, a forma e o tamanho interferem na regeneração (Runkle, 1982; Orians, 1982; Brokaw, 1985; Hubbell e Foster, 1986; Martinez-Ramos *et al.*, 1989; Almeida, 1989). No caso das áreas aqui selecionadas elas são muito maiores. Enquanto clareiras naturais consideradas grandes ocupam área de 0,04 ha, as áreas degradadas deste estudo têm mais de 1,8 ha. O constatado foi que o tamanho não fez diferença para a regeneração destas áreas. A forma também pouco interferiu na regeneração, ao contrário do constatado em outros tipos de abertura do dossel (Figura 7).

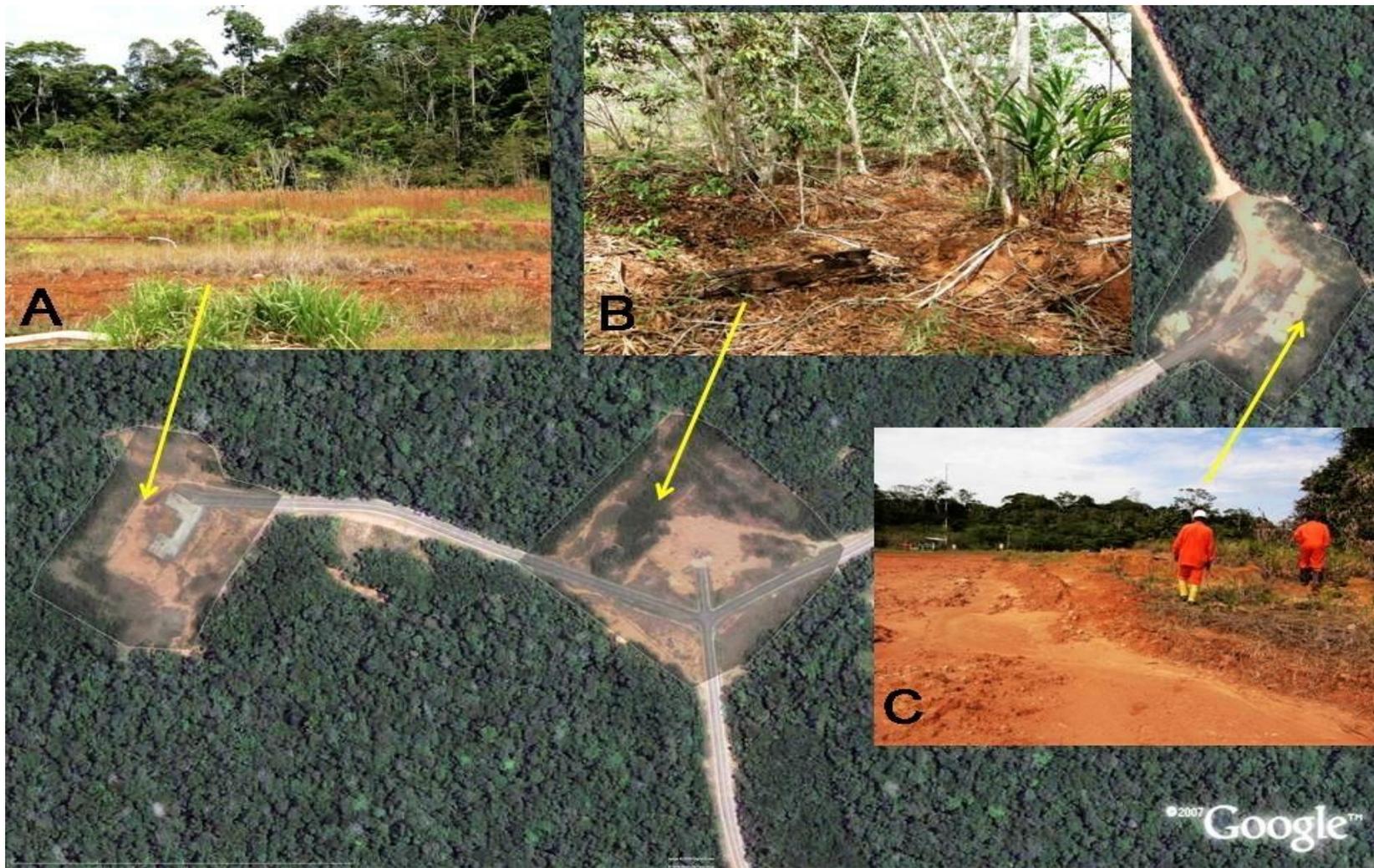
Provavelmente devido ao tamanho e forma excepcionais das áreas, bem como da intensidade do distúrbio, o zoneamento do centro para borda conforme tratado por Hubbell e Foster (1986) e Brown (1993) não foi percebido. A radiação solar atinge diretamente mais de 75% do piso da área, absorvendo a energia luminosa e transformando-a em energia térmica. Limitando a redução da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar, característicos das áreas internas da floresta, a uma estreita faixa, não maior que 10% da área total.

Áreas retangulares onde o lado menor tem até 50 metros transmitem a falsa percepção de rápido florestamento, na imagem orbital. Isto porque as copas das árvores das bordas se estendem sobre a área degradada, recobrando-a com o dossel. O piso da área continua desprovido de vegetação. Esta situação observada em campo pode estar ocorrendo em áreas isoladas, de prospecção de hidrocarbonetos, não incorporadas as áreas de produção.

A regeneração a partir da borda da área degradada é perceptível, embora lentamente devido às condições, microclimáticas, edáficas e morfodinâmicas locais. As maiores limitações à regeneração não dizem respeito às condições microclimáticas nem a distância da fonte de propágulos. A chuva de sementes e sua germinação não são limitadoras da regeneração. É a floresta que delimita as áreas degradadas. Assim como foi constatada a presença de plântulas de espécies arbóreas florestais no piso das clareiras, no período de outubro a junho. As plântulas têm dificuldade em se estabelecer devido ao dessecamento, compactação do solo e competição com as gramíneas. Holl (2006), estudando áreas de pastagens encontrou limitações para regeneração ligadas a chuva de sementes, germinação,

microclima e dificuldades com o solo, mas nada comparável a intensidade destas alterações nas áreas em Urucu.

O grande percentual da classe solo exposto em detrimento da classe regeneração pode estar relacionado à data de obtenção da imagem de 2007 - julho. Período em que as gramíneas secam devido à reduzida disponibilidade de água no solo. Motivada pela pequena capacidade de infiltração (densidade/crostas), armazenamento (porosidade/permeabilidade) e a grande insolação. Os maiores índices pluviométricos, de outubro a junho, facilitam a germinação e rebrota das gramíneas, de espécies ruderais, e florestais. Oportunidade em que a classe da regeneração amplia seu percentual de áreas cobertas. Esta oscilação faz com que a partir do mês de setembro até novembro as taxas de perda de solo (erosão) aumentem com a retomada de índices pluviométricos acima de 150 mm. O solo mais úmido e a proteção da vegetação de gramíneas (regeneração), a partir de outubro, contribuem para reduzir a perda de solo pela erosão, até o ciclo ser retomado.

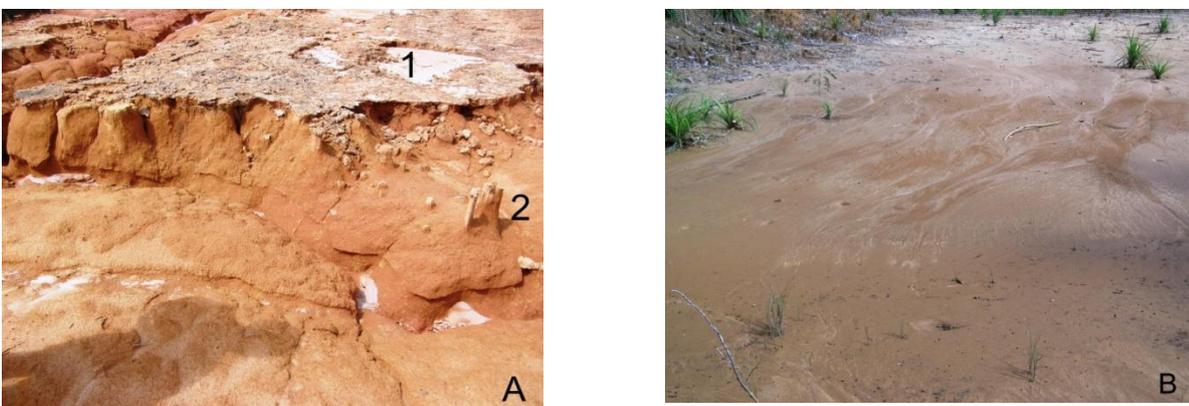


**Figura 7** - Aspectos locais das áreas de 2,66 ha, à esquerda; 4,18 ha no centro e 2,4 ha à direita, em setembro de 2008. Em “A” gramínea *Andropogon bicornis* L iniciando a invasão da área, ao fundo o plantio (regeneração) e depois a floresta. Em “B” erosão no interior do plantio expondo o sistema radicular e comprometendo a estabilidade das árvores. Em “C” solo exposto às intempéries e a erosão, o que limita a colonização pela vegetação. Entre junho e setembro de 2001 foram plantadas: 6.000 mudas na área de 2,26 ha; 14.270 mudas na área de 4,18 ha e 4.620 mudas na área de 2,4 ha. Base imagem Quickbird setembro de 2004, disponível no aplicativo web Google Earth. Urucu, AM, Brasil.

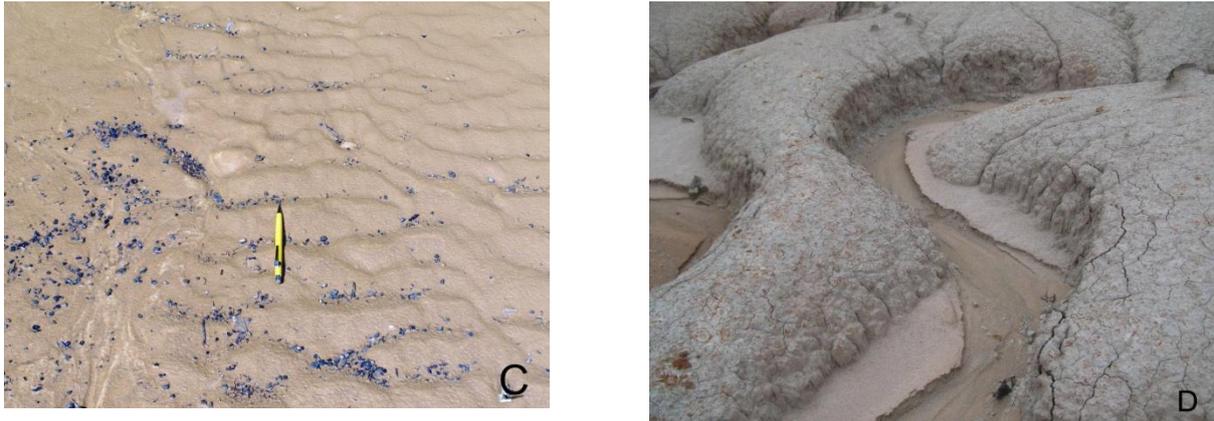
A erosão está presente pelo aporte de energia propiciado pela radiação solar e a chuva, que incidem sobre o solo quase que sem obstáculos. Os processos erosivos mais atuantes são a erosão pluvial, escoamento difuso, escoamento em filetes e mais raramente em canais. Estes deixam marcas características como micropedestais, crostas, superfícies convexas e lisas, filetes anastomosados, marcas de onda, sulcos de erosão e bacias de decantação. A erosão causa o rebaixamento da superfície do terreno, expondo as raízes e comprometendo a estabilidade das plantas (Figuras 8 a 10). O escoamento difuso transporta os poucos nutrientes disponíveis e provoca déficit hídrico. Nas áreas de deposição soterra as plantas e/ou causa alagamentos. Tamanho fluxo energético limita o estabelecimento de plantas e a própria vida (Tricart, 1977; Grime, 1977).

A existência de grandes superfícies com solo exposto e elevadas taxas de perda de solo sinaliza o comprometimento das áreas em restauração, de áreas florestadas no entorno das áreas degradadas e, sobretudo, dos canais fluviais nas imediações (Arruda, 2005; Goch, 2007).

As áreas em que as mudas de árvores cultivadas melhor se estabeleceram foram aquelas onde ocorreu o adensamento de uma só espécie de grande capacidade de adaptação a insolação, solos compactados, pobre em nutrientes e estresse hídrico. No caso espécies com o *Inga edulis* Mart, *Vismia guianensis* (Albl.) Choysi, *Myrcia fallax* (Rich) DC e a *Clitoria racemosa* Benth, árvores cujo sistema radicular superficial serve de obstáculo ao escoamento, contribuindo para minimizar o poder erosivo da água que escoava sobre o solo.



**Figura 8** – Em “A”, crosta formada pelo impacto das gotas de chuva (1). Em “2” um micropedestal também modelado pelas gotas de chuva. O escoamento superficial rebaixa a superfície. Em “B” em primeiro plano, área de espraiamento e deposição de partículas. No segundo plano, canais anastomosados - filetes. Urucu, AM, Brasil.



**Figura 9** – Em “C” marcas de onda com partículas depositadas transversais ao fluxo. A ponta da lapiseira indica a direção do fluxo de água. Em “D” sulco de erosão com a deposição de partículas no leito. Urucu, AM, Brasil.



**Figura 10**– Erosão rebaixando a superfície, expondo o sistema radicular das touceiras de gramíneas. A erosão limita a sobrevivência até mesmo de plantas ruderais invasoras. Urucu, AM, Brasil.

A marcante presença de espécies ruderais, especialmente as invasoras, esta associada às limitações físicas do solo, água e nutrientes. A presença de plantas invasoras em áreas distantes e isoladas do sistema viário de Urucu, no meio da floresta, evidencia a amplitude da dispersão destas espécies (Liding-Cisneros e Zelder, 2002; Koike, 2006). Carece avaliar as conseqüências ecológicas da incorporação destas sementes ao banco de sementes da floresta primária. As características físicas do solo e a dinâmica do meio induzem a deficiência hídrica, fatores que estreitam o nicho ecológico (Hutchinson 1957) e por conseqüência o nicho regenerativo (Grubb 1977). Este estreitamento limita a regeneração às plantas tolerantes ao estresse edáfico, hídrico e nutricional. Facilitando assim o estabelecimento das plantas invasoras, ruderais e de poucas espécies arbóreas. Com outro olhar, a presença destas plantas é uma forma da

natureza mostrar o caminho para a restauração dos sítios degradados. No caso a manipulação da sucessão primária, ao invés da sucessão secundária, como vem sendo feito (Suding *et al.*, 2004).

## **2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apesar dos esforços, o plantio de árvores não tem dado resultados significativos para o controle da erosão em Urucu. Uma estimativa modesta sinaliza que mais de 170.000 toneladas de terra foram transportadas para os canais fluviais e floresta ao redor das 39 áreas degradadas. Em muitos destes canais o assoreamento é visível. O dossel florestal não foi cicatrizado em seu aspecto estético, funcional nem ecológico. Sendo o petróleo um recurso mineral esgotável, urge que a empresa petrolífera coloque em prática tecnologias adaptadas e testadas para a situação das áreas estudadas, que permitam a restauração compatível com o dano ambiental por ela causado.

## CAPÍTULO 3

# CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ABERTAS PELA PESQUISA E EXPLORAÇÃO DE HIDROCARBONETOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL<sup>6</sup>

### 3.1 OBJETIVO

- Classificar as áreas utilizadas pela indústria petrolífera;

---

<sup>6</sup> Submetido à revista Acta Amazonica, na forma de artigo.

### 3.2 RESUMO

A instalação das atividades de pesquisa e exploração de hidrocarbonetos segue normatização técnica afeita ao setor de engenharia, independente dos ecossistemas do entorno. Portanto, as intervenções na Província Petrolífera de Urucu contido em um raio de 20Km ao redor do ponto de coordenadas  $65^{\circ}11'15''W$  e  $04^{\circ}51'55''S$  pouco diferem das outras Províncias Petrolíferas existentes na Amazônia Ocidental. A partir da hipótese que as áreas abertas pela indústria de hidrocarbonetos diferem das clareiras naturais proponho uma classificação com objetivo de facilitar a comunicação entre pesquisadores, a contextualização e a interpretação dos resultados das pesquisas. Nesta classificação foram analisadas 196 áreas abertas no período de 21 anos. Imagens de satélite e dados de campo subsidiaram a análise temporal e espacial das intervenções que resultaram na abertura do dossel. Informações que foram analisadas e associadas por ferramentas estatísticas, de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Subsidiaram a classificação estudos sobre a área total desmatada, uso, fatores intervenientes na abertura, técnica de abertura, tamanho, forma, técnica de plantio, zoneamento interno, e avaliação da regeneração. Em 21 anos foram abertos 2.897,3 ha, sendo 2.772,7 ha para obras de infraestrutura. Outros 214,6 ha foram destinados a instalação de poços e lavra de material de empréstimo. A denominação área degradada é adequada para identificar as áreas abertas pela indústria petrolífera, tendo em vista a magnitude do distúrbio e seus reflexos no ecossistema. A denominação "clareira" adéqua-se, somente, as áreas utilizadas para pesquisa, quando não há remoção dos horizontes superficiais do solo. A classificação está ancorada no uso, área, substrato, regeneração natural, técnica de restauração. As seguintes classes são propostas: pesquisa, poço, empréstimo, bota-fora e infra-estrutura.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A prospecção e exploração de hidrocarbonetos na Amazônia ocidental é uma realidade. São 35 companhias trabalhando com 180 blocos exploratórios, distribuídos em uma área descontínua de 688.000 km<sup>2</sup> de cinco (5) países: Peru, Equador, Bolívia, Colômbia e Brasil. No território brasileiro a pesquisa exploratória soma um total de 67.000 km<sup>2</sup> (Finer *et al*, 2008). Em Urucu no Estado do Amazonas, Brasil, a exploração é feita desde 1986 no meio da floresta primária, em uma área de 36.000 hectares. É importante que exista uniformidade na denominação das áreas impactadas por esta indústria, de modo a facilitar a interlocução entre os pesquisadores.

Classificar significa por em ordem, distribuir em classes, agrupar tendo por base aspectos de semelhança entre os elementos classificados (Houaiss, 2004). A classificação é uma atividade fundamental na aquisição do conhecimento. É um código fundamental, ordenador de nossa cultura (Foucault, 1966). Como processo meio, a classificação se desenvolve com base em dois referenciais básicos: 1) a natureza da informação objeto de classificação; 2) as características e necessidades específicas da comunidade usuária frente ao propósito último de uso da informação (Langridge, 1977). Ao propor uma classificação pragmática de áreas impactadas pela pesquisa e exploração de hidrocarbonetos privilegia-se o uso dado às mesmas e as ações que sobre ela se pretende desencadear (Apostel, 1963). Este é o desafio desta pesquisa.

As normas internacionais de engenharia para implantação das diferentes instalações que dão suporte as atividades de pesquisa e exploração de hidrocarbonetos são rígidas e focadas, sobretudo, na qualidade e segurança patrimonial e dos trabalhadores. Recentemente a questão da saúde e do meio ambiente foram incorporadas. Mas muito ainda precisa ser feito para adequar as intervenções ao ecossistema onde a atividade está inserida. Especialmente para minimizar danos ambientais e facilitar a restauração das áreas degradadas.

A rede CT-Petro Amazônia é composta por diversas instituições e pesquisadores de múltipla formação. A rede desenvolve esforços no sentido de melhor conhecer os impactos da indústria petrolífera na floresta tropical. Bem como desenvolver tecnologias mais eficazes para restauração das áreas impactadas.

Quando as intervenções da indústria petrolífera ocorrem na floresta o primeiro impacto é o desmatamento, denominado de forma genérica como “abertura de clareira”. Por extensão, toda e qualquer transformação no uso do solo em área de floresta passou a ser denominada “clareira”. Do simples desmatamento ao decapeamento de até 15 m de profundidade, instalação de um porto, poço ou planta industrial.

Por definição clareira natural é uma abertura no dossel provocada por distúrbios naturais que se estende verticalmente para o solo, através de todos os níveis da vegetação, devendo ser limitada pela vegetação com altura média de dois metros acima do solo (Brokaw, 1982). Ou ainda pode ser definida como uma área do solo, sob a abertura do dossel, delimitada pelas bases das árvores de dossel que circundam a abertura do mesmo (Runkle, 1981). Há 30 anos a ecologia tropical trabalha com o binômio: clareira ↔ floresta, dada a importância deste na regeneração e diversificação biológica (Oldeman, 1978; Orians, 1982; Brokaw, 1985; Hubbell e Foster, 1986; Whitmore, 1989 e 1990; Brown 1993; Denslow e Hartshorn, 1994; Eysenrode *et al.*, 1998; Dalling e Hubbell 2002).

Tendo como fundamento os diferentes nichos regenerativos (Grubb, 1977), a disponibilidade de água, luz e nutrientes para o estabelecimento das plantas (Grime, 1977 e 2001), o estudo das clareiras naturais pode ser dividido em duas grandes linhas: 1) Estudos sobre a estrutura – tamanho, tipo de queda, geometria e ambiente interno da clareira ai inserido o zoneamento; 2) estudos sobre a regeneração – fontes de regeneração, evolução da clareira, grupos ecológicos e sucesso de colonização (Uhl, 1988, Vieira e Higuchi 1990; Brown *et al.*, 1996; Vieira, 1996).

Outro importante fator nestes estudos são os distúrbios, mecanismo dinâmico que modifica as interações competitivas, os mosaicos sucessionais e a trajetória do ecossistema. A dinâmica do ecossistema é função das interações espaço temporais do regime de eventos (Jentsch, 2007). A análise do distúrbio considera sua dimensão temporal, espacial e magnitude (Glenn-Lewin *et al.*, 1993). As variações entre as características temporais, espaciais e a magnitude dos distúrbios podem afetar a resiliência dos ecossistemas nos locais atingidos pelo distúrbio. Assim como a utilização de diferentes definições de clareiras levam a resultados diversos no estudo de sua dinâmica (Van der Meer *et al.*, 1994).

Os distúrbios naturais acarretam a queda de uma ou mais árvores e são provocados pela morte de um indivíduo, escorregamentos de solo, furacões, blowdown, fogo, dentre outros. Existem também distúrbios não naturais, causados pelos seres humanos. Estudos em clareiras originadas por distúrbios não naturais a exemplo de incêndios, corte seletivo, desmatamento, mudanças no uso do solo, foram desenvolvidos por pesquisadores como (Higuchi *et al.*, 1997; Zimmerman *et al.*, 2000; Hooper *et al.*, 2004, 2005; Holl, 2006, Oliveira, *et al.*, 2006, Jardim *et al.*, 2007, Laurence *et al.*, 2007).

Em Urucu os distúrbios não naturais são diferenciados. Além do desmatamento há remoção dos horizontes do solo, junto com ele o banco de sementes e a maior parte dos seres vivos. Estas são as áreas objeto preferencial das pesquisas da rede CTPetro Amazônia.

A escolha do local aonde realizar a pesquisa começa pelo conhecimento dos locais disponibilizados pela empresa petrolífera. Em um segundo momento passa pelas questões intrínsecas da pesquisa e do pesquisador. Este procedimento pode interferir na implantação, desenvolvimento e na análise dos resultados da pesquisa. Pois nem sempre o pesquisador está informado das peculiaridades e histórico da área onde a pesquisa será desenvolvida. Em especial quanto às características do distúrbio em suas dimensões temporais, espaciais e magnitude.

As áreas são tratadas indistintamente como “clareiras”, somente sendo diferenciadas pela identificação fornecida pela empresa a partir dos usos por ela reconhecidos: 1) Poços; 2) Jazidas ou Clareiras. Existem situações onde ocorre a superposição de diferentes usos do solo, permanecendo a denominação do primeiro uso. Por exemplo, empréstimo num primeiro momento e depósito de resíduos sólidos (bota-fora) em outro momento. Permanecendo a identificação/denominação primeira (jazida). Em uma mesma área aberta também ocorre o uso múltiplo, embora a denominação destaque um único uso. Ou duas denominações para uma mesma área aberta, inexistindo um limite físico ou perceptível ao olhar.

A necessidade da classificação das áreas veio a partir da constatação prática das diferenças entre uma clareira e as áreas utilizadas pela indústria do petróleo. Diferenças passíveis de causar interferências na realização e interpretação de experimentos, na regeneração natural e na restauração. Classificação norteada por duas hipóteses: as áreas afetadas pela pesquisa e exploração de petróleo diferem das clareiras naturais e

das artificiais trabalhadas na literatura temática (1). As peculiaridades destas áreas permitem o agrupamento em conjuntos similares quanto ao uso, regeneração natural, e respostas às práticas de restauração (2).

### **3.4 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.4.1 COLETA DE DADOS DIRETOS E INDIRETOS**

A obtenção de dados diretos e indiretos está respaldada em três passos, a saber: 1) pesquisa bibliográfica; 2) levantamentos sistemáticos de campo e; 3) análise de imagens orbitais. Na apresentação de cada um destes passos os atributos considerados na classificação são identificados por letras, que por sua vez seguem a ordem de apresentação dos resultados. A ordem de apresentação dos resultados é: **a)** área total desmatada; **b)** usos do solo; **c)** fatores intervenientes na abertura de áreas; **d)** técnica de abertura das áreas (distúrbio); **e)** tamanho; **f)** forma; **g)** técnicas de plantio; **h)** zoneamento; **i)** avaliação da regeneração. Estas informações foram cruzadas com técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e estatística buscando fundamentar a classificação.

##### **3.4.1.1 Pesquisa Bibliográfica**

A bibliografia utilizada está relacionada a pesquisa em ecologia tropical sobre clareiras. E estudos específicos desenvolvidos em Urucu, com o respaldo da Rede CT-Petro Amazônia. Além de planilhas e mapas fornecidos pela empresa com informações sobre identificação de 196 áreas, tamanho, data do plantio (mês e ano), quantidade e espécies cultivadas.

#### **3.4.2 LEVANTAMENTOS SISTEMÁTICOS DE CAMPO**

Os levantamentos sistemáticos de campo foram realizados em períodos alternados entre janeiro de 2006 a julho de 2008. Cada uma das 196 áreas identificadas nas planilhas apresentada pela empresa, confirmadas nas imagens de satélite e possíveis de

serem acessadas por meio terrestre foram visitadas. Em cada uma destas áreas foram obtidas coordenadas com GPS Garmin, modelo 60CSX, e realizada documentação fotográfica com máquina Olympus modelo SP550UZ. Cada área identificada foi descrita quanto ao uso do solo **(b)**, técnica de abertura **(d)**, tamanho **(e)**, forma **(f)**, técnica de plantio **(g)**, regeneração natural **(h)**, desenvolvimento do plantio a partir da identificação visual das espécies, estimativa visual da altura das árvores, área da copa projetada no solo e aspecto geral das árvores cultivadas **(i)**.

Com teodolito de leitura eletrônica Alkon, modelo EDT – 05, foi realizado o levantamento planialtimétrico com equidistância de 10 cm entre as curvas de nível em três áreas. Nesta oportunidade foi implantada uma malha de 10x10m. Malha esta utilizada em sondagem a trado até a profundidade de 2 m. Durante as sondagens o material proveniente dos furos foi descrito quanto a sua cor, granulometria, textura, umidade aparente e partículas maiores. Toda vez que se constatava variação ou mudança no substrato eram coletadas amostras. Os dados de sondagem associados ao perfil topográfico permitiram a construção de secções transversais, que facilitaram a visualização tridimensional do substrato e melhor caracterização da superfície e do uso do solo **(b)**.

Em 36 áreas foram realizadas duas sondagens até a profundidade de 20 cm cada uma. A análise visual deste material permitiu conhecer as possíveis variações e limitações superficiais para o estabelecimento de plantas. A compactação do solo foi analisada a partir dos resultados obtidos por Arruda (2005), que estudou este aspecto em 30 das 196 áreas objeto deste estudo. Perfurações e análises de solo foram importantes para caracterização do substrato e avaliação da magnitude do distúrbio **(d)**.

O inventário foi realizado em 36 áreas. Em cada uma destas áreas foram feitos dois inventários: um em local de atuação de processos de erosão e outro em local de atuação de processos de deposição. Cada inventário cobriu uma superfície circular com 2 m de raio, totalizando 12,5 m<sup>2</sup>, sendo 25,1 m<sup>2</sup> inventariados em cada uma das áreas. As plantas menores que 40 cm foram identificadas (regeneração). A presença de determinada espécie nas áreas abertas, os grupos ecológicos a que pertencem e a quantidade de espécies regeneradas por período de plantio foram informações utilizadas na caracterização da regeneração **(g, h e i)**.

### 3.4.3 ANÁLISE DE IMAGENS ORBITAIS

A quantificação do desmatamento foi feita com base nos dados da Agência Espacial Brasileira - INPE para os anos de 1997, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006 e 2007 (INPE, 2007). Complementada por análises feitas em uma série histórica de imagens LANDSAT e imagem Quickbird **(a)**.

Obtidas as imagens TM LANDSAT 5, cena 001\_063, composição R5G4B3 de junho de 1986, julho de 1991, agosto de 1995, julho de 2001 e julho de 2007, estas foram georeferenciadas no software Global Mapper 8.0 utilizando como referência o mosaico GeoCover Landsat Zulu cena S-20-00\_2000 disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Também foi utilizada uma imagem Quickbird de setembro de 2004, disponível no aplicativo web Google Earth.

As áreas abertas foram delimitadas na imagem Quickbird. Para execução desta tarefa foi utilizada a ferramenta de edição de polígonos do software Google Earth Pro 4.0. Tais polígonos delimitadores foram exportados em formato (.kmz) para o software Global Mapper 8.0 e convertidos em shapefile (.shp). No programa ArcGIS 9.2 os arquivos (.shp) foram reprojitados, passando de Sistema de Coordenadas Geográficas - Datum SAD69 para a Projeção South America Albers Equal Área Conic. Depois de reprojitados foi calculada a área, em metros quadrados, de cada uma das aberturas **(e e f)**.

As imagens LANDSAT passaram por uma classificação supervisionada no software Envi 4.3. O método utilizado foi o de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*). As classes foram definidas em: i) floresta (tons verde escuro e textura rugosa na imagem); ii) área em regeneração (regeneração natural e através de plantio – tons verde claro e textura menos rugosa ou lisa na imagem); iii) solo exposto (desmatamento – tons em rosa na imagem). A classificação foi restrita a superfície contida no interior de 39 polígonos maiores que 1,8 hectares. As classes e a classificação digital das áreas abertas foram confirmadas em campo, com GPS de navegação, por meio de identificação visual. Com este procedimento foi possível conhecer a variação em hectares, entre floresta, regeneração e solo exposto para cada uma destas 39 áreas abertas (polígonos) e avaliar a regeneração com enfoque na cicatrização do dossel **(i)**.

Ainda no ArcGIS 9.2 os “shapes” das áreas abertas foram superpostos sobre cada uma das imagens LANDSAT dos diferentes anos, da mais antiga para mais nova.

Verificando assim o período de abertura. O shape das áreas abertas foi superposto ao mapa geológico da CPRM - Serviço Geológico do Brasil, (2006), geomorfológico e de vegetação do RADAMBRASIL(1978), buscando a identificação de padrões e controles naturais para abertura de áreas na floresta **(c)**.

Nas imagens orbitais também foi feita uma caracterização do uso do solo **(b)** mediante a observação visual, quando a resolução da imagem assim permitiu. Este dado indireto foi confirmado em campo, no caso de Urucu. Com o programa Google Earth Pro 4.0 áreas de exploração de hidrocarbonetos na Amazônia Ocidental no Peru, Equador, e Colômbia foram visitadas e comparadas quanto à forma, tamanho, superfície e uso, com o observado em Urucu. Visita ao site das empresas responsáveis pela exploração permitiu conhecer algumas técnicas utilizadas na restauração. Elementos que possibilitaram conferir se o observado no campo de óleo e gás estudado se repetia nestes locais.

#### **3.4.4 CLASSIFICAÇÃO**

A classificação proposta vem do cruzamento das informações diretas (sondagens, inventário, práticas de restauração, constatação de uso – motivo da intervenção e alterações no ambiente) com as indiretas (geologia, geomorfologia, forma, tamanho, interpretação do uso) pela superposição destas no programa ArcGIS 9.2 e análises estatísticas. Exercício que permitiu a comparação entre as áreas abertas pela indústria e as clareiras naturais, a partir dos fatores ambientais relevantes para restauração. Isso possibilitou o delineamento de padrões das áreas abertas, permitindo sua classificação em função do uso, regeneração natural e as práticas de restauração.

A técnica de abertura foi analisada a partir da observação pessoal quando da abertura de áreas e por informações obtidas em conversa pessoal com funcionários da empresa petrolífera. O tamanho foi medido a partir de polígonos traçados nas imagens Quickbird, tendo como limite da área aberta o contato entre a borda da copa das árvores e o solo desprotegido (projeção ortogonal da borda da copa da árvore no solo). Confirmado com as planilhas fornecidas pela empresa. No caso de diferença entre o medido na imagem e o fornecido pela empresa privilegiou-se o medido na imagem.

Os diferentes tamanhos foram tratados no programa Systat 12 para cálculo de estatística descritiva como intervalos de classe, média e porcentagem. A forma foi

identificada pela figura geométrica correspondente ao polígono utilizado na medição do tamanho. As zonas no interior das áreas foram identificadas nos levantamentos de campo, quando da observação dos plantios, inventário da regeneração e sondagens.

A regeneração foi avaliada a partir das imagens orbitais e técnicas de sensoriamento remoto. Na medida em que a variação temporal do espaço ocupado pelas classes floresta→solo exposto→regeneração→floresta foi processada. Também foram utilizadas informações fornecidas pela empresa sobre a data do plantio, área plantada, quantidade de árvores e número de espécies utilizadas, além das observações diretas sobre o desenvolvimento dos plantios e inventários da regeneração realizados. O conjunto de dados foi analisado no Programa Systat 12 para cálculo da estatística descritiva.

A análise do distúrbio foi realizada pela observação pessoal direta dos procedimentos da engenharia quando da implantação de um poço, área de empréstimo, ou infraestrutura. As condições de atributos como solo, declive, microrelevo, processos morfodinâmicos também forneceram elementos para análise do distúrbio. A análise temporal esta fundamentada na interpretação da série histórica de imagens LANDSAT. Identificado o período em que a área foi aberta, ainda nas imagens, houve a busca de possíveis retomadas nas atividades impactantes (freqüência). O início da restauração foi considerado a partir da data do início do plantio, informado nas planilhas da empresa.

A análise espacial do distúrbio considerou o tamanho da área, sua localização geográfica e nas unidades geomorfológicas. A intensidade do distúrbio foi analisada pelos procedimentos utilizados na abertura e suas conseqüências no substrato, nos processos morfodinâmicos e no desenvolvimento dos plantios e na regeneração natural.

Dos padrões advindos destas análises foram propostas as classes em função de seu uso, regeneração natural e resposta às técnicas de regeneração utilizadas. Os padrões de uso observados foram comparados com os existentes em outras áreas de pesquisa e exploração de petróleo na Amazônia Ocidental, utilizando imagens de alta resolução disponíveis no Google Earth e visitas ao site das empresas responsáveis pela exploração.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### a) Área Total Desmatada

A série histórica de imagens obtidas permitiu o acompanhamento do desflorestamento em intervalos médios de cinco anos. A área total desmatada com corte raso entre 1986 a 2007 soma 2.897,3 ha (INPE, 2007). Entre 1986 a 1997 foram desmatados 80% deste total, com destaque para os primeiros cinco anos da série, quando foram desmatados 47% da área aberta em 21 anos.

Os dados de desmatamento (INPE, 2007) são eficazes para medição da área total desmatada. Entretanto, foram constadas defasagens pontuais, de até cinco anos, entre a abertura da área e seu registro pelo acompanhamento do INPE. Fato que pode estar relacionado ao método na classificação da imagem, e/ou a presença de nuvens.

#### b) Usos do Solo

As áreas são abertas para atender às seguintes necessidades: 1) infraestrutura 2) pesquisa de hidrocarbonetos; 3) poços exploratórios e de produção de petróleo/gás; 4) lavra de mineral da classe II (uso na construção civil);

1. Infraestrutura para suporte da pesquisa e exploração – Sua implantação exige movimentação de terra expressiva, cortes e aterros e um conjunto de áreas de empréstimo para sua implantação e manutenção. São espaços com superfície plana, dimensões variáveis, e porções significativas de áreas impermeabilizadas e sem vegetação. Abrigam portos, aeroporto, estradas, planta industrial, administração, posto de combustível, depósitos e pátios de estocagem, oficinas, alojamentos e refeitórios, lavanderia, escola, estações de processamento de resíduos sólidos e líquidos, dentre outras;
2. Pesquisa de óleo e gás - As áreas abertas para pesquisa costumam ser alinhadas e com intervalos de distância regulares entre elas. Geralmente não há acesso por estradas. Foram melhores identificadas nas imagens de 1986, 1991 e 2007. Ocorre o abate das árvores com motosserra e não há alterações profundas nos horizontes do solo. A terraplanagem, quando feita, é localizada. A regeneração ocorre de forma natural;

3. Poços de Exploração e Produção de óleo e gás - Os poços são identificados pelas siglas RUC, LUC, SUC e IMT seguido de numeração. São áreas com superfície plana. Normalmente associadas a lavra de material utilizado na terraplanagem e a áreas menores, onde instalam os alojamentos do pessoal envolvido na atividade de perfuração. A movimentação de terra é grande, há terraplanagem e compactação do solo de forma extensiva. Existem áreas retangulares, de concreto, associadas a estrutura do poço e interligadas com vias de acesso e tubovias. Estas vias conectam os poços às estações de bombeamento, armazenagem e processamento. Normalmente estão implantadas no topo cortado de elevações, mas também foram observados em áreas rebaixadas, ou úmidas, como em 04°53'34,6"S e 65°9'25,8"W;
4. Lavra de Mineral da Classe II - Áreas de Empréstimo, identificadas como jazidas (J) ou clareiras (CL) mais numeração. Servem para lavra de material siltico-argiloso e argilo-siltoso, utilizados na terraplanagem de vias de acesso e outras ligadas a infraestrutura. O material proveniente destes locais também é utilizado para formar, após compactação, a base e a sub-base onde se implantam as instalações dos poços. Toda porção de solo é retirada, restando no piso a rocha alterada. A superfície varia de plana a declives que podem chegar a 15%. Algumas das áreas lavradas são reutilizadas para diferentes usos ligados a infraestrutura.
5. Bota-fora – São locais de disposição final ou transitória de resíduos sólidos e líquidos. Não foi constatada a abertura de área com este fim específico. São reaproveitadas áreas de empréstimo exauridas e de poços abandonados, que então passam a ser preenchidas. Herdam do uso que a antecedeu a identificação (J, CL, LUC). A superfície geralmente é plana, mas podem existir taludes com até 20% de declive, fruto do aterramento dentro da área. São comuns restos de asfalto, concreto, madeiras e troncos de árvore. Foi observada a disposição de restos de óleo e lodo da estação de tratamento de efluentes, como também foi constatado ocorrer o soterramento de um processo inicial de regeneração. A identificação destas áreas foi feita em campo, com sondagens e identificação visual.

Dos 2.987,3 ha abertos 2.772,7 ha (92,8%) são para infraestrutura. O monitoramento da abertura de áreas indica uma drástica redução no desmatamento após a implantação da infraestrutura na província petrolífera. Somente após a desativação/exaustão dos poços é que estas áreas podem ser objeto de restauração. Áreas de infraestrutura não são objeto de pesquisas pela rede CT-Petro Amazônia. A exceção daquelas que apoiaram a perfuração de poços.

### **c) Fatores Intervenientes na Abertura de Áreas**

Foram identificados três compartimentos geomorfológicos: 1) Platôs com topos aplainados dissecados em lombas suaves, a partir da cota de 60m, recobertos por floresta de terra-firme; 2) Colinas convexas e vales encaixados em forma de “V”, entre as cotas de 50 a 60 m, recobertos por floresta de terra firme; 3) Planície e terraços fluviais situados às margens do rio Urucu e seus tributários de terceira ordem, abaixo da cota de 50m, recoberto por floresta com espécies tolerantes ao alagamento. Das 196 áreas abertas 79% encontram-se nas colinas convexas, 15,6% estão situadas nos platôs e 5,2% na planície e terraços fluviais. Não foram observados poços perfurados em platôs.

Analisando os fatores geológicos foi constatado que as aberturas do dossel inicialmente obedecem a este critério. Relacionados ao tipo de rocha (litologia) e estrutura subjacentes. Destes critérios se tem a locação das áreas de pesquisa e dos poços de exploração. Descoberto o hidrocarboneto o critério de abertura de área fica ligado às necessidades da infraestrutura.

As áreas são abertas suprindo necessidades operacionais que se pretende atender. Seja na beira de rios, topos de morro ou meia encosta, independente da cobertura florestal existente. Os aspectos ligados à geologia e a engenharia tem privilégio na indicação do local. Assim os portos estão nas margens do rio Urucu, áreas de carga e descarga contíguas aos portos, estação de tratamento de efluentes líquidos e resíduos sólidos em área rebaixada fora da planície de inundação do rio Urucu, mas em local mais baixo, próxima a um tributário deste. Estocagem de material em pontos medianos das vias de acesso. Nos topos de morros tem-se o aeroporto e o Pólo Arara, dentre outros. As vias de acesso preferencialmente estão implantadas sobre divisores de água.

### **d) Técnica de Abertura das Áreas (distúrbio)**

O desflorestamento é feito com a técnica do “correntão” (dois tratores de esteira ligados por uma corrente avançam sobre a área que se pretende ocupar, derrubando as

árvores entre as duas máquinas). Depois é feita a limpeza. Grande parte do material é empurrado para as bordas da área. O que gera danos em outras árvores como a queda de galhos e quebra de troncos, além de acentuar o declive nas bordas das áreas abertas, interna e externamente.

As áreas abertas encontram-se em topos de morro e meia encosta, apenas 8,1% das áreas abertas estão nas margens de rios. As intervenções são feitas com a utilização de maquinário de terraplanagem. O padrão da intervenção é o corte e a compactação no terço superior da encosta. Em se tratando de áreas úmidas ou rebaixadas, próximas a igarapés, é feito o aterro e compactação do solo.

Ao explorar uma área como empréstimo de material ou mesmo na realização de perfurações de prospecção/exploração o piso fica com a rocha alterada – regolito - em superfície. Quando da instalação de poços e infraestrutura, costuma recobrir este pacote com uma camada de até 20 cm de material de empréstimo compactado.

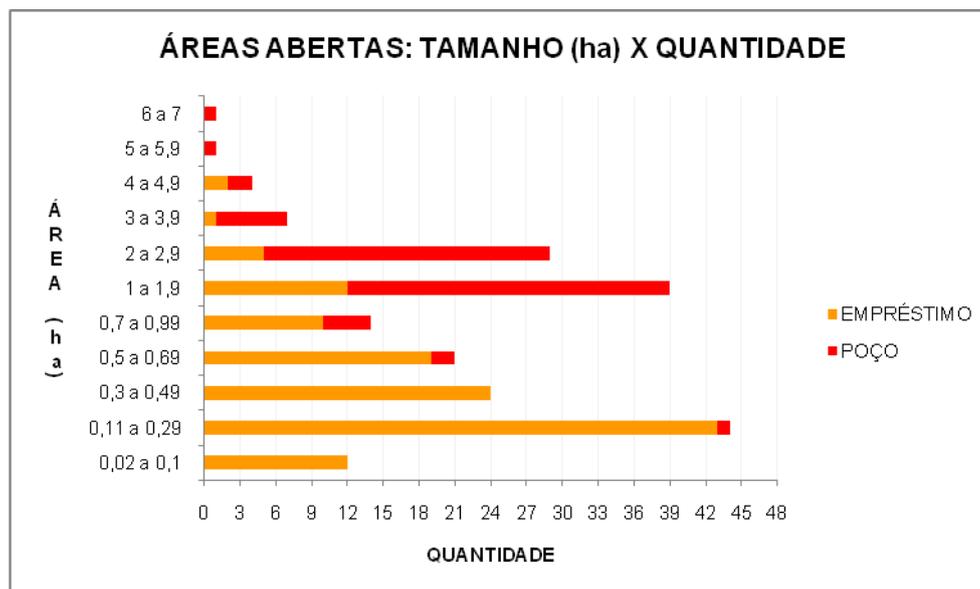
Os distúrbios a que são submetidas as áreas abertas para atender a exploração petrolífera resultam em solos superficiais (0 a 10 cm) com densidade de até 1,76 g/cm<sup>3</sup> e porosidade de 32,43%. Reduzindo drasticamente a circulação vertical da água no perfil do solo. Um incremento de até 217% na densidade do solo e redução de 49% na porosidade, quando comparado com solos superficiais na floresta primária (Arruda, 2005; Teixeira *et al.*, 2004 e 2006). Na composição granulométrica predominam as partículas de silte, seguida pela areia fina, argila e areia grossa. Ou predomina a fração areia fina seguida pela argila, silte e areia grossa. Entretanto, a soma da fração areia fina e silte predomina sobre as demais, representando um fator que potencializa a erodibilidade do solo (Wischmeier *et al.*, 1971; Angulo *et al.*, 1984). O silte favorece o selamento superficial do solo, o que diminui a porosidade e reduz a infiltração. Dificultando assim a germinação e emergência de plântulas (Santos *et al.*, 2002)..

Nas áreas de bota fora há necessidade de maior atenção. A variação de comportamento entre os diferentes materiais depositados tornam imprevisíveis a variação horizontal e vertical do solo quanto a compactação, porosidade, granulometria e fertilidade.

### e) Tamanho

A empresa identifica 196 aberturas em áreas de floresta (jazidas, clareiras e poços) que juntas somam 214,6 ha. Um percentual de 7,1% do total das áreas desmatadas. São 68 poços de exploração e 128 áreas de empréstimo. Estas são as áreas objeto de plantios para restauração e das pesquisas pela Rede CT-Petro Amazônia.

O tamanho médio das áreas de empréstimo é de 0,59 ha. A menor mede 0,02 ha e a maior 4,57 ha. O intervalo entre 0,11 e 0,49 ha contém 52,3% das áreas, sendo que em 91% dos casos as áreas de empréstimo são menores que 1,5 ha. O conjunto das áreas de empréstimo soma 75,4 ha, sendo que sete áreas (5,4%) respondem por 27,8% deste total. Estes números mostram que estas áreas são abertas para atender necessidades específicas, localizadas, especialmente para manutenção das vias de acesso. As áreas com mais de 1,5 ha são utilizadas para atender demandas maiores, relacionadas a implantação ou troca de pavimentação de estradas, ou mesmo a implantação de um conjunto de poços (Figura 1).



**Figura 1** – Tamanho X Quantidade de áreas abertas pela empresa petrolífera. Urucu, AM, Brasil.

O tamanho médio das áreas dos poços é de 2,07 ha, a menor mede 0,29 ha e a maior 6,68 ha. O Intervalo entre 1 e 2,9 ha abriga 74,1% destas áreas. Sendo que 88% dos poços estão implantados em áreas maiores que 1,5 ha. As áreas ocupadas pelos poços somam 139,2 ha. O maior tamanho destas áreas está relacionado: a) necessidade de movimentação de maquinário pesado e grandes estruturas na oportunidade da perfuração e instalação do poço; b) prática de concentrar nas imediações do local da

perfuração a estocagem de equipamentos, materiais, parte administrativa e o alojamento; c) questões de segurança ligadas a manutenção do poço, o controle e o combate a incêndios e vazamentos; d) Necessidade das normas de engenharia absorverem valores e princípios ambientais. Especialmente os ligados ao mínimo impacto ambiental e a facilitação da restauração ambiental.

Os poços e áreas de empréstimo com mais de 2,5 ha representam 9,1% da quantidade de áreas abertas e somam 30,4% da superfície desmatada para estas finalidades. Correspondem aos locais de usos múltiplos como instalação de um conjunto de poços, ou poços contíguos a áreas de empréstimo, poços associados à infraestrutura como estações de bombeamento, pátio de estocagem de material. Há também áreas de empréstimo com maior potencial e demanda de uso, por exemplo a área localizada em 04°52'37" S e 65°18'43,9" W, medindo 4,21 ha e a área localizada em 04°51'38,6" S e 65°08'29,6" W, medindo 4,57 ha.

Foram observadas áreas menores que um hectare, alinhadas e normalmente isoladas, que não foram contabilizadas pela empresa nem por este trabalho. Aqui não foi feita esta quantificação porque entre uma imagem e outra (cinco anos) o dossel estava reconstituído. São desconhecidas as pesquisas da Rede CT-Petro Amazônia existentes nas mesmas. Estas áreas foram associadas a atividade de prospecção de hidrocarbonetos.

Estudos que classificam as clareiras naturais quanto a sua dimensão consideram a área de 0,04 ha como muito grandes e reconhecem a relação entre o tamanho menor da clareira e a maior facilidade para sua regeneração (Denslow 1980, Runkle 1982, Brokaw 1985b, Hubbell e Foster 1986). Em Urucu, de um total de 196 áreas abertas apenas 2% (4) tem área menor ou igual a 0,04ha.

#### **f) Forma**

As áreas abertas têm a forma preferencial de um quadrilátero. Contornos arredondados aparecem na medida em que a delimitação foi feita pela copa das árvores, ou quando o limite esta representado por vias de acesso ou igarapés. A forma com contornos retos evidencia a influência do planejamento pela equipe de engenharia, e a execução do planejado segundo delimitação prévia da equipe de topografia. Quando na forma retangular, em três dimensões se assemelham a forma cilíndrica (Hubbell e Foster, 1986) ou mesmo a forma elíptica (Runkle, 1982; Almeida, 1989; Tabarelli e Montovani

1999). Entretanto, a relação entre comprimento e largura tem escala diferenciada das clareiras naturais, sendo maiores as abertas pela indústria petrolífera.

### **g) Técnicas de Plantio**

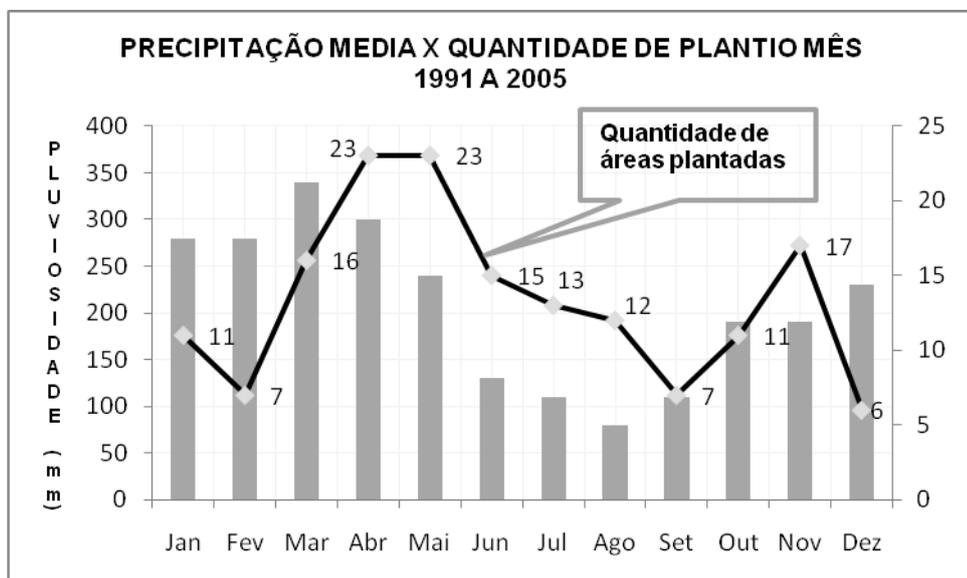
Das 196 clareiras identificadas 29 (14,79%) não foram recuperadas. Os motivos identificados para não recuperação foram: a) Edificações necessárias as atividade de prospecção, exploração e transporte de petróleo e gás natural; b) Diminuto tamanho da clareira; c) Área de difícil acesso.

O plantio visando a restauração nas outras 167 áreas tem abordagem dendrológica e segue os seguintes passos: 1) liberação da área pela engenharia; 2) verificação do estoque de mudas disponíveis no viveiro e planejamento do plantio (cálculo da quantidade de mudas e espécies a serem utilizadas); 3) abertura de covas de 20X20X20cm, em linha e com espaçamento regular; 4) plantio das mudas, quando é feita adubação na cova com 20g de macronutrientes na razão de 10 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> :10 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> :10 K<sub>2</sub>O; 5 e manutenção, representada pelo corte das espécies invasoras, conservação da regeneração natural de plantas arbóreas e replantio quando necessário; 6) substituição de espécies dominantes visando o enriquecimento das áreas onde os plantios conseguiram se desenvolver, técnica implementada a partir de 2007.

Ao longo do tempo ocorreram alterações nas técnicas de plantio. Foi detectado aumento no espaçamento entre as árvores, na quantidade e qualidade de espécies utilizadas no cultivo das áreas a serem recuperadas. O espaçamento inicial entre as árvores era 1X1m. A partir do ano 2000 este espaçamento foi aumentado para 1,5 X 1,5m a 2,0 X 2,0 m. Atualmente o plantio de árvores contratado fixa um espaçamento de 2 X 2 m. O aumento no numero de espécies utilizadas e o abandono do cultivo de espécies exóticas como *Myrcia fallax* (Rich) DC e *Clitoria racemosa* Benth, também deixaram de ser feitos a partir do ano de 2000.

A proteção do solo nas áreas cultivadas com fins de recuperação não era realizada quando do início das atividades. Hoje, quando do uso de cobertura morta – serrapilheira - é exigido contratualmente um afastamento não inferior a 20 cm das mudas plantadas. Procedimento que não encontra respaldo nas boas técnicas de plantio, no observado no interior da floresta e incapaz de minimizar a erosão ao redor da muda.

A adubação realizada na oportunidade do plantio é feita sem acompanhamento técnico mais rigoroso. Na medida em que os quantitativos e produtos são definidos quando da negociação de contratos com as prestadoras de serviço. Momento em que muitas vezes sequer é conhecida a área a ser recuperada, sendo acordado o preço do metro quadrado (m<sup>2</sup>) recuperado. Quando disponível, é utilizado composto orgânico produzido pela compostagem do lixo, realizada no local, além dos macronutrientes. Atendendo uma necessidade operacional e de forma experimental, em algumas áreas foi utilizado o lodo residual proveniente da estação de tratamento de esgoto. O plantio é realizado em qualquer período do ano, independente de menores ou maiores índices de pluviosidade (Figura 2).



**Figura 2** – Pluviosidade média associada à quantidade de plantios no mês, entre os anos de 1991 a 2005. Urucu, AM, Brasil.

As observações em campo e o tratamento dos dados disponibilizados mostram a utilização de 44 espécies arbóreas de diferentes grupos ecológicos. A opção de quais espécies a serem utilizadas em determinado plantio está vinculada ao estoque da muda no viveiro. Como as espécies arbóreas e palmeiras florescem e frutificam em diferentes períodos do ano, a disponibilidade de mudas, até certo ponto, obedece este ciclo natural (Figura 3).



**Figura 3**– Presença das 20 espécies mais utilizadas nas 167 áreas recuperadas, no período de 1991 a 2005. Urucu, AM, Brasil.

A técnica de plantio utilizada é a Regeneração Natural Assistida, que prevê etapas como as praticadas em Urucu, (Shono *et al.*, 2007). Trata-se de técnica de baixo custo de implantação que privilegia o estabelecimento de plantas arbóreas, realiza o plantio de árvores e a retirada de barreiras naturais que dificultam a sucessão secundária. Nesta técnica a empresa petrolífera investiu em 14 anos um valor estimado de 6,5 milhões de reais (Figura 4). A regeneração natural assistida é utilizada em áreas onde a sucessão natural está em progresso (Callaham *et al.*, 2008). Este não é o caso das áreas degradadas em Urucu, mas esta é a técnica que lá está sendo empregada.



**Figura 4** – Estimativa dos investimentos anuais na restauração de áreas entre os anos de 1991 a 2005. Urucu – AM, Brasil.

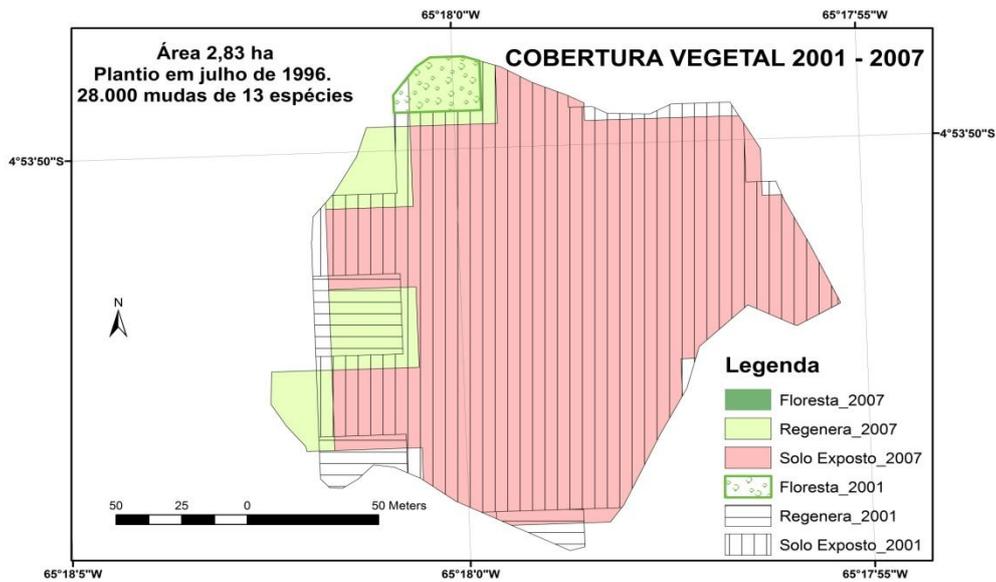
## **h) Zoneamento**

As diferenças na vegetação mais evidentes foram as das bordas para o centro. As zonas internas, quando ligadas ao substrato, estão relacionadas aos locais de predomínio de processos de erosão e deposição. Zonas que acumulam água (poças) além de maior umidade apresentam material descompactado, ligeiramente argilosos, proveniente da deposição de sedimentos. Estes microambientes facilitam o estabelecimento da vegetação em suas bordas e de plantas tolerantes a alagamentos em seu centro. As áreas provedoras de sedimentos, mais expostas a erosão, limitam o estabelecimento da vegetação pelo descalçamento das raízes, solo com maior compactação superficial e menor umidade (Grime, 1977; Tricart, 1977; Guerra, 2007).

## **i) Avaliação da Regeneração**

O acompanhamento da regeneração pelas imagens de satélite evidencia limitações, mesmo com o plantio de 975.271 árvores ao longo de 21 anos. As 39 áreas com mais de 1,8 hectares permanecem com 76,59% do solo exposto, correspondendo 86,05 hectares (Figura 5).

A regeneração natural está representada por gramíneas, herbáceas e raras espécies arbóreas. Plantas exóticas, invasoras, como *Andropogon bicornis* Benth; *Brachiaria humidicola* (Rendle); *Panicum pilosum* Sw, *Pueraria phaseoloides* (Roxb) Benth, *Mimosa pudica* L., *Desmodium barbatum* (L) Benth foram e são introduzidas pela hidrossemeadura nos taludes de estradas e tubovias, visando controlar a erosão. Pela dispersão natural das sementes das plantas invasoras introduzidas estas invadem áreas, mesmo isoladas, em toda a província de hidrocarbonetos. O que confirma a assertiva que a invasão de comunidades vegetais nativas por espécies exóticas agressivas tem na dispersão de sementes, em micrositio adequado, o seu primeiro passo (Liding-Cisneros e Zelder, 2002) (Figura 6).



**Figura 5** – Acompanhamento da regeneração de área com 2,83 ha. Em julho de 1996 foram plantadas 28.000 mudas de 13 espécies diferentes. Entre 2001 e 2007 a maior parte da área continuava com solo exposto. Uruçu, AM, Brasil.



**Figura 6** – Imagem Quickbird de 2004 da área de 2,83 ha. As fotos sobre a imagem orbital são de outubro de 2008. As setas indicam o local de onde a foto foi tirada e o ângulo de visada. Trata-se da mesma área da Figura 5. Uruçu, AM, Brasil.

Também colonizam as áreas abertas plantas ruderais como *Phyllanthus niruri*; *Spermacoce verticillata* L., *Rynchospora pubera* (Vahl.) Boeck. Foram identificadas 56 diferentes espécies de plantas inclusive gramíneas e herbáceas. Em 15% das áreas

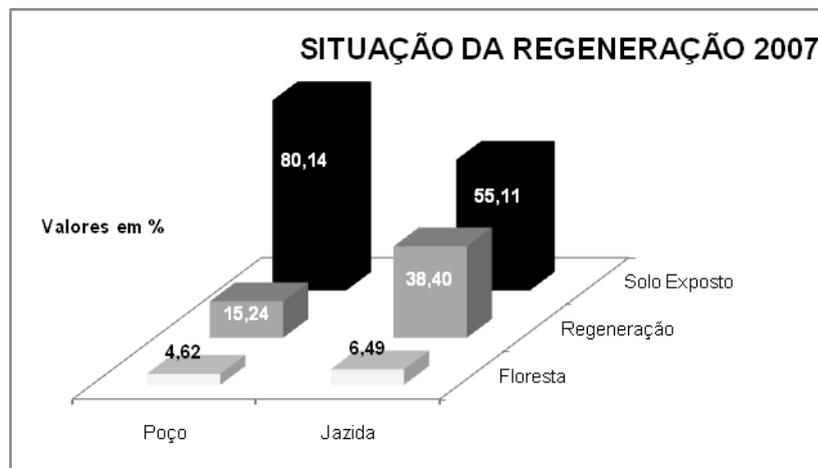
inventariadas não foi constatada a regeneração de espécies arbóreas. Nos outros 85% foram identificadas diferentes espécies como *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, *Inga edulis* Mart, *Cecropia purpurascens*. Dentre as espécies cultivadas as que melhor se estabeleceram foram *Inga endulis* Mart.; *Inga cayennensis* Sagot ex Benth, *Vismia guianensis* (Alb.)Choysi, *Myrcia fallax* (Rich) DC e a *Clitoria rancemosa* Benth. Nos plantios onde adensaram as duas últimas espécies citadas houve fechamento do dossel. Mas não foi observada regeneração natural de árvores nativas sob suas copas. Os resultados ora apresentados tem conformidade com outras pesquisas da Rede CT-Petro Amazônia (Amaral *et al.*, 2004; Ezawa *et al.*, 2006) que identificaram as famílias de plantas mais abundantes na regeneração de áreas abertas em Urucu.

A sucessão natural tem características de sucessão primária. Em áreas maiores, isoladas, que não houve plantio, como em 04°52'51,1"S e 65°12'9", após uma década de abandono a regeneração natural é incipiente, verificando-se a colonização de uma única espécie (*Vismia guianensis* (Alb.) Choysi). A maioria das plantas não tem mais que 50 cm de altura, com as maiores chegando a 1,50 m, sem formação de copa. Ravinas com mais de 1,3m de profundidade e 150 m de extensão estão instaladas e avançam por meio da erosão regressiva. Poucas espécies invasoras colonizam esta área, face ao isolamento e a alta intensidade do distúrbio e do estresse. Em áreas menores que um hectare, em especial as com menos de 50m de largura ou comprimento, a observação pelas imagens de satélite passa a impressão de regeneração plena, com fechamento do dossel. Ao fazer a conferência em campo, o observado é o fechamento entre a copa das árvores das bordas. O piso continua desprovido de vegetação, ou com plantas esparsas que procuram se fixar e sobreviver no substrato hostil. Um exemplo está em 04°52'33,7"S e 65° 09'6,9" W.

Onde o plantio foi realizado, o observado nas imagens é que não há crescimento progressivo das áreas de regeneração e destas para floresta. Pelo contrário, há uma redução das áreas florestadas que permanece após o plantio e uma tímida variação nas áreas em regeneração. Resultado que também devem ser analisados com o devido critério, tendo em vista a colonização por gramíneas e herbáceas transmitirem, na leitura da imagem, uma falsa percepção de avanço da regeneração (resposta espectral em tons verde claro, com pouca rugosidade); ou mesmo o solo exposto quando a superfície apresenta touceiras esparsas de gramíneas (resposta espectral em tons rosa e textura

lisa). Características que confirmam a importância do controle de campo quando da utilização das imagens LANDSAT para acompanhamento da regeneração.

As áreas de poços regeneram e respondem às práticas de regeneração de forma mais lenta que as áreas de empréstimo. O tempo de plantio na maioria dos casos não pode ser associado a um tipo de cobertura protetora do solo. Plantios com mais de 10 anos tem mais de 50% da área com solo exposto. Enquanto plantios com sete anos podem apresentar dossel (Figura 7).



**Figura 7** – Relação das áreas de solo exposto, regeneração e floresta para áreas de empréstimo e poços no ano de 2007. Uruçu – AM, Brasil

As características físicas e químicas (Arruda 2005; Molinaro, 2005) do solo e os processos erosivos se destacam na limitação do estabelecimento e desenvolvimento de vegetação nestas áreas. O processo de sucessão não evolui satisfatoriamente, mesmo com os propágulos chegando por diferentes agentes dispersores, plantio de mudas adaptadas a região e uso de diferentes grupos ecológicos, com disponibilidade de água e de luminosidade. As espécies invasoras e ruderais que predominam na regeneração natural mostram a resposta da natureza ao distúrbio que a área foi submetida. Cabe aos técnicos e cientistas trabalhar dentro desta realidade, fazendo da regeneração natural o veículo facilitador e acelerador da sucessão primária, para desta restaurar a floresta.

Os usos que motivam a abertura das áreas implicam em distúrbios diferenciados. Estas áreas respondem aos impactos regenerando de forma distinta, assim como fazem ao responder às técnicas de restauração. Isto permite propor uma classificação que privilegia o uso da área pela indústria petrolífera e considera aspectos como: substrato, regeneração natural, práticas de restauração e tamanho (Tabela 1):

- 1) Áreas de infraestrutura – Grandes áreas com a maior parte da superfície impermeabilizada, a regeneração natural não prospera. A restauração só poderá ser implementada após a exaustão da província petrolífera, ou quando da desmobilização da instalação. Normalmente estas áreas possuem sistema de drenagem de águas pluviais. O problema reside nas saídas destes sistemas, onde costumam ser observadas erosão, assoreamento e contaminação residual de óleos e graxas. Resíduos sólidos e solos impermeabilizados e compactados são os principais fatores limitantes para regeneração e restauração;
- 2) Áreas de Pesquisa – São áreas menores, de até 1ha, onde normalmente inexistente alteração nas camadas superficiais do solo. Nestas áreas a regeneração acontece de forma natural, a partir de uma sucessão secundária. Havendo movimentação de terra ou compactação do solo a área não mais pode ser considerada como área de pesquisa, em termos de restauração esta deve ser tratada como uma área de empréstimo. A realização de estudos específicos sobre a regeneração natural destas áreas trará maior conhecimento da regeneração natural das áreas florestadas de Urucu. Assim como poderá fornecer insumos para as práticas de restauração;
- 3) Instalação de poços - As áreas impactadas pela instalação de poços costumam ser menores, apenas, que as de infraestrutura. O substrato é de rocha alterada ou com uma camada compactada de até 20 cm. Existem superfícies concretadas que medem, em média, 500m<sup>2</sup> e instalações de bombeamento e/ou vedação dos poços. A regeneração natural, quando ocorre, é com a chegada de plantas invasoras. A compactação do solo faz com que as respostas às práticas de restauração pautadas em abordagem dendrológica sejam lentas, por vezes ineficazes. Devem ser adotadas medidas efetivas de controle da erosão pluvial e as decorrentes do escoamento superficial. A descompactação do solo é vital para o sucesso da restauração. A regeneração e a restauração devem ser manejadas a partir da sucessão primária;
- 4) Áreas de empréstimo – jazidas – Normalmente são áreas menores que a de poços. O substrato é constituído pela rocha alterada, podem existir núcleos remanescentes do horizonte B ou C. A regeneração natural ocorre por plantas invasoras, ruderais e arbóreas. No período mais chuvoso, propágulos de espécies arbóreas chegam a germinar no piso das áreas, mas não conseguem resistir aos meses de menores índices pluviométricos. As respostas às

iniciativas de restauração são lentas. O adensamento de espécies tolerantes ao estresse tem dado respostas positivas no sentido do controle da erosão. A regeneração e a restauração devem ser manejadas a partir da sucessão primária;

- 5) Bota-fora – Depósitos de resíduos sólidos. Normalmente são reutilizadas áreas de poços ou jazidas. Existe grande variação vertical e horizontal na composição do solo, com a presença de restos de madeira, construção e obras civis, o que permite classificar o solo como Antropossolos (Curcio, 2008). A existência de material desagregado não implica em melhores condições para responder à regeneração, as respostas às iniciativas de restauração são lentas. Plantas ruderais colonizam estas áreas com maior facilidade que as de poços e empréstimo. O adensamento de espécies tolerantes ao estresse fornece respostas positivas quanto ao controle da erosão. A regeneração e a restauração devem ser manejadas a partir da sucessão primária.

A observação de outras áreas de exploração de hidrocarbonetos na Amazônia Ocidental por imagens de alta resolução e visitando os sites das empresas responsáveis pela exploração sugere um mesmo padrão da ocupação. As áreas visitadas foram: Camisea<sup>7</sup> e Kepashiato no Peru, Lago Agrio no Equador e Orito na Colômbia. Todas mostram o mesmo padrão de intervenção para instalação de poços e instalação de infraestrutura. Na Colômbia e no Equador, a exploração tem mais tempo. As áreas de Orito na Colômbia e Lago Agrio no Equador pouco se parecem com Urucu. A paisagem florestada foi transformada em paisagem rural, no caso da primeira e urbana industrial no caso da segunda. As que mais se parecem com Urucu são as áreas de exploração no Peru. A diferença é o relevo mais acidentado, que potencializa a erosão. As empresas petrolíferas responsáveis pela exploração das áreas em meio a floresta informam que utilizam práticas similares de contenção de taludes e plantio de árvores (Figura 8) .

---

<sup>7</sup> <http://www.camisea.pluspetrol.com.pe/>

**Tabela 1 – Classificação das áreas impactadas pela indústria petrolífera na Amazônia Ocidental, com base em Urucu, Am, Brasil.**

TIPOLOGIA/ATRIBUTOS	USO	REGENERAÇÃO NATURAL	PRÁTICAS DE RESTAURAÇÃO	TAMANHO	PISO	OBSERVAÇÕES
INFRA-ESTRUTURA	Infra-Estrutura: Portos, aeroporto, via de acesso, alojamento, área industrial, estações de bombeamento, pátios de estocagem e similares	Não permitida	Não implementada	+ 1,5 ha	Concreto ou asfalto, mais de 30% do piso impermeabilizado. Rocha alterada	A restauração só poderá ser implementada após desmobilização da atividade de pesquisa e exploração do hidrocarboneto
PESQUISA ÓLEO E GÁS	Prospecção de hidrocarboneto	Espécies florestais	Processos naturais	Até 1ha.	Horizontes superficiais do solo. Não tem impermeabilização	Se houver decapitação de mais de 20 cm do horizonte A do solo deixa de ser classificada como tal e passa a categoria de Empréstimo.
POÇOS	Exploração de hidrocarboneto	Predominam espécies ruderais e invasoras	Plantio de mudas de espécies arbóreas.	Tamanho médio de 2,07ha. Varia de 0,29 a 6,6 ha.	Rocha alterada, pode apresentar até 10% de área impermeável com estrutura de vedação e/ou produção de hidrocarboneto	74% destas áreas tem entre 1 e 2,9ha. É comum estar associada a áreas de lavra e infra-estrutura. As respostas as técnicas de restauração são mais lentas.
EMPRÉSTIMO	Retirada de material de uso na construção civil	Predominam espécies ruderais e invasoras	Plantio de mudas de espécies arbóreas	Tamanho médio de 0,59ha. Varia de 0,02 a 4,57ha.	Rocha alterada. Pode apresentar remanescentes de horizontes sub-superficiais do solo.	91% destas áreas são menores que 1,5ha.
BOTA-FORA	Deposição de resíduos sólidos e efluentes líquidos	Predominam espécies ruderais e invasoras	Plantio de mudas de espécies arbóreas	Até 2ha.	Antropossolos com resíduos florestais e de obras civis. Pode apresentar até 10% de área impermeabilizada	Normalmente tem origem no reaproveitamento de áreas de empréstimo e mais raramente no reaproveitamento de áreas de poços
	Características chave para enquadramento na classificação					
	Características complementares para enquadramento na classificação					



**Figura 8** – Áreas de exploração petrolífera na Amazônia Ocidental. Observar nas imagens menores o uso de gramíneas no controle da erosão e o plantio de mudas de árvores.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Respondendo as hipóteses deste estudo, as áreas abertas pela indústria petrolífera diferem das clareiras naturais e artificiais estudadas na literatura temática. As alterações ambientais, sobretudo na compactação do solo são preponderantes. O tamanho das áreas é significativamente maior, existindo diferenças ainda quanto a forma, zoneamento interno e regeneração. As peculiaridades destas áreas permitem seu agrupamento em conjuntos similares quanto ao uso, substrato, regeneração natural, práticas de restauração e tamanho, no caso: áreas de infraestrutura, áreas de prospecção/pesquisa, poços, empréstimo e bota fora.

A denominação clareira para as áreas abertas em Urucu deve ser substituída pela denominação “área aberta” ou “área degradada”. O eufemismo “clareira” remete a uma pré-concepção diagnóstica e estágios sucessionais diferenciados dos presentes nestas áreas. O observado é uma sucessão primária. Portanto, o termo “clareira” não favorece a comunicação entre pesquisadores tampouco a abordagem e interpretação dos resultados das pesquisas. A denominação área aberta ou degrada deve vir acompanhada da identificação de seu uso – classes: a) infraestrutura; b) prospecção/pesquisa; c) poço; d) empréstimo; e) bota-fora.

A identificação do uso remete a padrões de tamanho e intensidade do distúrbio que se reflete no tipo de substrato, assim como resposta as práticas de restauração. Práticas de restauração adequadas precisam ser desenvolvidas ou adaptadas para cada uma destas classes de uso, com foco voltado para sucessão primária. A classificação proposta pode ser aplicada em outras áreas de pesquisa e exploração de hidrocarbonetos na Amazônia Ocidental.