



**LUIZETE MARIA DA SILVA MAIA**

**BR 319: IMPACTO DA ESTRADA NA  
QUALIDADE AMBIENTAL NOS CURSOS  
D'ÁGUA**

**LAVRAS-MG**

**2012**

**LUIZETE MARIA DA SILVA MAIA**

**BR 319: IMPACTO DA ESTRADA NA QUALIDADE AMBIENTAL NOS  
CURSOS D'ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

**Orientador**

Dra. Soraya Alvarenga Botelho

**Coorientador**

Ph.D. Henrique dos Santos Pereira

**LAVRAS- MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Maia, Luizete Maria da Silva.

BR 319: impacto da estrada na qualidade ambiental dos cursos d'água /Luizete Maria da Silva Maia. – Lavras: UFLA, 2012.  
119 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Soraya Alvarenga Botelho.

Bibliografia.

1. Rio Purus. 2. Rio Madeira. 3. Parâmetros limnológicos. 4. Qualidade da água. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.522

**LUIZETE MARIA DA SILVA MAIA**

**BR 319: IMPACTO DA ESTRADA NA QUALIDADE AMBIENTAL NOS  
CURSOS D'ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 31 de julho de 2012.

Ph. D. Henrique dos Santos Pereira – UFAM

Dra. Bruna Anair Souto Dias – UFLA

Dr. Renato Luiz Grisi Macedo - UFLA

Dr. Ronaldo Fia - UFLA

**Dra. Soraya Alvarenga Botelho**

**Orientador**

**LAVRAS-MG**

**2012**

*Aos meus filhos, Larissa e Lucas,  
por toda a tolerância e incentivos para que eu realizasse este sonho.*

**OFEREÇO**

*Ao meu Deus, que nos momentos de maiores aflições me conduziu, por  
Vossa Santa Mão, a águas tranquilas,*

*DEDICO*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal do Amazonas - IFAM, Campus Zona Leste, por me aceitar como componente do DINTER.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Superintendência do Estado do Amazonas, por investir em meus conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal de Nível Superior - CAPES, por anuir favoravelmente à minha adesão ao grupo do DINTER IFAM/UFLA e me conceder bolsa de doutorado e suporte financeiro através do IFAM.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade oferecida.

À professora Soraya Alvarenga Botelho, por ter me aceitado como sua orientanda, por sua paciência, atenção, seu incentivo e entusiasmo como orientadora.

Ao professor Henrique dos Santos Pereira, primeiramente como ‘meu’ Superintendente que, desde o primeiro momento, foi favorável à minha participação neste DINTER e, posteriormente, pela sua coorientação, valiosas e imprescindíveis sugestões, enorme atenção e paciência despendidas.

Ao coordenador do DINTER, José Marcio Rocha Faria e ao coordenador atual, Anderson Cleiton José, pelas orientações prestadas.

Ao gestor do DINTER, José Maurício do Rego Feitoza, pela atenção e prestativa ajuda em todos os momentos.

Ao amigo Antonio Ribeiro da Costa Neto, que foi o grande incentivador para que eu concorresse a uma vaga no DINTER.

Aos colegas do Ibama/Lavras, pela acolhida.

À Empresa Brasileira de Telecomunicações - Embratel, nas pessoas dos Srs. Sérgio Araújo de Oliveira, Massao Tanaka e Clebio Camilo de Sousa, que me permitiram utilizar suas bases ao longo da rodovia BR319 e cujo apoio foi primordial para o sucesso na realização da pesquisa.

Aos meus pais, Thomaz e Nilza Maia (*in memoriam*), pelos ensinamentos de vida, quando me fizeram entender desde cedo que jamais devemos desistir da busca pela realização de nossos sonhos.

Aos meus familiares que, em minhas ausências, deram suporte e apoio aos meus filhos, me fazendo sentir segura, mesmo estando longe de casa.

Aos amigos e amigas, pelas palavras de incentivo e pelo encorajamento em momentos decisivos.

À Andrea Terra e seus familiares, pela calorosa e constante receptividade em Lavras.

Aos colegas doutorandos do DINTER-IFAM, particularmente ao Rinaldo Fernandes, pela amizade e incentivo.

Ao colega do IBAMA, Pedro Mourão, pela ajuda na condução dos trabalhos em sua área de expertise de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas.

Às novas amizades que conquistei na UFLA, na pessoa da Tatiana Arantes que em muito contribuiu para a conclusão de minha tese.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada.

## **RESUMO GERAL**

Tanto a construção de rodovias quanto a manutenção de estradas se mostram imprescindíveis para favorecer o deslocamento de pessoas e o transporte de cargas entre médias e longas distâncias. No Brasil, o deslocamento de cargas chega a 61% para o modal rodoviário. Na Amazônia, assim como nas demais regiões do país, muitas são as estradas existentes, destacando-se a BR 319, que liga Porto Velho, RO a Manaus, AM. Visando observar as causas do assoreamento dos cursos d'água no Brasil, pesquisadores, usando processamento de informações georreferenciadas, identificaram como principal fator a proximidade de estradas, no intervalo entre 0 a 100 m, dos cursos d'água. Assim, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar indicadores ambientais, por meio de estudos limnológicos em seus fatores físico-químicos, como turbidez, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, para os cursos d'água intersecionados pela BR 319. Também se buscou identificar se há relação entre estes indicadores e as obras de arte que foram executadas, caracterizando o interflúvio entre os rios Purus e Madeira, identificando sua vegetação, o uso e a ocupação do solo e a ordem dos cursos nos locais de interseção da BR 319 com a rede hidrográfica, ao longo da rodovia. Foi observado que a região do interflúvio dos rios Purus e Madeira apresenta predominância da cobertura vegetal original, com 90,76% de floresta, 1,47% de savana e apenas 2,65% apresentam indícios de ocupação antrópica (vegetação secundária, pecuária, culturas cíclicas e área urbana). A presença da estrada altera a proporção e as classes de uso e cobertura do solo no seu entorno em relação às classes encontradas no interflúvio, com predominância de capoeira (40%), pasto (14%) e solo exposto (8%). A análise físico-química dos dados amostrais permitiu identificar para o pH a menor média de 5,2, na posição Montante e a máxima média de 5,63, na estação Seca. Quanto ao parâmetro oxigênio dissolvido, sua

média variou de 5,9 mg/L a 7,1 mg/L. A condutividade elétrica aferida resultou na média geral de 10,5  $\mu$ s/cm. A turbidez foi de 54,5 NTU e 55,4 NTU, para o Purus e o Madeira, respectivamente e a maior turbidez verificada se deu a jusante das ocorrências das interseções da rodovia com os cursos d'água locais, o que se explica pelo constatado para os pontos amostrais, tendo sido identificado que somente 5% da área são protegidas por Floresta. Por fim, concluiu-se que a interseção da rodovia federal, BR 319, com a rede de drenagem alterou a qualidade limnológica dos cursos d'água, no indicador turbidez e que os estudos atuais confirmam o enquadramento dos cursos d'água estudados, de águas pretas, em águas ácidas.

**Palavras-chave:** Rodovia; Amazônia; Assoreamento de cursos d'água; Recursos hídricos; Fatores físico-químicos.

## **ABSTRACT**

Both the construction of highways as road maintenance is essential to favor shows the displacement of people and cargo transport between medium and long distances. In Brazil, the displacement load reaches 61% for the railroads. In the Amazon, as well as in other regions of the country, there are many existing roads highlighting the BR 319, which connects Porto Velho- RO to Manaus-AM. Aiming to observe the causes of siltation of waterways in Brazil, researchers, using information georeferenced system identified as the main factor proximity of roads, in the range from 0 to 100 meters of watercourses. The objective of this research was to evaluate environmental indicators through limnological studies in their physico-chemical factors such as turbidity, pH, dissolved oxygen and electrical conductivity, to the watercourses intercepted by BR 319 and identify whether there is a relationship between these indicators and the art works that have been performed characterizing the interfluve between Purus and Madeira rivers, identifying its vegetation, the use and occupation of land and the order of the courses in the local BR 319 intersection with the river along the highway. It was observed that the interfluve region's of Purus and Madeira rivers presents predominance of original vegetation cover, with 90.76% of forest, savanna 1.47% and only 2.65% have evidence of human occupation (secondary vegetation, livestock, cyclical cultures and urban). The presence of the road changes the proportion and the classes of land cover and use in their environment in relation to classes found in the interfluve, predominantly poultry (40%), pasture (14%) and bare soil (8%). As for physical-chemical analysis of the sample data identified to the lowest average pH of 5.2 in the average position and the maximum amount of 5.63 when the dry period. As to its average dissolved oxygen parameter ranged from 5.9 mg/L to 7.1 mg/L. The electrical conductivity measured resulted in overall

average of 10.5 mS/cm. The turbidity was 54.5 and 55.4 NTU for the Purus and Madeira, respectively and increased turbidity gave downstream checked if the occurrences of the intersections with the highway waterways site which is explained by the fact that observed for the sampling points where it was identified that only 5% of the area is protected by forest. Finally it was concluded that the intersection of federal highway BR 319, with the drainage network changed the limnological quality of the watercourses, in the indicator Turbidity and that current studies confirm the framework of the watercourses studied blackwater in acidic waters.

**Key-words:** Brazil; Amazon; Waterways siltation; Water resources; Physical-chemical factors.

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL .....	16
1.1.Histórico do transporte terrestre no Brasil.....	16
1.2.Situação do transporte terrestre na Amazônia.....	18
1.3.Impactos do transporte terrestre na rede hidrográfica amazônica.....	20
2.HIPÓTESE .....	22
3.OBJETIVOS .....	22
3.1.Objetivo geral.....	22
3.2.Objetivos específicos.....	22
REFERÊNCIAS.....	23
 CAPÍTULO 1: Caracterização ambiental da área de influência direta da BR 319 .....	28
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	30
1.INTRODUÇÃO .....	32
2.OBJETIVOS .....	36
3.MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.1. Caracterização da área de estudos .....	37
3.2.Tecnologias utilizadas .....	38
3.2.1.Cartas digitais planialtimétricas, de hidrografia e rodovia.....	38
3.2.2.Imagem do sensor Landsat5 TM .....	39

3.2.3.Grids do SRTM (30 m).....	39
3.2.4.Mapa TerraClass .....	41
3.2.5.Mapa de vegetação .....	41
3.2.6.Processamento de imagens digitais – georreferenciamento.....	41
3.2.7.Dados identificados e transferidos para o GPS .....	42
3.2.8.Obtenção de mapas temáticos .....	42
3.2.8.1.Ordem dos rios .....	42
3.2.8.2.Pontos amostrais.....	43
3.2.8.3.Vegetação, uso e cobertura da terra.....	44
3.2.8.4.Uso e cobertura restrito aos pontos amostrais .....	44
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1.Mapa da ordem dos rios e de interseção .....	45
4.2.Mapa de vegetação, uso e cobertura no interflúvio dos rios Purus e Madeira.....	49
4.3.Caracterização das áreas no entorno dos pontos amostrais.....	52
5.CONCLUSÕES .....	55
REFERÊNCIAS.....	55

CAPÍTULO 2: Análise da influência da BR 319 na qualidade da água nos locais de interseção da rodovia com a rede hidrográfica.....	60
RESUMO .....	60
ABSTRACT .....	62
1.INTRODUÇÃO .....	64

<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>70</b>
<b>3.MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>71</b>
<b>3.1.Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>71</b>
<b>3.2.Identificação dos pontos de coleta.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2.1.Tecnologias utilizadas .....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1.1.Cartas digitais planialtimétricas, de hidrografia e rodovia.....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1.2.Imagem do sensor Landsat5 TM .....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.1.3.Grids do SRTM (30 m).....</b>	<b>74</b>
<b>3.2.1.4. Mapa TerraClass.....</b>	<b>74</b>
<b>3.2.1.5.Mapa de vegetação .....</b>	<b>74</b>
<b>3.2.1.6. Processamento de imagens digitais – georreferenciamento .....</b>	<b>75</b>
<b>3.2.1.7. Dados identificados e transferidos para o GPS .....</b>	<b>75</b>
<b>3.2.2. Obtenção de mapas temáticos .....</b>	<b>76</b>
<b>3.2.2.1. Ordem dos rios .....</b>	<b>76</b>
<b>3.2.2.2. Pontos amostrais.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.2.3. Vegetação, uso e cobertura da terra.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.2.4. Uso e cobertura restrito aos pontos amostrais .....</b>	<b>78</b>
<b>3.3.Escolha dos pontos amostrais .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.Amostragens da água.....</b>	<b>82</b>
<b>3.5.Análise estatística.....</b>	<b>84</b>
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>4.1.Comparação do efeito da rodovia sobre os parâmetros físico-químicos da água.....</b>	<b>92</b>

4.1.1. Condutividade elétrica (CE).....	94
4.1.2. Oxigênio dissolvido (OD).....	101
4.1.3. Potencial de hidrogênio (pH) .....	102
4.1.4. Turbidez (NTU) .....	106
5.CONCLUSÕES .....	112
REFERÊNCIAS.....	112
ANEXOS.....	118

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

### **1.1. Histórico do transporte terrestre no Brasil**

O deslocamento terrestre tornou-se o principal meio para o transporte entre médias e longas distâncias e, para o mundo contemporâneo, assim como ao longo da história, tem se mostrado de utilidade indiscutível para as economias, sociedades e indivíduos. Segundo dados arqueológicos, primeiramente surgiram trilhas que possibilitavam o deslocamento das pessoas, as quais foram sucedidas por estradas, inicialmente localizadas no sudeste da Ásia, entre o golfo Pérsico, o mar Mediterrâneo, o mar Cáspio e o mar Negro (CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA, 2011).

Na era moderna, em virtude das pressões econômicas, tecnológicas e comerciais da Revolução Industrial, houve significativa mudança na modalidade de transporte, com a substituição da tração animal pela locomotiva a vapor, no século XIX e pelos automóveis a gasolina, em 1885 (RATTI, 2011). Mas, para as rodovias, houve um período de declínio e o triunfo e a valorização das ferrovias, situação que só veio a mudar com o surgimento dos carros e caminhões, no século XX, quando voltou a haver a valorização das rodovias, as quais voltaram a se expandir.

A situação do Brasil Colônia, que não apresentava possuir bens que assegurassem o retorno financeiro esperado ao seu colonizador e a má situação da economia de Portugal levaram o país a uma situação na qual suas vias terrestres se encontravam em péssimas condições. Até 1822, os caminhos abertos se relacionavam diretamente com as necessidades dos engenhos, as atividades de apreensão de indígenas, a criação de gado e a procura por metais e pedras preciosas (CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA, 2011).

No entanto, tendo observado o aumento progressivo da frota nacional de automóveis, o governo criou órgão específico para cuidar das rodovias. Dentro da estrutura do Ministério de Viação e Obras Públicas, por meio do Decreto nº 8.463, de 27/12/1945, foi criado o Departamento Nacional de Estradas e Rodagens/DNER. Segundo Sá e Cherquer (2010), a partir de 2002, com a reestruturação do setor de transportes, foi criado o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e as agências reguladoras, Agência Nacional de Transporte Terrestre (ANTT), para cuidar dos setores rodoviário e ferroviário e a Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), para cuidar do setor fluvial, pela Lei 10.233/2000.

As rodovias são estradas destinadas, principalmente, ao tráfego de veículos automotores, atualmente tendo como sinônimo as autoestradas ou autopistas pavimentadas com pista dupla para veículos de alta velocidade, fora do perímetro urbano, construídas com base em normas técnicas pré-estabelecidas (CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA, 2011). De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro, Lei nº 9.503 de 23/09/1997, o termo estrada se refere à via rural não pavimentada e rodovia, à via rural pavimentada.

No Brasil, o deslocamento de cargas chega a 61% para o modal rodoviário (CAMPOS NETO, 2011). Isso mostra o desequilíbrio da matriz de transportes, pois este modal tem larga vantagem, mesmo com os custos muitas vezes superiores aos apresentados pelo outros meios de transporte. Esta dependência se mostra excessiva quando se observa que, em outros países, essa participação é bem menor, como o caso dos Estados Unidos, onde nas rodovias se transporta apenas 26% das cargas, da Austrália, com 24% e da China, com 8% (BARTHOLOMEU; CAIXETA FILHO, 2008).

Conjetura-se que esta preferência tenha explicação nos custos relativos de construção das vias e na prática nacional quanto ao planejamento a curto

prazo, inclusive para o transporte e, ainda, a vantagem de flexibilidade nas rotas, a prática de movimento de pequenos volumes, menores custos de embalagens e menor custo de operação (CAMPOS NETO, 2011).

### **1.2. Situação do transporte terrestre na Amazônia**

Na Amazônia, assim como nas demais regiões do país, a implantação de estradas requer o atendimento às normas estabelecidas pelos órgãos governamentais responsáveis pelo planejamento em infraestrutura, bem como pelas agências reguladoras pertinentes.

Relevante citar a construção de empreendimentos na Amazônia Brasileira, que segundo a Lei n.º 5.173 de 1966 tem uma área de 5.033.072 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados do Acre, Rondônia, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Mato Grosso, Tocantins e parte do Maranhão a oeste do meridiano 44° de longitude. Cada vez mais, tem se tornado evidente a necessidade de maiores cuidados, visando minimizar seus impactos, em face da sua diversidade e da variedade de padrões da rede hidrográfica, incluindo o padrão dendrítico, muito característico na região Amazônica (SANTANA; SILVEIRA, 2005; MARTINS et al., 2007).

Muitas são as estradas existentes e as estradas endógenas (estradas não oficiais), cuja autoria se atribui, principalmente, ao setor madeireiro. Esta é uma realidade enfrentada na Amazônia, determinando, inclusive, a sua mais nova política de ocupação (SOUZA JÚNIOR, 2005). Estas estradas quase sempre têm um traçado sinuoso, obedecendo exclusivamente aos interesses predatórios dos madeireiros e de outros agentes. Em 1995, totalizavam 8.679 km e, em 2001, já eram 20.796 km, no centro-oeste do Pará. Atualmente, somente o Pará conta com 61.798 km de estradas clandestinas. Segundo Fearnside (2006) apud

Calixto (2008), as rodovias causam grandes impactos ambientais e sociais na Amazônia e podem dificultar tentativas de controlar o desmatamento.

Segundo estudos feitos por Brandão Júnior et al. (2007), na Amazônia, as estradas do tipo oficial e não oficial são os principais vetores de sua ocupação. Estradas oficiais são as que ligam a região às demais regiões do Brasil e as não oficiais possuem abrangência local e não aparecem nos mapas oficiais do DNIT e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Dentre as estradas existentes na Amazônia, destaca-se a BR 319, rodovia federal com traçado diagonal, ligando duas capitais, Porto Velho, RO a Manaus, AM. Foi construída no período entre 1972 e 1973, perfazendo uma extensão de 877 km. De acordo com Fearnside (2005), logo após sua construção, alguns trechos se tornaram intransitáveis (devido à falta de manutenção e à alta precipitação) e assim permanecem até então.

A recuperação da BR 319 tem sido foco de vários governos (BECKER, 2001), com o objetivo de intensificar a fluidez territorial. Assim, a Amazônia seria a detentora dos principais eixos de Integração e Desenvolvimento (ENID) que, segundo Becker (2001), se trata de grandes corredores de exportação, sendo o asfaltamento desta rodovia um dos principais projetos na questão de logística.

Atualmente, esta rodovia permite um melhor tráfego nos meses de estiagem (junho a novembro), visto que aproximadamente 50% de seu percurso se mantêm em situação precária e, nos meses de maiores precipitações pluviométricas, não oferece a mínima condição de trânsito. Vários trechos ficam interditados naturalmente, sendo comum a queda das pontes construídas com madeira. No entanto, nas proximidades de Manaus, AM e de Porto Velho, RO, a rodovia frequentemente sofre manutenção, mas seu trecho central, em torno de 405 km, permanece sem manutenção efetiva, tornando difícil o acesso (FEARNSIDE; ALENCASTRO, 2006).

### **1.3. Impactos do transporte terrestre na rede hidrográfica amazônica**

Empreendimentos na Amazônia despertam especial interesse, por ela ser tida como território único e possuir variedade indescritível de flora e fauna, representando os mais diversos *habitats* contendo diferentes fitofisionomias com grandes interflúvios, onde se encontram o maior sistema fluvial e a maior floresta pluvial (ombrófila) do planeta. Somente no interflúvio dos rios Madeira e Purus, Ximenes, Amaral e Monteiro (2008) identificaram 13 ecorregiões que são definidas por características abióticas e bióticas particulares, que incluem clima, hidrologia, solo, vegetação e vida selvagem.

Em revisão realizada por Capobianco et al. (2002), cita-se o relato de Haddad (1998) de que, das 9.700 espécies de aves estimadas no mundo, cerca de 1.000 estão na Amazônia. Dixon (1979) afirma que a região tem registro de 163 espécies de anfíbios das 4.000 que se pressupõe existirem no mundo e, do total de 6.000 espécies de répteis estimadas no mundo, são registrados 550 na bacia Amazônica. Legg (1978), Shield (1989) e Brown Júnior (1996), estudando invertebrados, afirmam que, das 7.500 espécies conhecidas de borboletas, 1.800 estão na Amazônia. Quanto à ictiofauna, Goulding et al. (1988) identificaram pelo menos 450 espécies no rio Negro. De 4.650 espécies de mamíferos no mundo, 311 espécies são registradas na Amazônia (VIVO, 1998).

Diante dessa magnitude, Fearnside (2011) manifesta apreensão a respeito de estradas na Amazônia, por suas possíveis consequências, especialmente por acreditar que o desmatamento não está sob controle e que novas rodovias terão como efeito impactos negativos sobre a floresta.

O Brasil tem um dos maiores potenciais em recursos hídricos do mundo e se encontra em situação privilegiada. Do total da água existente no planeta, 97% são águas salgadas (mares e oceanos), 2% estão retidas nas geleiras e 1%

de água doce está armazenado em lençóis subterrâneos, rios e lagos. Destas, 12% estão no Brasil (MORAES; JORDÃO, 2002; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Mesmo diante dessa realidade, o Brasil enfrenta grandes problemas com o assoreamento de seus rios, córregos, lagos e barragens.

Visando observar as causas do assoreamento dos cursos d'água, Catelani, Batista e Targa (2004) e Catelani, Batista e Targa (2005) utilizaram um sistema de processamento de informações georreferenciadas para observar a proximidade de estradas em relação à rede de drenagem, identificando malha viária com maior densidade no intervalo entre 0 a 100 m dos cursos d'água. Neste intervalo é onde há o aumento da força hidráulica das enxurradas como elemento de remoção e transporte de material na direção dos cursos d'água face à proximidade das vias de transporte à rede hidrográfica, agravado por relevos acidentados, principalmente quando na fase de planejamento não se prevê o emprego de dispositivos de drenagem superficial e contenção dos processos erosivos de taludes. Assim, concluíram que a supressão de florestas e o mau uso do solo para a construção de estradas são dois dos muitos problemas que contribuem para o assoreamento e o aumento da turbidez dos rios, além da diminuição da disponibilidade de oxigênio da água.

A erosão provocada pela água no próprio leito da estrada e nas suas laterais é um dos mais relevantes fatores que provocam a perda de solo no estado de São Paulo, onde os materiais erodidos são de tamanho inferior a 2 mm, sendo naturalmente conduzidos para os cursos d'água, se mostrando como os mais prejudiciais aos recursos hídricos (GRIEBELER et al., 2005).

A manutenção da qualidade dos recursos hídricos desperta grande interesse e sua aferição pode dar-se por diversos métodos, dentre eles a análise limnológica em seus fatores físico-químicos, como turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade e velocidade de fluxo, a fim de caracterizar as

condições em que se encontram os mais diversos mananciais (AFFONSO; BARBOSA; NOVO, 2011; PRAIA et al., 2010).

## **2. HIPÓTESE**

A interseção da BR 319 com a rede de drenagem não altera a qualidade limnológica dos cursos d'água, independente da posição, da estação, da bacia hidrográfica, da ordem dos rios e do tipo de construção.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo geral**

Avaliar indicadores ambientais para os cursos d'água intersecionados pela BR 319 no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas, e identificar se há relação entre esses indicadores e as obras de arte que foram executadas, visando permitir a ultrapassagem destes cursos d'água.

### **3.2. Objetivos específicos**

a) Caracterizar o interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas, identificando sua vegetação, o uso e a ocupação do solo ao longo da BR 319.

- b) Caracterizar a rede hidrográfica na região onde se insere a BR 319, no interflúvio entre os rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas e as obras de arte nas interseções da rodovia com os cursos d'água.
- c) Analisar, por meio de estudos limnológicos, a qualidade da água nos locais de interseção da BR 319 com a rede hidrográfica local, em função das soluções de engenharia adotadas, da ordem dos cursos intersecionados ao longo da rodovia, da estação do ano e da bacia hidrográfica a que pertencem.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; NOVO, E. M. L. M. Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 3, p. 601-610, Aug. 2011. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/artigo\\_amazonia.pdf](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/artigo_amazonia.pdf)>. Acesso em: 23 Feb. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 10 jun. 2012.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA FILHO, J. V. Impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras: um estudo de caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 703-738, jul./set. 2008.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 135-159, set. 2001. Disponível em: <[www.ufpa.br.numa.PPGEDAM.pdf](http://www.ufpa.br.numa.PPGEDAM.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2011.

BRANDÃO JÚNIOR, A. O. et al. Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2357-2364.

BROWN JÚNIOR, K. S. Diversity of Brazilian Lepidoptera: History of study, methods for measurement, and uses indicate for genetic, specific and System Richness. In: BICUDO, C. E. M.; MENEZES, N. **Biodiversity in Brazil:** a first approach. Brasília: CNPq, 1996. p. 221-224.

CALIXTO, B. Rodovias na Amazônia geram problemas sociais. **Quarto Poder**, Santarém, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br/noticias/noticia.cfm?id=264446>>. Acesso em: 25 jul. 2011.

CAMPOS NETO, C. A. da S. **Gargalos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos do PAC:** mapeamento IPEA de obras rodoviárias. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9764&catid=170&Itemid=2](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=9764&catid=170&Itemid=2)>. Acesso em: 16 jun. 2012.

CAPOBIANCO, J. P. R. et al. **Biodiversidade da Amazônia brasileira.** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002. Disponível em: <[http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira\\_MMA.pdf](http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira_MMA.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2011.

CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia hidrográfica no Município de Taubaté, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3723-3730.

CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Uso do geoprocessamento na determinação da distância entre estradas rurais e a drenagem de uma microbacia hidrográfica: Rio das Antas. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2004, Taubaté. **Anais...** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2004. p. 39.

CENTRO DE ENSINO E PESQUISA APLICADA. **Rodovias.** São Paulo: USP, 2011. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/rodovias.htm>>. Acesso em: 13 maio 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de Rodovias.** 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <<https://gestao.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/historico-do-planejamento-de-transportes>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

DIXON, J. R. Origin and distribution of reptiles in lowland tropical rainforests of South America. In: DUELLMAN, W. E. (Ed.). **The South American herpetofauna: its origin, evolution and dispersal.** Kansas: Museum of Natural History, 1979. p. 217-40.

FEARNSIDE, P. M. A tomada de decisão sobre grandes estradas Amazônicas. In: BAGER, A. (Ed.). **Ecologia de estradas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2011.

FEARNSIDE, P. M.; ALENCASTRO, G. P. M. de. BR-319: Brazil's Manaus-Porto **Velho** highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to Central Amazônia. **Environmental Management**, New York, v. 38, n. 5, p. 705-716, Nov. 2006.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 113-122, jul. 2005.

GOULDING, M. et al. Ecology and manegment of migratory food fishes of the Amazon Basin. In: ALMEIDA, F.; PRINGLE, C. M. (Ed.). **Tropical rainforests, diversity and conservation.** San Francisco: California Academy of Sciences, 1988. p. 71-85.

GRIEBELER, N. P. et al. Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 397-405, Mar. 2005

HADDAD, C. F. B. Biodiversidade de anfíbios no estado de São Paulo. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. de M. (Org.). **Biodiversidade do estado de São Paulo**: síntese do conhecimento ao final do século XX: volume 6: vertebrados. São Paulo: Fapesp, 1998. p. 15-26.

LEGG, G. **A Note on the diversity of world Lepidoptera**. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 10, n. 3, p. 343-347, Sept. 1978.

MARTINS, E. S. F. et al. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6827-6834.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, mar. 2002.

PRAIA, R. S. et al. Caracterização física e química preliminar da água do Lago de Coari. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA**, 1., 2010, Amazonas. **Anais...** Amazonas: UFAM, 2010. p. 1-8.

RATTI, S. **Seguros e transportes**. São Paulo: Universidade Paulista, 2011. Disponível em: <<http://1alog.vilabol.uol.com.br/apostrans.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

SÁ, J. H. C. S. de; CHERQUER, C. J. Gestão da malha rodoviária por contratos administrados por desempenho: a experiência brasileira. In: **REUNIÃO DO CONSELHO DE DIRETORES DE ESTRADAS DOS PAÍSES IBÉRICOS E IBEROAMERICANOS**, 23., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Dircaibea, 2010. Disponível em: <[http://dircaibea.org/documentos/presbrasilpresendir\\_10.pdf](http://dircaibea.org/documentos/presbrasilpresendir_10.pdf)>. Acesso em: 06 abr. 2011.

SANTANA, L. de O.; SILVEIRA, O. F. M. da. Análise da drenagem da microbacia hidrográfica dos ríos Gurijuba e Piririm. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 673-680.

SHIELDS, O. World numbers of butterflies. *Journal of the Lepidopterists Society*, Los Angeles, v. 43, n. 3, p. 178-183, 1989.

SOARES JÚNIOR, H. H.; FERREIRA, O. M. **Processos erosivos e perda de solo em estradas vicinais**. Goiás: Departamento de Engenharia, 2011. Disponível em: <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload>>. Acesso em: 02 dez. 2011.

SOUZA JÚNIOR, C. et al. Avanço das estradas endógenas na Amazônia. **Imazon**, Belém, n. 1, p. 1-2, maio 2005. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/avanco-das-estradas-endogenas-na-amazonia>>. Acesso em: 23 jul. 2011.

VIVO, M. de. Diversidade de mamíferos do estado de São Paulo. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. de M. (Org.). **Biodiversidade do estado de São Paulo: síntese do conhecimento ao final do século XX**: volume 6: vertebrados. São Paulo: Fapesp, 1998. p. 51-66.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Mapas auto-organizáveis para identificação de ecorregiões no interflúvio Madeira-Purus: uma abordagem da biogeografia ecológica. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL LBA/GEOMA/PPBIO, 2008, Manaus. *Anais...* Manaus: LBA/GEOMA/PPBio, 2008.

## **CAPÍTULO 1: Caracterização ambiental da área de influência direta da BR 319**

### **RESUMO**

Empreendimentos na Amazônia despertam interesse, por sua variedade de flora e fauna e tem sido motivo de preocupação, especialmente a construção de estradas. Pesquisadores se mostram apreensivos em relação às suas possíveis consequências, especialmente por acreditarem que o desmatamento não está sob controle. O Brasil enfrenta grande problema de assoreamento de suas bacias hidrográficas. Para observar as causas do assoreamento, estudos foram realizados, constatando-se que a malha viária mais densa está no intervalo de 0 a 100 m dos cursos d'água. Isso demonstra que a supressão de florestas e o mau uso do solo são problemas que contribuem para o assoreamento e o aumento da turbidez dos rios, além da diminuição na disponibilidade de oxigênio na água. A qualidade das águas pode ser aferida por meio de análise de seus fatores físico-químicos, como turbidez, potencial hidrogênico (pH), oxigênio dissolvido, condutividade e velocidade de escoamento. A BR 319, que liga Porto Velho, RO a Manaus, AM, foi construída no período de 1969 a 1973 (877 km). Diante do exposto, este trabalho foi realizado com os objetivos de: identificar os locais de interseção da BR 319 com a rede de drenagem no interflúvio dos rios Madeira e Purus; identificar a ordem dos rios que foram intersecionados pela BR e criar o mapa de vegetação e uso da terra do interflúvio e o mapa de uso e cobertura no entorno dos pontos intersecionados pela rodovia com o emprego de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG). Para tanto, a partir dos mapas e bases cartográficas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do emprego de ferramentas do ArcGis, se

obteve a rede de drenagem no interflúvio dos rios Purus e Madeira. Ao se adicionar a ferramenta RivEX ao ARcGis, obteve-se o mapa da ordem dos rios, o qual permitiu visualizar 242 pontos de interseção da BR 319 com a rede de drenagem. Com base nestes estudos, concluiu-se que a região do interflúvio dos rios Purus e Madeira apresenta predominância da cobertura vegetal original, com 90,79% de floresta, 1,47% de savana e apenas 2,65% apresentam indícios de ocupação antrópica (vegetação secundária, pecuária, culturas cíclicas e área urbana). A presença da estrada altera a proporção e as classes de uso e cobertura do solo no seu entorno, em relação às classes encontradas no interflúvio, com predominância de capoeira (40%), pasto (14%) e solo exposto (8%).

**Palavras-chave:** Amazônia. Rodovia. Mapas. Limnologia. Qualidade das águas.

## ABSTRACT

Enterprise in the Amazon region arouse interest for its variety of flora and fauna and has been of concern, especially road construction, where researchers show apprehensive about its possible consequences, especially for believing that deforestation is not under control. Brazil has a big problem due to the silting of its river basins. To observe the causes of siltation, studies have found that the road network is denser in the range 0 to 100 meters of watercourses, showing that the removal of forests and poor land use problems that are contributing to the increasing siltation and turbidity of rivers, besides the decrease in the availability of oxygen in the water. Water quality can be assessed through analysis of their physico-chemical factors such as turbidity, pH, dissolved oxygen, conductivity and flow velocity. The BR 319, which connects Porto Velho / RO to Manaus / AM, was built in the period 1969/1973 (877 km). Given the above, this study aimed to identify the locations of the BR 319 intersection with the drainage network in the interfluve of the Purus and Madeira river, identify the order of the rivers that were intercepted for BR 319; create map of vegetation and land use and map use and cover in the vicinity of the highway intercepted points with the use of remote sensing and geographic information systems (GIS). Therefore, from maps and cartographic databases provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE and the use of tools of ArcGis was obtained drainage network in the interfluve of the Purus and Madeira. By adding the tool RivEX to ArcGIS map was obtained in the range of rivers. The map of the order of rivers acquired 242 points allowed visualization of the BR 319 intersection with the drainage network. Based on these studies it was concluded then that the region's rivers interfluve Purus and Madeira presents predominance of original vegetation cover, with 90.79% of forest, savanna 1.47% and only 2.65% have evidence of human occupation

(secondary vegetation, livestock, crops cyclical and urban). The presence of the road changes the proportion and the classes of land cover and use in their environment in relation to classes found in the interfluvium, predominantly poultry (40%), pasture (14%) and bare soil (8%).

**Key words:** Amazon. Highway. Maps. Limnology. Water quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Empreendimentos na Amazônia despertam interesse pelo fato de a região ser tida como território único, por sua variedade indescritível de flora e fauna, representando os mais diversos habitats, contendo diferentes fitofisionomias. Somente no interflúvio dos rios Madeira e Purus, Ximenes, Amaral e Monteiro (2008) identificaram 13 ecorregiões definidas por características abióticas e bióticas distintas de clima, hidrologia, solo, vegetação e vida selvagem.

Fearnside (2011), quando se manifesta a respeito de estradas na Amazônia, se mostra apreensivo por suas possíveis consequências, especialmente por crer que o desmatamento não está sob controle. O relevo da região amazônica é composto por uma bacia sedimentar, estando entre os escudos guianense e brasileiro, onde o vale se formou por sedimentos fluviais de textura grossa, depositadas entre o período Cretáceo e o Terciário, originando solos de terra firme (HIGUCHI et al., 2007).

O Brasil enfrenta um grande problema com assoreamento de suas bacias hidrográficas. Estudos procuram identificar as causas do assoreamento, tendo Catelani, Batista e Targa (2004) e Catelani, Batista e Targa (2005) observado que a malha viária mais densa está no intervalo de 0 a 100 m dos cursos d'água, concluindo que a supressão de florestas e o mau uso do solo são problemas que contribuem para o assoreamento e o aumento da turbidez dos rios e a diminuição na disponibilidade de oxigênio na água.

Localizada na região norte do Brasil, a BR 319 é uma rodovia construída no interflúvio dos rios Purus e Madeira, ligando duas capitais, Porto Velho, no estado de Rondônia, a Manaus, no estado do Amazonas. É uma rodovia federal, com traçado diagonal, com 877 km de extensão, tendo como faixa de domínio 60 ou 100 m de largura. Seu trajeto ultrapassa diversos cursos d'água, os quais

fazem parte da rede hidrográfica da bacia Amazônica. Esta rede hidrográfica é definida por um emaranhado de cursos d'água, pequenos igarapés, rios e lagos que desembocam no grande rio Amazonas, formando a mais extensa bacia hidrográfica da Terra. No período de cheia dos rios, seus leitos transbordam e avançam sobre a vegetação que cresce por todas suas margens, formando o mais extenso ecossistema de áreas alagadas do planeta (JUNK, 1983).

A construção de estradas ocasiona impactos positivos e negativos ao meio ambiente, variando de acordo com sua área de influência. Os impactos negativos, em relação ao meio socioeconômico, são a ocorrência de ruído, vibrações, emissões atmosféricas, alteração nas atividades econômicas por onde passa a rodovia, conflitos de uso e ocupação do solo, segurança de tráfego, dentre outros. No meio biótico há o risco de atropelamento de animais, impedimento de intercâmbio ecológico impossibilitando a interação dos organismos entre si e com o ambiente abiótico, redução da cobertura vegetal e poluição em ambiente aquático. Para o meio físico, o impacto negativo pode se dar devido à retirada de solos, provocando instabilidade de taludes, rebaixamento do lençol freático, alagamentos decorrentes do represamento por obras de arte correntes e sistemas de drenagem especiais, modificação do relevo e dos cursos d'água. Quanto aos impactos positivos, em relação à Amazônia podem-se citar a diminuição das distâncias em relação aos centros mais desenvolvidos, aos centros econômicos e comerciais, e incentivo ao desenvolvimento das regiões mais isoladas.

Uma bacia hidrográfica diz respeito às localidades da superfície terrestre separadas topograficamente entre si e que recebem as águas naturais da chuva, que escoam por meio de sua rede de drenagem, das partes mais altas para as mais baixas, seguindo uma hierarquia fluvial, indo se concentrar em um ponto, formando o rio principal.

As bacias hidrográficas são delimitadas e drenadas pelos rios principais

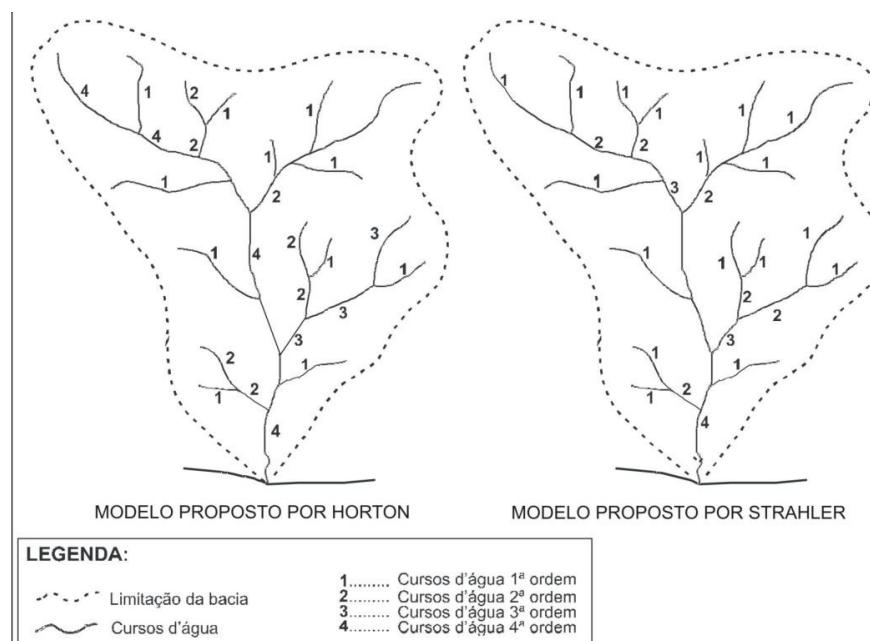
e seus afluentes, abrangendo seus sistemas biofísicos e socioeconômicos, integrados e interdependentes, onde suas limitações se estabelecem naturalmente pela topografia dos relevos, por intermédio das linhas que unem os pontos de maior altitude, definindo, assim, os divisores de água entre uma bacia e outra adjacente (SUGUIO; BIGARELLA apud MARTINS JUNIOR; WAICHMAN, 2009). A rede hidrográfica diz respeito a um conjunto de cursos d'água em disposição hierárquica dentro das bacias hidrográficas (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008).

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica é constituído pelo curso d'água principal e seus tributários. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica fornece um indicativo da maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia. A ordem do curso d'água principal de uma bacia hidrográfica reflete o grau de ramificação do sistema de drenagem desta bacia (BARBOSA JÚNIOR, 2012).

A ordem de um curso d'água é um número inteiro segundo diferentes critérios, isto é, consiste no processo de estabelecer a classificação de um determinado curso d'água em uma bacia hidrográfica em que este se encontra inserido. Existem dois métodos reconhecidos que permitem obter esta classificação, identificando a ordem dos rios: método de Horton e método de Strahler (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

Como citado por Cardoso et al. (2006), Robert Horton propôs um método preciso no qual os canais de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também receber de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e também de ordem inferior e assim sucessivamente. Assim, o rio principal é identificado pelo mesmo número de ordem, desde sua nascente. O outro método, desenvolvido por Arthur N. Strahler, em 1952, diverge do anterior por eliminar o conceito de que o rio

principal apresenta o mesmo número de ordem em toda sua extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência (Figura 1).



**Figura 1.** Proposta de hierarquia fluvial de Horton e Strahler (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O emprego de tecnologias disponibilizadas por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) em que se empregam metodologias, técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de dados, viabiliza a criação de banco de dados georreferenciados (CÂMARA; MEDEIROS apud MOURA; SIMIÃO, 2011) que permite obter mapas temáticos para os mais diversos interesses. Esta tecnologia, nas últimas décadas, tem se mostrado cada vez mais eficiente na obtenção de dados para diversas áreas do conhecimento, sendo empregada para o monitoramento de precipitações pluviométricas (DUBREUIL; MAITELLI, 2005), a obtenção de mapa do uso da

terra (PETRINI; ARRAES; ROCHA, 2011), o monitoramento de atividade econômica (BARRETO; MESQUITA, 2011) e o monitoramento de áreas alagáveis (FREITAS; NOVO, 2005), dentre outros.

Visando investigar de forma rápida e prática o estado em que se encontra uma determinada região do planeta, o emprego de imagens orbitais tem sido recorrente, permitindo satisfação com os resultados obtidos, podendo-se citar como pioneiros os trabalhos de Tardin et al. (1979) e Santos, Santos e Aquino (1983). Ao longo das últimas décadas, esta ferramenta tem se consolidado como auxílio à tomada de decisão pelos governantes, inclusive para a identificação de áreas mais sensíveis ao desmatamento (BRAUN; SIEGL, 1990), o mapeamento de área para reserva legal (FIDALGO et al., 2003), a identificação de mudanças na cobertura vegetal próximo a cidades (MATOS; SILVA, 2005) ou a identificação do desmatamento em unidades especiais (COSTA et al., 2011).

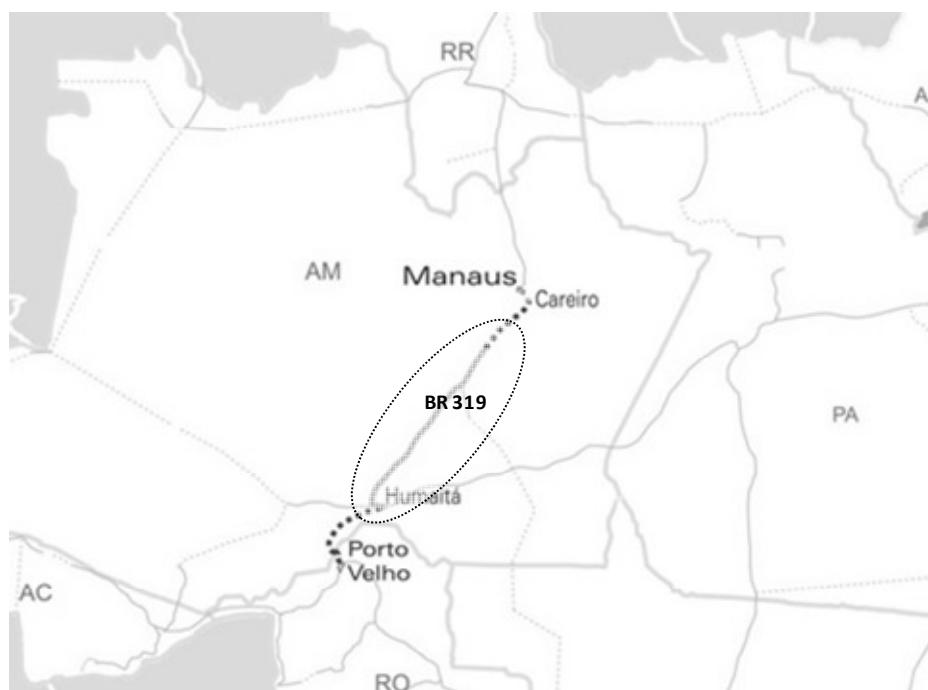
## 2. OBJETIVOS

O presente estudo foi realizado com o objetivo de identificar o mapa da ordem dos cursos d'água intersecionados pela BR 319 e o mapa da vegetação, uso e ocupação do solo, além da caracterização da área do entorno aos pontos amostrais localizados no interflúvio entre os rios Purus e Madeira, em seu trecho localizado no estado do Amazonas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudos

A área de estudo está localizada na região norte do Brasil, no estado do Amazonas, entre as coordenadas geográficas de  $03^{\circ} 11' 8,4''$  e  $07^{\circ} 33' 49,17''$  de latitude Sul e  $59^{\circ} 52' 7,26''$  e  $63^{\circ} 16' 12,1''$  de longitude Oeste de Greenwich, entre os rios Purus e Madeira, no trecho entre a cidade de Humaitá e Careiro da Várzea.



**Figura 2.** Localização do trecho da área de pesquisa, rodovia federal, BR 319, entre os municípios de Humaitá e Careiro da Várzea, no estado do Amazonas, Brasil. Fonte: [www.estadosecapitaisdobrasil.com](http://www.estadosecapitaisdobrasil.com)

O estado do Amazonas, com área de 1.570.745,680 km<sup>2</sup>, está inserido no bioma amazônico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004), apresentando climas variados que, segundo Koppen, são assim identificados: Af, sem estação seca e com precipitações superiores a 3.000 mm por ano; Am, caracterizado por curta estação seca, com precipitação abaixo de 100 mm por mês, durante três meses e AW, com estiagem pronunciada por aproximadamente cinco meses. Quanto ao regime térmico, o clima é quente e a temperatura tem pouca variação. Em Manaus, a 1.500 km da costa brasileira, a média da temperatura é de 27 °C.

A área de estudos, localizada no interflúvio entre os rios Purus e Madeira, tem solo com predominância do tipo Podzólico Vermelho Amarelo, ocorrendo também, com menor incidência, Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo (BRASIL, 1978). A vegetação ao norte do interflúvio Purus-Madeira mais comum é de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e, ao sul, as Florestas Ombrófilas Abertas de Terras Baixas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1997).

### **3.2. Tecnologias utilizadas**

#### **3.2.1. Cartas digitais planialtimétricas, de hidrografia e rodovia**

Para o tratamento e a análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas foi utilizado o programa ArcGIS 10 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2010).

A base cartográfica digital foi adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizadas virtualmente pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), na escala 1:100.000. As cartas utilizadas relacionadas à planialtimetria, drenagem e rodovia que compõem a área do trabalho são assim

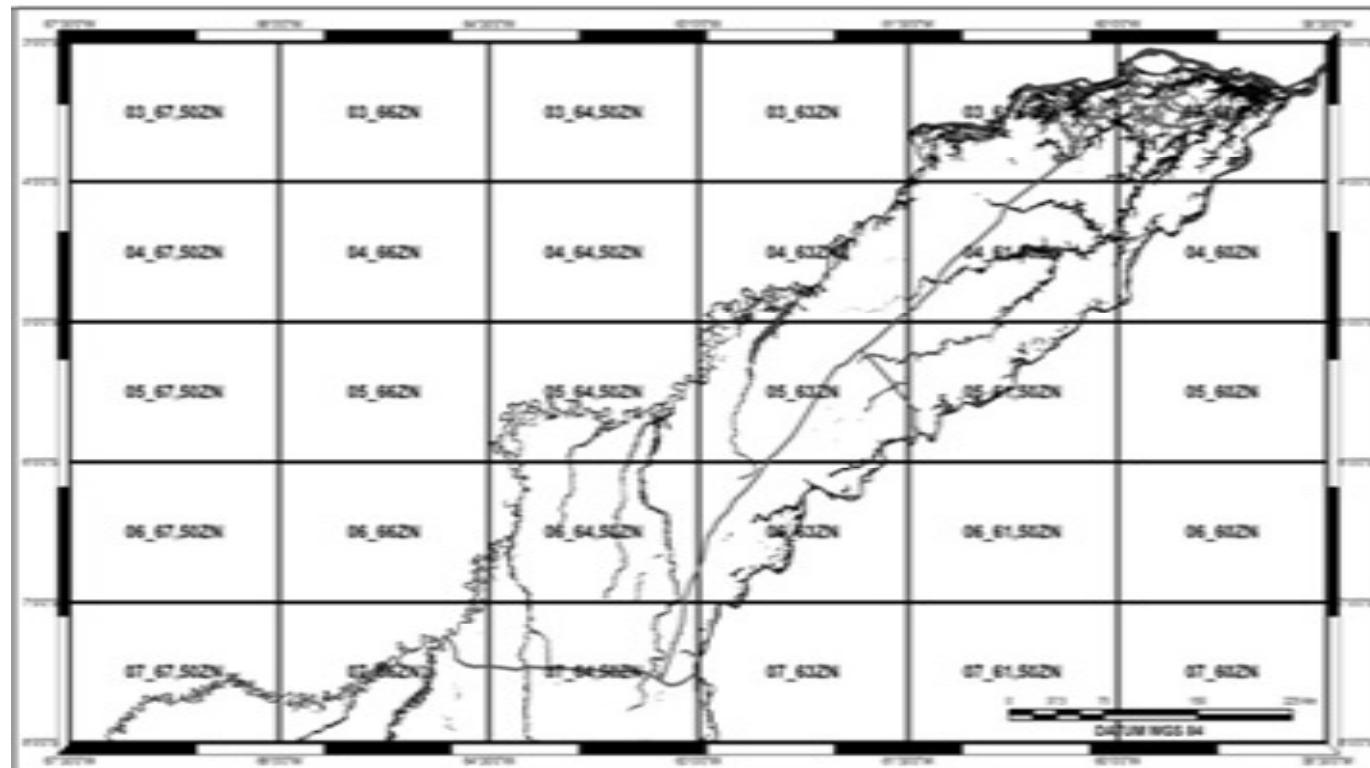
identificadas: MI 577, 578, 579, 580, 581, 582, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 997, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1153, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236 e 1237.

### **3.2.2. Imagem do sensor Landsat5 TM**

O levantamento do uso e cobertura do solo se deu por meio de imagens de satélite disponibilizadas virtualmente pelo INPE, com análise de imagens digitais do sensor Landsat5 - TM, composição colorida das bandas 5, 4, e 3 das órbitas/pontos: 230\62 (14\07\2008), 230\63 (20\09\2009), 231\62 (27\07\2010), 231\63 (27\07\2010), 231\64 (28\08\2010), 232\62, 232\63 (02\07\2010), 232\64 (02\07\2010), 232\65 (02\07\2010), 232\66, 233\63, 233\64 (09\07\2010), 233\65 (27\09\2010), 233\66, 001\65, 001\66, 002\65 e 002\66.

### **3.2.3. Grids do SRTM (30 m)**

Para compartimentação das unidades de uso e vegetação, foram empregados dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, missão conduzida pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, dos E.U.A) do projeto TOPODATA do INPE, com DTED de 90 m (EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE, 2008), reamostrados (krigagem) para 30 m, de acordo com o que se observa na Figura 3.



**Figura 3.** Visualização do mapa índice dos grids digitais do SRTM que compõem a área de pesquisa para o interflúvio dos rios Purus e Madeira.

### **3.2.4. Mapa TerraClass**

No desenvolvimento dos estudos e na busca de dados que subsidiassem a interpretação do mapa final de uso e cobertura da terra o mais próximo possível da realidade da área em estudo, também foi utilizado mapa digital disponibilizado pelo projeto denominado TerraClass, no endereço eletrônico do INPE. Este mapa, que é único, obtido a partir de imagens de satélite das áreas já desflorestadas da Amazônia Legal, descreve o uso e a cobertura da terra, referente ao ano de 2008.

### **3.2.5. Mapa de vegetação**

Para caracterizar a área do interflúvio dos rios Purus e Madeira, foi utilizado o Mapa de Vegetação disponibilizado no endereço eletrônico do Ministério do Meio Ambiente, que é resultado da parceria firmada, em 2003, entre aquele Ministério e o IBGE.

### **3.2.6. Processamento de imagens digitais – georreferenciamento**

Para que as imagens do satélite Landsat, adquiridas junto ao INPE, possibilassem obter os dados almejados nestes estudos, foi necessário proceder ao seu georreferenciamento, o que foi realizado separadamente em cada uma das imagens selecionadas, a partir do programa Erdas 2011, com o uso do Imagine AutoSync localizado no módulo Toolbox → Georeferencing Wizard.

O Imagine AutoSync utiliza um algoritmo de busca automática de centenas de pontos de controle, comuns em ambas as imagens (imagem sem referência e a imagem com referência de um sistema de coordenadas), possibilitando a produção de um modelo matemático de alta precisão para a

concretização do georreferenciamento (ajuste). Esta técnica é muito superior à de coleta manual de pontos, devido à limitação da visão humana.

As imagens que serviram de referência para o georreferenciamento das imagens da área de estudo foram as disponibilizadas pelo projeto NASA/ZULU do ano de 2005, disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

### **3.2.7. Dados identificados e transferidos para o GPS**

Após o processamento das cartas, se obteve o mapa de identificação dos pontos de interesse e suas respectivas coordenadas geográficas. Posteriormente, em campo, de posse de um GPS eTREX Vista HCx, da marca Garmin, se buscou conferir cada ponto. Alguns pontos não foram localizados, mas novos pontos identificados em campo foram inseridos no GPS e, posteriormente, foram transferidos para o computador, passando a fazer parte da base de dados utilizada nas sucessivas análises.

### **3.2.8. Obtenção de mapas temáticos**

#### **3.2.8.1. Ordem dos rios**

Para a obtenção do mapa temático de limite da área de estudos, com o emprego do ArcGis 10 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2011), a partir da base cartográfica da hidrografia, delimitou-se visualmente a área de interesse. Neste processo contou-se, ainda, com o apoio dos dados SRTM, o que facilitou a interpretação a partir dos dados altimétricos da superfície da área de estudos.

Após a obtenção do *shape* do limite, com o uso da ferramenta *CLIP* do

ArcGis10 e tendo como base a carta da hidrografia, foi possível obter a hidrografia restrita ao interflúvio dos rios Purus e Madeira.

O mapa final da ordem dos rios foi gerado com base no método desenvolvido por Strahler (1952) apud Christofeletti (1980), no qual se utilizou a ferramenta RivEX, que somente permitiu processar os dados na versão do ArcGis 9.3. O RivEx tem um módulo para controle de qualidade da rede de drenagem que corrige possíveis falhas, como polilinhas descontínuas, ou de comprimento nulo, fechadas, ou que se interceptam, desconectadas ou digitalizadas duas vezes, ou seja, o trabalho consistiu em analisar todas estas qualidades, caso a caso. Ao final, a drenagem consistiu de mais de 40.000 segmentos.

Identificar a ordem de um rio segundo sua hierárquica fluvial serve como auxílio aos estudos morfométricos, permitindo classificar os cursos d'água e a área drenada à qual pertença e, ainda, identificar a ordem do rio principal, em que o rio de menor ordem recebe o número 1, o de segunda maior ordem que recebe tributários de mais de um rio de ordem 1 passando a ser identificado como rio de ordem 2 e o de terceira ordem recebe mais de um curso d'água de ordem 2 e ainda de ordem 1, passando a ser identificado como rio de ordem 3 e assim sucessivamente (STRAHLER apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

### **3.2.8.2. Pontos amostrais**

A partir do processamento das cartas temáticas com o emprego de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) foram obtidos os pontos de interseção da rodovia com a rede de drenagem, tendo se configurado em um número muito elevado para coleta de dados em campo. Então, adotou-se o método estatístico de amostra estratificada proporcional sistemática para elencar a quantidade de pontos de coleta (amostras) que fossem representativas do total

de pontos (população) identificados. Esse método permitiu escolher amostras dentro de cada ordem dos rios, em que todos os pontos (população) tiveram uma probabilidade (não nula) de serem incluídos na amostra.

#### **3.2.8.3. Vegetação, uso e cobertura da terra**

Para a obtenção do mapa de vegetação, uso e cobertura da terra restrito à área de estudo, a partir do mapa do IBGE (escala 1:250.000), vários procedimentos foram adotados, buscando o seu refinamento. Inicialmente, o mapa foi ‘recortado’ de acordo com o plano definido para o limite da área entre o interflúvio os rios Purus e Madeira (máscara), com o emprego do programa ARCGIS 10. Visando compartimentar melhor as unidades vegetacionais da área de estudos, dados foram agregados aos já existentes, a partir da interpretação visual simultânea de imagens Landsat5-TM e dados SRTM. A utilização dos Grids do RSTM proporcionou uma melhor caracterização e delimitação dos ambientes vegetacionais. Outro procedimento adotado incluiu a junção de classes. Esta nova imagem possibilitou quantificar as áreas das classes temáticas definidas na legenda final.

#### **3.2.8.4. Uso e cobertura restrito aos pontos amostrais**

Visando conhecer melhor a área restrita aos pontos de coletas dos dados ou pontos amostrais, buscou-se caracterizar a faixa de domínio da BR 319, que varia entre 60 a 100 m de largura. A faixa de domínio diz respeito a uma faixa física ao longo da rodovia onde estão inserida a própria pista de rolamento, além de canteiros, obras de arte, acostamento, sinalização e faixa de segurança lateral em relação ao limite do alinhamento das cercas dos imóveis marginais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE

TRANSPORTES, 2012).

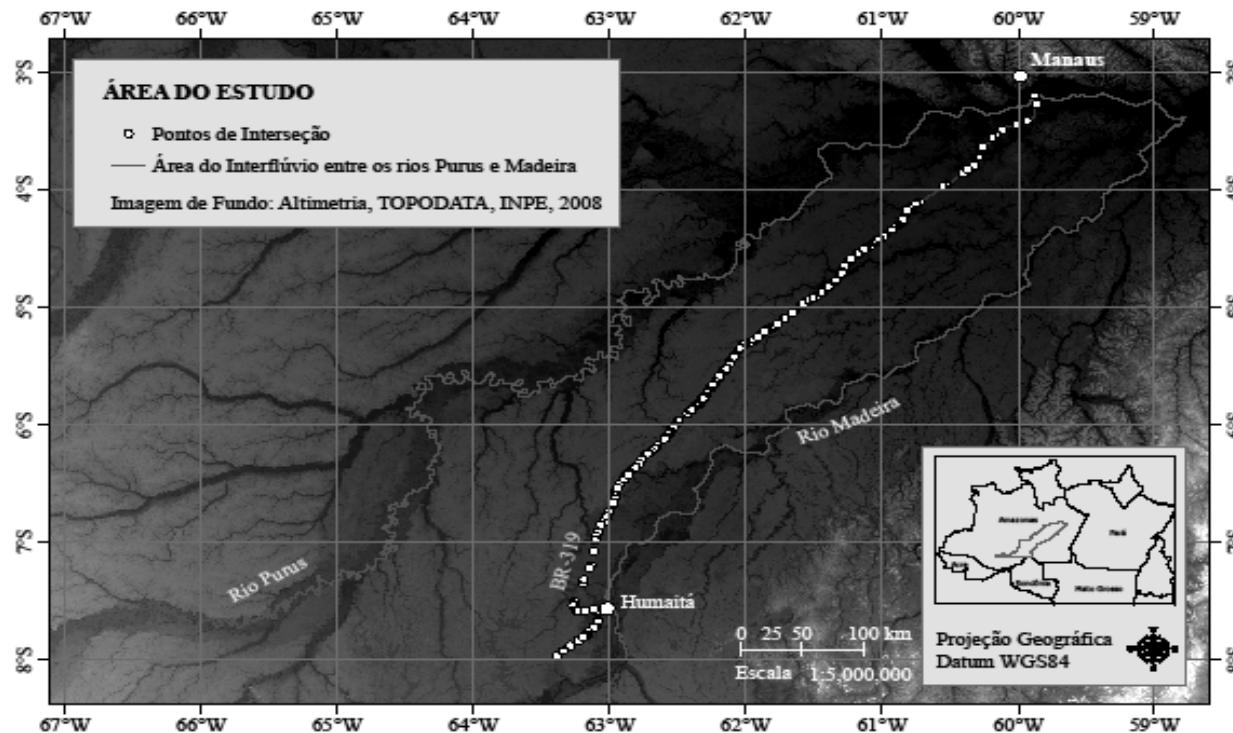
Esta caracterização se deu com a interpretação das classes demonstradas nas imagens Landsat (composição das bandas 5, 4 e 3, ano 2010), restritas aos pontos de pesquisa. Para auxiliar nesta interpretação também se utilizou o mapa TerraClass (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2011), obtido pela parceria firmada entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Para obter a área restrita, executou-se o *buffer* de 100 m para cada lado, transversalmente e de 500 m, longitudinalmente, ambos a partir do eixo da pista, resultando em um retângulo de 200 m x 1.000 m, obtendo-se área de 20 hectares, aproximadamente, para a caracterização dos pontos amostrais ao longo da rodovia.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Mapa da ordem dos rios e de interseção

As técnicas adotadas nos estudos atuais permitiram identificar a ordem dos rios no interflúvio dos rios Purus e Madeira.

Os pontos de interseção da BR 319 com os cursos d'água podem ser observados no mapa da Figura 4. Em relação ao total de cursos d'água intersecionados pela BR 319, sua identificação, por ordem e trechos da rodovia, consta na Tabela 1.



**Figura 4.** Mapa de identificação dos pontos onde a BR 319 intersectou a rede de drenagem no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no trecho localizado no estado do Amazonas, Brasil.

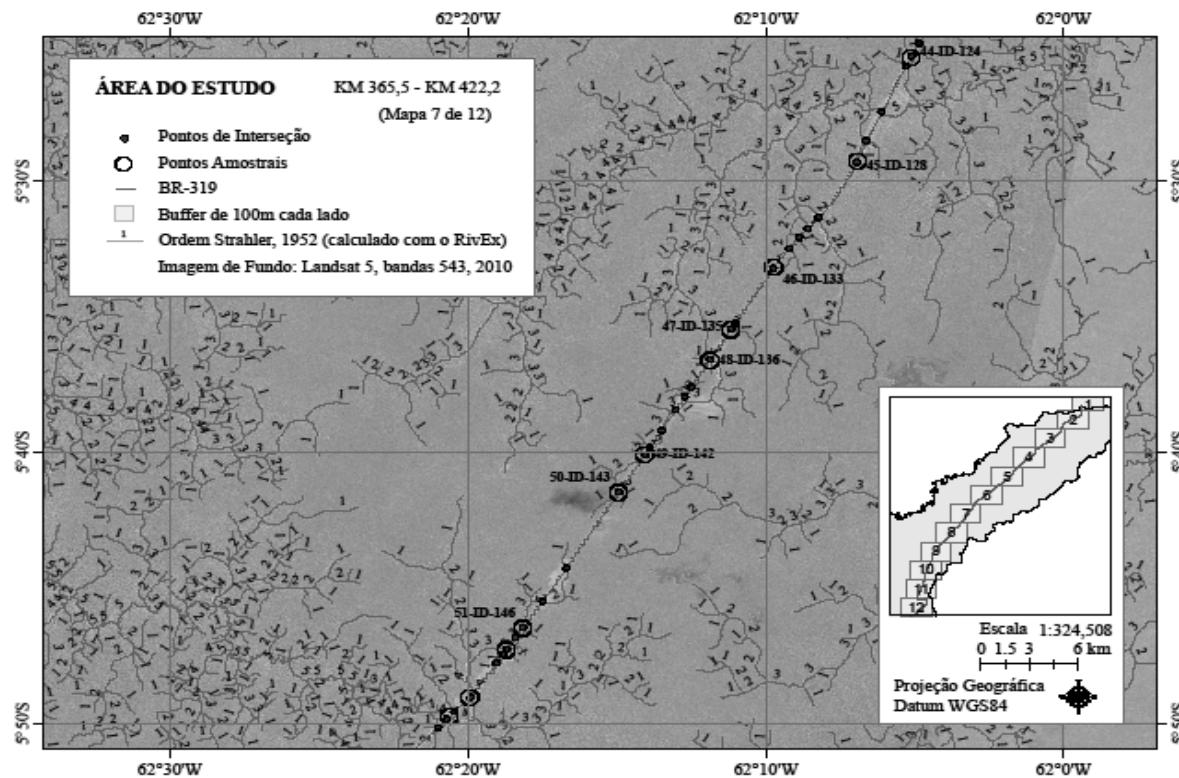
**Tabela 1.** Tabela relacionando a quantidade de pontos que foram intersecionados pela BR 319, subdivididos por trechos da rodovia e ordem dos rios da rede hidrográfica relativa ao interflúvio dos rios Purus e Madeira, no trecho localizado no estado do Amazonas.

TRECHO/ORDEM	1	2	3	4	5	6	Total
Mapa 1 km 0-km 11,2	2						2
Mapa 2 km 11,2-km 83,6	11	2		2			15
Mapa 3 km 83,6-km 156,9	9	3	1		1		14
Mapa 4 km 156,9-km 225,5	18	5	4	1	1		29
Mapa 5 km 225,5-km 291,7	19	8	1	2		1	31
Mapa 6 km 291,7-km 365,5	25	6		1			32
Mapa 7 km 365,5-km 422,2	14	9	5	2	1		31
Mapa 8 km 422,2-km 486,1	21	2					23
Mapa 9 km 486,1-km 542,0	19	6	2				27
Mapa 10 km 542,0-km 592,6	5	1	2				8
Mapa 11 km 592,6-km 643,8	6	1					7
Mapa 12 km 643,8-km 730,8	13	6	2	2			23
<b>Total geral</b>	<b>162</b>	<b>49</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>242</b>

Na Figura 5 é possível observar um trecho da BR 319, com identificação da ordem dos cursos d'água, dos pontos de interseção e dos pontos amostrais intersecionados.

Verificou-se que foram intersecionados 242 cursos d'água ao longo dos 730 km da BR 319 e que 66,94% dos rios foram identificados como sendo de ordem 1, seguidos dos rios de ordem 2, com 20,25% dos casos e 7,03% para os rios de ordem 3. Os mais caudalosos, ordem 4, 5 e 6, representaram 5,78% dos casos (Tabela 1).

Constatou-se, ainda, que o traçado da rodovia está localizado, predominantemente, nos divisores de água das bacias hidrográficas dos rios Purus e Madeira, justificando a identificação da interseção da rodovia com os cursos d'água mais expressivos para rios de ordem 1.



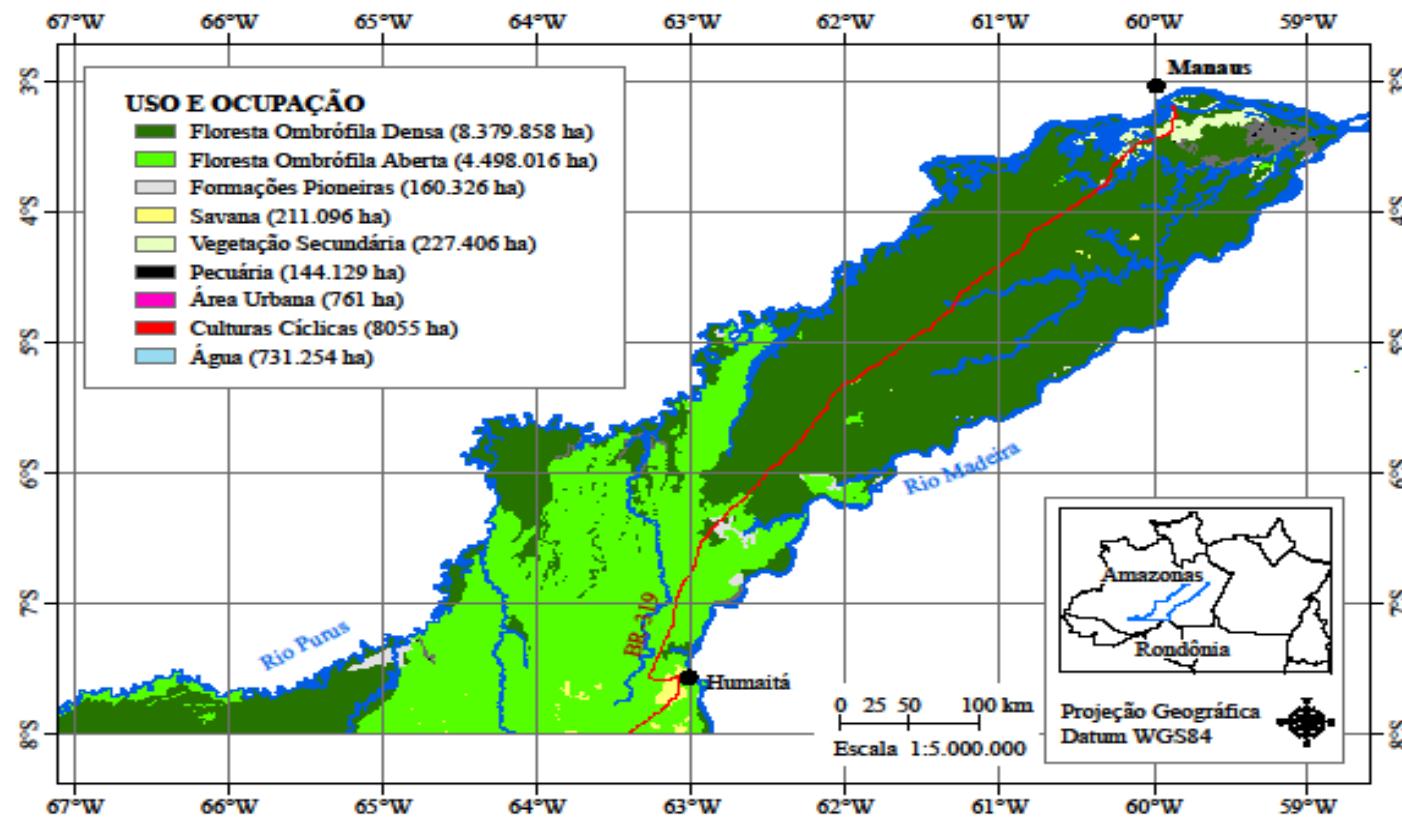
**Figura 5.** Mapa do trecho 7, km 365,5 a 422,2, identificando a interseção da BR 319 com a rede de drenagem e a ordem dos cursos d'água no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas, Brasil.

#### **4.2. Mapa de vegetação, uso e cobertura no interflúvio dos rios Purus e Madeira**

A partir da análise dos atributos espectrais e espaciais das imagens orbitais, em conjunto com o mapa disponibilizado pelo IBGE, chegou-se a uma legenda temática para o mapa de uso e cobertura da terra (Figura 6) na escala 1:100.000 (que foi alterado para efeito de impressão), constando nove classes divididas em grupos de vegetação, de uso da terra e de água, incluídas águas de rios e lagos, como se observa na Tabela 2, que também quantifica a área de estudos em 14.360.901 ha.

**Tabela 2.** Descrição das classes de vegetação, uso e cobertura da terra no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas.

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>
Floresta ombrófila densa	8.379.858	58,35
Floresta ombrófila aberta	4.498.016	31,32
Formações pioneiras	160.326	1,12
Savana	211.096	1,47
Vegetação secundária	227.406	1,58
Pecuária	144.129	1,00
Área urbana	761	0,01
Culturas cíclicas	855	0,06
Aguas	731.254	5,09
<b>Total</b>	<b>14.360.901</b>	<b>100%</b>



**Figura 6.** Mapa de vegetação, uso e ocupação da terra, no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas (IBGE/MMA, readequado).

As principais classes de uso e ocupação da terra identificadas na área de estudos (Figura 6 e Tabela 2) são sinteticamente apresentadas a seguir, a partir das descrições do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004) e do RADAMBRASIL (BRASIL, 1978a):

- a)** Floresta Ombrófila Densa representa 58,35% da área de estudos. Nessa classe estão incluídas suas subdivisões segundo sua hierarquia topográfica, como floresta ombrófila densa aluvial e floresta ombrófila densa das terras baixas. Esta classe de vegetação é caracterizada como fanerófita, sendo constituída, ainda, por lianas lenhosas e abundância de epífitas. As características ombrotérmicas estão diretamente relacionadas a fatores climáticos tropicais com temperaturas elevadas e de alta precipitação bem distribuídas ao longo do ano, com gradientes climáticos menores que 60 dias secos por ano (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991);
- b)** Floresta Ombrófila Aberta resultou em 31,32%, sendo a segunda maior classe que compõe a área de estudos. Diz respeito às faciações florísticas que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa, com ocorrência de claros e gradientes ombrotérmicos com mais de 60 dias secos por ano;
- c)** a classe identificada como Formações Pioneiras resultou em 1,12% da área total. Estas formações são fases de sucessão relacionadas a solos sazonais que se situam em locais deprimidos e ao longo dos rios ou dispersos no interior das florestas densas, e ou abertas, sofrendo influência aluvial e pluvial;
- d)** as classes de Pecuária, Área Urbana e Culturas Cíclicas resultaram em 1,07% da área. São áreas com predomínio de atividades de criação bovina, área de povoados, chegando a formar vilas onde se praticam culturas anuais, sobretudo com produção de grãos;
- e)** a classe Água diz respeito a águas superficiais, que resultou em 5,09% da área de estudos.

Pelo exposto se observa que as classes de Florestas representam 89,67% da área do interflúvio nos rios Purus e Madeira, significando dizer que se trata de uma região com elevada preservação de suas florestas, requerendo atenção especial, principalmente por parte do poder público, visando manter a gerência de sua ocupação, que deverá ser ordenada, objetivando manter a alta diversidade que a floresta em estudo tem.

A terceira maior classe de cobertura da terra, identificada com 731.254 ha, que diz respeito à Água, desperta interesse por se tratar de um bem vital para a sobrevivência da humanidade, sugerindo especial atenção por parte do poder público, visando à sua preservação.

#### **4.3. Caracterização das áreas no entorno dos pontos amostrais**

A partir do processamento das cartas temáticas com o emprego de SIG foram obtidos os pontos de interseção da rodovia com a rede de drenagem da área de estudo, que resultou em 242 pontos. A partir destes pontos foram selecionados os 82 pontos amostrais para a coleta de dados.

A caracterização dos 82 pontos amostrais e seu entorno resultou em uma área de 1.620 ha, subdividida em oito classes de uso, conforme exposto na Tabela 3. O entorno desses pontos está caracterizado por uma faixa de 200 m de largura por 1.000 m de comprimento.

**Tabela 3.** Classes de uso e cobertura da terra identificadas no entorno dos 82 pontos amostrais ao longo da rodovia federal, BR 319, no interflúvio dos rios Purus e Madeira, trecho do estado do Amazonas, Brasil.

TIPO DE USO E COBERTURA	ÁREA (ha)	%
Água	130,35	8,00
Área urbana	2,36	0,00
Capoeira	645,08	40,00
Estrada	410,27	25,00
Floresta	88,06	5,00
Pasto limpo	139,99	9,00
Pasto sujo	76,79	5,00
Solo exposto	127,10	8,00
<b>Total</b>	<b>1.620,00</b>	<b>100</b>

Para melhor definir as classes obtidas, buscou-se adotar as descrições constantes no programa TerraClass, das descrições do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004) e da interpretação das imagens do satélite. Assim, se podem descrever as classes identificadas no entorno dos pontos amostrais da seguinte maneira:

- ✓ água: área onde predomina água superficial que, para o entorno dos pontos amostrais, atingiu um total de 8% da área total;
- ✓ área urbana: difere da zona rural por representar o adensamento de ruas, casas e prédios, decorrente da concentração de populações, formando lugarejos, vilas e cidades. A partir destes estudos, concluiu-se que a área urbanizada existente no entorno dos pontos amostrais se aproxima de zero;
- ✓ capoeira: se refere à vegetação secundária que nasce após a derrubada da floresta primária. Para os 1,62 ha estudados, 40% se referem a este tipo de cobertura;
- ✓ estrada: delimita a área que, reconhecidamente, é destinada ao leito da estrada e adjacências, atingindo 25% da área total;
- ✓ floresta: área que apresenta estrato bem definido de conjunto herbáceo, arbustivo, arvoretas e arbóreo. Para a área estudada, 5% representam a

floresta;

✓ pasto limpo: se refere a uma área com domínio de vegetação herbácea, predominando as espécies gramíneas (90% a 100%). Da área estudada se observou que 9% estão enquadradas nesta classe;

✓ pasto sujo: esta denominação diz respeito ao local onde predominam vegetação herbácea e cobertura com espécies gramíneas entre 50% e 80%, e com 20% a 50% de vegetação arbustiva esparsa, tendo 5% da área estudada se enquadrado nesta classe;

✓ solo exposto: diz respeito a áreas que, após o corte raso, serviram para cultivo de roça, pastos, plantas cultivadas e que apresentam cobertura com o mínimo de 50% de solo exposto ou, ainda, podendo se referir à área de extração mineral, onde, nas cercanias das águas superficiais, existem desflorestamentos. Esta área perfaz um total de 8% do entorno dos pontos amostrais.

Como se observa no estudo voltado para os pontos onde houve interseção da rodovia com os corpos d'água, a área urbana, que diz respeito à concentração de casas, prédio e arruamentos, não se configurou como uma classe, significando dizer que os agrupamentos humanos existentes ao longo da rodovia ainda se apresentam de forma discreta. Isto sugere a necessidade de gerenciamento de seu crescimento, visando um maior controle de sua expansão para que a ocupação de maiores áreas se dê de forma ordenada, evitando antropização de grandes áreas de florestas e da preservação das áreas de preservação permanente existentes nestes locais.

A classe Capoeira, que diz respeito à área onde a floresta primária foi suprimida, é bastante expressiva. Somada a solo exposto, pasto sujo e pasto limpo, representa 62% da área do entorno de cada ponto amostral. A classe identificada como Estrada representa 25% da área estudada e, somada aos 62% da área desflorestada, atinge 87% da área do entorno de cada curso d'água

estudado.

## 5. CONCLUSÕES

A região do interflúvio dos rios Purus e Madeira apresenta predominância da cobertura vegetal original, com 90,79% de floresta, 1,47% de savana e apenas 2,65% apresentam indícios de ocupação antrópica (vegetação secundária, pecuária, culturas cílicas e área urbana).

A presença da estrada altera a proporção e as classes de uso e cobertura do solo no seu entorno em relação às classes encontradas no interflúvio, com predominância de capoeira (40%), pasto (14%) e solo exposto (8%).

## REFERÊNCIAS

BARRETO, R.; MESQUITA. B. F. Monitoramento da atividade de carcinicultura nas áreas de manguezal da APA Delta do Parnaíba, entre 2005 e 2009. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 2044.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Levantamento de recursos naturais:** volume 17. Rio de Janeiro: SEMA, 1978. Folha SB-20. (Projeto Radambrasil).

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA.. **Purus:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. volume 17. Rio de Janeiro: SEMA, 1978a. Folha SB-20, p. 566. (Projeto Radambrasil).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.

BRAUN, O. P. G.; SIEGL, G. G. Alguns aspectos sazonais da floresta Amazônica, no interfluvio Coari-Tefé, monitorados por imagem LANDSAT TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** Manaus: INPE, 1990.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, mar./abr. 2006.

CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia hidrográfica no Município de Taubaté, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3723-3730.

CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. S. Uso do geoprocessamento na determinação da distância entre estradas rurais e a drenagem de uma microbacia hidrográfica: Rio das Antas. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2004, Taubaté. **Anais...** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2004. p. 39.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COSTA, J. A. L et al. Identificação do desmatamento das unidades especiais na área de delimitação provisória (ALAP) da BR 319. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 4325.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio>>. Acesso em: 14 maio 2012.

DUBREUIL, V.; MAITELLI, G. T. Estimativa das chuvas mensais e anuais a partir de imagens GOES em Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 489-496.

EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE. **Base de dados da missão SRTM.** New Jersey: USGS, 2008. Disponível em: <<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/>>. Acesso em: 11 fev. 2008.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Software ArcGis desktop:** version 10. Redlands: ESRI, 2011.

FEARNSIDE, P. M. A tomada de decisão sobre grandes estradas Amazônicas. In: BAGER, A. (Ed.). **Ecologia de estradas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2011.

FIDALGO, E. C. C. et al. Mapeamento do uso e da cobertura atual da terra para indicação de áreas disponíveis para reservas legais: estudo em nove municípios da região Amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 871-877, nov./dez. 2003.

FREITAS, R. M.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento de áreas alagáveis na planície do Rio Amazonas a partir de dados do sensor MODIS–Região do Lago Curuaí – PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 533-540.

HIGUCHI, N. et al. **Noções Básicas de manejo florestal.** Manaus: INPA, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recursos naturais e meio ambiente:** uma visão do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 maio 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia: sumário executivo. **TerraClass**, Belém, p. 1-37, set. 2011.

JUNK, W. J. As águas da região amazônica. Ln: SALATI, E. (Ed.). **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1983. p. 45-100.

MARTINS JUNIOR, A. F.; WAICHMAN, A. V. Mapeamento dos ambientes aquáticos e da cobertura da terra na Bacia do Rio Purus, Amazonas, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5973-5980. 1 DVD.

MATOS, F. D. A.; SILVA, K. E. Detecção de mudanças na cobertura vegetal na cidade de Manaus e seu entorno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 609-616.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapas**. Brasília: MMA, 2011. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/geodados/download/basecarto/index.html>>. Acesso em: 15 set. 2011.

MINISTÉRIO DO TRANSPORTE. **Rodovias Federais**. Brasília: MMT, 2011. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/index/conteudo/id/539.http://www2.transportes.gov.br/bit/mapas/mapclick/brs/RODNORTE.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2011.

MOURA, V.; SIMIÃO, S. A. **Sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG'S) na caracterização da viabilidade agrícola no município de Acorizal-MT**. Várzea Grande: UNIVAG, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/poster/130.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2011.

NASCIMENTO, W. M.; VILAÇA, M. G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 1, n. 7, p. 102-120, maio 2008.

PETRINI, M. A.; ARRAES, C. L.; ROCHA, J. V. Utilização de classificadores automáticos no mapeamento temático de uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 459.

SANTOS, J. R.; SANTOS, A. P.; AQUINO, L. C. S. **Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra nas áreas programa do PDRI-AM, através da técnica de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1983.

TARDIN, A. T. et al. **Levantamento de áreas de desmatamento na Amazônia legal através de imagens de satélite LANDSAT.** São José dos Campos: INPE, 1979.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VIANNA, A. L. M. **Análise comparativa entre modelos de uso de solo na Amazônia Oriental:** pagamentos por serviços ambientais e manejo florestal. 2008. 89 f. Universidade de São Paulo, Piracicaba. Estágio profissionalizante em Engenharia Florestal. N. do projeto: 011-602.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Mapas auto-organizáveis para identificação de ecorregiões no interflúvio Madeira-Purus: uma abordagem da biogeografia ecológica. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL LBA/GEOMA/PPBIO, 2008, Manaus. **Anais...** Manaus: LBA/GEOMA/PPBio, 2008.

## **CAPÍTULO 2: Análise da influência da BR 319 na qualidade da água nos locais de interseção da rodovia com a rede hidrográfica**

### **RESUMO**

O Brasil tem 1.581.181 km de estradas, incluindo as federais, estaduais e municipais. Na fase do planejamento desses empreendimentos, para a tomada de decisão quanto ao traçado da rodovia, muitas são as variáveis levadas em consideração, incluindo as peculiaridades regionais, incluindo os cursos d'água a serem transpostos. Outro fator que desperta interesse com relação às estradas diz respeito ao impacto causado quando de sua construção e/ou manutenção. Em se tratando de cursos d'água, estudos mostram que a proximidade das estradas aos mananciais é uma realidade e que tal fato concorre para o assoreamento dos rios. A manutenção da qualidade ambiental dos cursos d'água pode ser aferida por diversos métodos, dentre os quais se pode citar a avaliação da qualidade da água pela análise de seus parâmetros físicos, químicos e biológicos. Assim, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de analisar a qualidade da água nos seus parâmetros físico-químicos, nos locais de interseção da rodovia BR 319 com a rede hidrográfica local, em função das obras de engenharia construídas, visando transpor os cursos d'água; da ordem dos cursos d'água intersecionados ao longo da rodovia; da estação do ano em que se deu a coleta dos dados e da bacia hidrográfica a que cada tributário pertença. Concluiu-se que, com o emprego de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas, foi possível identificar a vegetação, o uso e a ocupação da terra no interflúvio dos rios Purus e Madeira, que é a região onde rodovia foi construída e, ainda, identificar os pontos dos cursos d'água intersecionados pela BR 319, bem como a ordem da rede de drenagem identificada no interflúvio estudado e dos cursos d'água

intersecionados. Posteriormente, após análise dos dados coletados em campo, foi possível avaliar os parâmetros físico-químicos da água ao longo da rodovia. Dos dados amostrais analisados, identificou-se, para o pH, a média mínima de 5,2 na posição montante e a máxima de 5,63 na estação seca. Quanto ao parâmetro oxigênio dissolvido (OD), a média variou de 5,9 mg/l a 7,1mg/l. Com relação aos cursos d'água de ordem 3, maior ordem estudada, o maior índice de OD aferido foi de 7,1 mgL<sup>-1</sup>. A condutividade elétrica atingiu média geral de 10,5 µs/cm. A turbidez encontrada foi de 54,5 NTU e 55,4 NTU, para o Purus e o Madeira, respectivamente. A maior turbidez verificada se deu a jusante das interseções da rodovia com a rede de drenagem local, fato que pode ser explicado pela ausência de vegetação ciliar, como se comprovou nos estudos dos pontos amostrais nos quais se identificou que somente 5% da área são protegidos por Floresta. Por fim, concluiu-se que a interseção da rodovia federal, BR 319, com a rede de drenagem alterou a qualidade limnológica dos cursos d'água no indicador turbidez e que os estudos atuais confirmam o enquadramento dos cursos d'água estudados, de águas pretas em águas ácidas.

**Palavras-chave:** Estradas; Interseção; Rede hidrográfica; Parâmetros físico-químicos.

## ABSTRACT

Brazil has 1.581.181 km of roads, including federal, state and local highways and, in the planning phase of these projects, for taking decision on the route of the highway, many variables are taken into consideration, including the regional peculiarities like the watercourses to be overcome. Another factor that arouses interest as roads, concerns the impact upon their construction and/or maintenance. In the case of watercourses, studies show that the proximity of roads to springs is a reality and that this fact contributes to the silting of rivers. The environmental quality of waterways can be measured by several methods, among them the assessment of water quality by analysis of physical, chemical and biological parameters. Thus, the present study aimed to analyze the water quality in its physical-chemical parameters, the locations of intersection of the highway BR 319 with the hydrographic network site, according to engineering works constructed aiming to bridge the water courses, the order of watercourses intercepted along the highway, the season in which its gave the data collection, and each tributary basin belonging. After this research, it were found that with the use of remote sensing and geographic information systems were able to identify vegetation, land use and occupation of the interfluve of the Purus and Madeira riveres which is the region where the highway was built and also to identify the points watercourses intercepted by BR 319 as well as the order of the drainage network in the interfluve studied and identified watercourses intercepted. Later, after analyzing data collected in the field it was possible to evaluate the physical chemical parameters of water along the highway. Data sample analyzed was identified for the average minimum pH of 5.2 and the maximum amount in position of 5.63 when in dry station. Regarding the parameter dissolved oxygen (DO) its average ranged from 5.9 mg/L to 7.1 mg/L. As this was the watercourses of order 3, higher order studied, the highest rate of

OD measured was  $7.1 \text{ mg L}^{-1}$ . The electrical conductivity obtained a general average of  $10.5 \text{ mS/cm}$ . Turbidity found was 54.5 and 55.4 NTU, for the Purus and Madeira respectively. The highest recorded turbidity occurred downstream of the intersections with the highway drainage network site, which may be explained by the absence of riparian vegetation as evidenced in studies of sampling points where it was identified that only 5% of the area is protected by forest. Finally, it was concluded that the intersection of federal highway BR 319, with the drainage network changed the limnological quality of the watercourses, the indicator turbidity and that current studies confirm the framework of the watercourses studied blackwater in acidic waters.

**Key-words:** Roads; Intersection; Hydrographic network; Physical-chemical parameters.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o boletim estatístico da Confederação Nacional de Transportes (CNT), o Brasil tem 1.581.181 km de estradas, incluindo as federais, estaduais e municipais, sendo 214.249 km pavimentados e 1.366.932 km não pavimentados. Deste total, 15.365 km estão sob concessão de empresas privadas, podendo ser concessões promovidas pelo Ministério dos Transportes, pelos governos estaduais ou pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2011).

Em 6 de janeiro de 2011 foi sancionada a Lei nº 12.379, que criou o Sistema Nacional de Viação (SNV), substituindo o antigo Plano Nacional de Viação. Seus objetivos principais são assegurar a unidade nacional e a integração regional, garantir a malha viária estratégica necessária à segurança do território nacional, promover a integração física com os sistemas viários dos países limítrofes e prover meios e facilidades para o transporte de passageiros e cargas, em âmbito interestadual e internacional.

Na fase do planejamento das novas estradas ou de sua reestruturação, reforma ou ampliação, são elaborados projetos baseados em princípios de geometria, física e nas características de operação dos veículos. Os cálculos teóricos não são os únicos a serem considerados, mas ainda resultados empíricos resultantes de várias observações e análises do comportamento dos motoristas, capacidade das estradas, dentre outros. Após considerar estes fatores é que se pode afirmar se a construção da estrada é tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente (PONTES FILHO, 1998).

Ainda segundo Pontes Filho (1998), são fatores que se destacam na escolha de um traçado viário: a topografia da região, as condições geológicas e geotécnicas do terreno, a hidrologia e a hidrografia da região, bem como a presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio.

Várias são as realidades locais que precisam ser vencidas para a implantação de uma estrada. Dentre elas, a transposição de talvegues onde as águas que ali se situam procedem de uma bacia que, por imperativos hidrológicos e de morfologia do terreno, precisa ser ultrapassada sem que haja alteração da estrutura da estrada. Para se atingir o almejado, há a necessidade de construir bueiros, que podem ser de uma ou mais linhas sob os aterros ou construção de pontilhões ou pontes para transpor os obstáculos que são os cursos d'água (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2006).

A fase prévia à construção das estradas se mostra determinante, devendo constar, imprescindivelmente, o levantamento topográfico da área que permitirá avaliar o volume de água daquela bacia, conhecer a superfície do terreno em diferentes alturas, determinar a profundidade do ponto mais baixo a ser drenado, encontrar o ponto da saída apropriada e encontrar a localização da ultrapassagem mais apropriada para os corpos d'água, como abordado em estudos elaborados pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2005), para a cidade de São Paulo.

Outro fator a ser estudado diz respeito à origem da água que alimenta aquele canal por meio de análise de prováveis vazões máximas e mínimas. Esses fatores, quando levados em consideração, permitem indicar a posição mais adequada e a melhor solução quanto à obra de arte a ser construída nos pontos de interseção da rede de drenagem (TUCCI, 1997).

As construções podem ser especiais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 1996) ou correntes. As obras de artes especiais dizem respeito aos viadutos, obras de contenção ou pontes, que são construções que permitem interligar, ao mesmo nível, pontos não acessíveis separados por rio, vales ou outros obstáculos naturais ou artificiais. Já as obras de arte correntes abrangem os bueiros, conceituados como galerias de águas

pluviais de curta extensão, geralmente utilizadas na transposição de via sobre um curso d'água, em que os mais frequentemente utilizados são os de formato circular ou retangular, assim identificados:

a) bueiros de grota: são obras de arte corrente que se instalam no fundo do talvegue. Por se instalarem no fundo das grotas, deverão dispor de bocas e alas;

b) bueiros de greide: são obras de transposições de talvegues naturais ou ravinas, que são interceptadas pela rodovia e, devido à altimetria local, são necessários dispositivos especiais, podendo ser caixas coletoras e de saída d'água, que são dispositivos especiais de captação e deságue;

c) bueiros celulares: são obras de razoável porte, instaladas no ponto mais baixo do talvegue, onde os cursos quase sempre são permanentes. Por razões construtivas e estruturais, são construídos em seções definidas geometricamente, podendo ser retangulares ou quadrados, com célula única ou múltipla, quando são separadas por septos verticais;

d) bueiros metálicos executados sem interrupção do tráfego: são obras de arte corrente destinadas ao escoamento permanente ou temporário das águas, executados por processos não destrutivos. Em sua construção são usadas chapas de aço corrugadas, fixadas por parafusos e porcas ou por grampos especiais, cujo avanço de instalação é alcançado com o processo construtivo designado “tunnel-liner”.

Em estudos de rodovias, a hidrologia pode interferir na tomada de decisão do traçado de uma estrada, considerando que, geralmente, os custos com obras de arte e de drenagem são bastante elevados.

Na Amazônia, para a tomada de decisão quanto ao traçado de uma rodovia, certamente, as mesmas variáveis são consideradas, mas os custos finais de uma rodovia na região devem ter especial atenção, em face das peculiaridades regionais.

Estas peculiaridades incluem as dimensões continentais, de aproximadamente 5.217.423 km<sup>2</sup> (Amazônia Legal), correspondentes a cerca de 61% do território brasileiro, e ao seu isolamento, como demonstradas pelo IME (INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, 1978) quando, baseado em estudos e experiências vivenciadas por seus militares, elaborou o livro Metodologia para implantação de estradas na Amazônia.

Este em seu primeiro capítulo registra que o transporte na região Amazônica, até a década de 1970, utilizou sua rede fluvial, sendo mínima a participação da rede aérea, ferroviária e rodoviária. Tal situação resultou em prejuízo para a região, mas, por fatores econômicos, sociais e de segurança nacional, por volta de 1968, foi estabelecido um plano rodoviário para a região, incluindo a estrada diagonal Manaus-Porto Velho.

Ainda citando IME (INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, 1978), no planejamento para a construção da BR 319, uma das estradas pioneiras na política de ocupação da Amazônia, as obras foram iniciadas em 1968, prevendo dois anos para a conclusão da terraplenagem. A escolha deste prazo demonstrou total desconhecimento das peculiaridades regional, tanto que somente em 1973 a obra foi concluída. Diante das dificuldades regionais, houve o redimensionamento do processo empregado e do prazo para a conclusão dos serviços, já que os processos usuais se mostraram inviáveis. Das dificuldades locais verificadas, as mais expressivas foram severidade dos elementos naturais, como precipitações anuais superiores a 2.500 mm e índice xerotérmico nulo, além de baixa capacidade de suporte do solo.

A floresta Amazônica é um ecossistema autossustentável por se manter, com seus próprios nutrientes, num ciclo permanente. Os ecossistemas amazônicos são sorvedouros de carbono, contribuindo para o equilíbrio climático global. Existe um delicado equilíbrio nas relações das populações biológicas que são sensíveis a interferências antrópicas (INSTITUTO

## BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011).

De acordo com as variedades de ecossistemas, a Floresta Amazônica tem suas matas classificadas em três grupos: 1) Matas de Terra Firme, situadas distantes dos rios, em terras altas, formadas por árvores alongadas e finas, dentre elas a castanha-do-brasil, o cacauzeiro e as palmeiras, que têm grande quantidade de espécies de madeira de alto valor econômico; 2) Matas de Várzea, próprias das áreas periodicamente inundadas pelas cheias dos rios e que apresentam maior variedade de espécies, de seringueiras às palmáceas e 3) Matas de Igapós, situadas em áreas baixas, próximas ao leito dos rios, permanecendo inundadas durante quase o ano todo e que apresentam árvores altas, com raízes adaptadas às regiões alagadas.

A formação florestal é a característica mais marcante, apesar de a Amazônia possuir grande variedade de ecossistemas e uma infinidade de espécies vegetais e animais. Há 1,5 milhão de espécies vegetais catalogadas, 3 mil espécies de peixes, 950 tipos de pássaros e, ainda insetos, répteis, anfíbios e mamíferos (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2011).

A manutenção do equilíbrio destes ecossistemas está diretamente relacionada a variáveis ambientais, como clima, solo, ar, regime hidrológico e qualidade das águas, dentre outros.

A água é um elemento essencial para a vida das plantas e dos animais, bem como para a manutenção do clima do planeta. Mesmo sendo um recurso renovável, ela deve ser tratada com muito cuidado, pois os gastos excessivos e indiscriminados, aliados à poluição, poderão causar sérios danos nos mananciais.

Nas mais variadas situações, a qualidade da água é avaliada pela análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Para a manutenção de parâmetros mínimos de qualidade, são editadas normas e leis, as que possibilitam enquadrar

os cursos d'água para consumo ou uso humano. Há situações nas quais os governos estaduais têm adotado ou estabelecido seus próprios parâmetros, como ocorre no estado de São Paulo, por meio da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (Cetesb). O governo federal, por meio do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), editou a Resolução 357/2005, pela qual define alguns parâmetros que servem como base comparativa para a manutenção da qualidade das águas, podendo-se citar:

a) condutividade elétrica: é a medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica, cujos valores são expressos em microssiemens ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ ). É função da concentração de íons presentes na água que possam conduzir a corrente elétrica, mas seu valor, além de depender da temperatura, também difere para cada íon;

b) temperatura da água: desempenha importante papel no controle de espécies aquáticas, podendo ser considerada uma das suas características mais importantes. Seu valor varia entre 0 °C e 30 °C;

c) pH: o potencial de hidrogênio é um índice que indica a acidez, a neutralidade ou a alcalinidade de um meio, por estar relacionado à concentração de íons de hidrogênio encontrados em uma solução. Por sofrer influência de muitos fatores, se torna uma das variáveis mais difíceis de interpretar, mas é considerada uma das mais importantes variáveis ambientais (ESTEVES, 1988).

Para que se conserve a vida aquática, o pH ideal deve variar entre 6 e 9;

d) turbidez: é a medida da capacidade da água em dispersar a luz. Da forma mais simples se pode dizer que turbidez diz respeito à cor aparente da água (ESTEVES, 1988). É fortemente influenciada pelo elevado teor de substâncias húmidas em suspensão (HEM, 1970), em que, havendo alta turbidez, há redução da fotossíntese de algas e da vegetação submersa enraizada. É expressa em *nephelometric turbidity units*, ou NTU;

e) oxigênio dissolvido (OD): o oxigênio é um elemento essencial no metabolismo dos seres aquáticos aeróbicos e, por regular os processos químicos que afetam diretamente a biota aquática, o oxigênio dissolvido se torna uma das variáveis limnológicas mais importantes nesses ambientes (ESTEVES, 1988). Havendo valores de OD muito baixos (anoxia) ou zero (anaeróbico), há a extinção de organismos aquáticos aeróbios. Em águas correntes, sob circunstâncias normais, o conteúdo de oxigênio varia ao longo do rio, devido a alterações em suas características ambientais e em consequência das condições climáticas. Seu valor indicado não deve ser inferior a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Por ser um elemento essencial à vida, a água e sua qualidade têm sido motivo de vários estudos, podendo-se citar os de Silva et al. (2009), que desenvolveram pesquisa visando avaliar a influência da precipitação na qualidade da água e o de Zillmer, Varella e Rossete (2007), que estudaram algumas características físico-químicas da água, com a finalidade de identificar fatores que causariam sua variação.

## 2. OBJETIVOS

Analisar a qualidade da água nos locais de interseção da BR 319 com a rede hidrográfica local, em função das soluções de engenharia adotadas, da ordem dos cursos d’água interseccionados ao longo da rodovia, da estação do ano e da bacia hidrográfica a que pertençam.

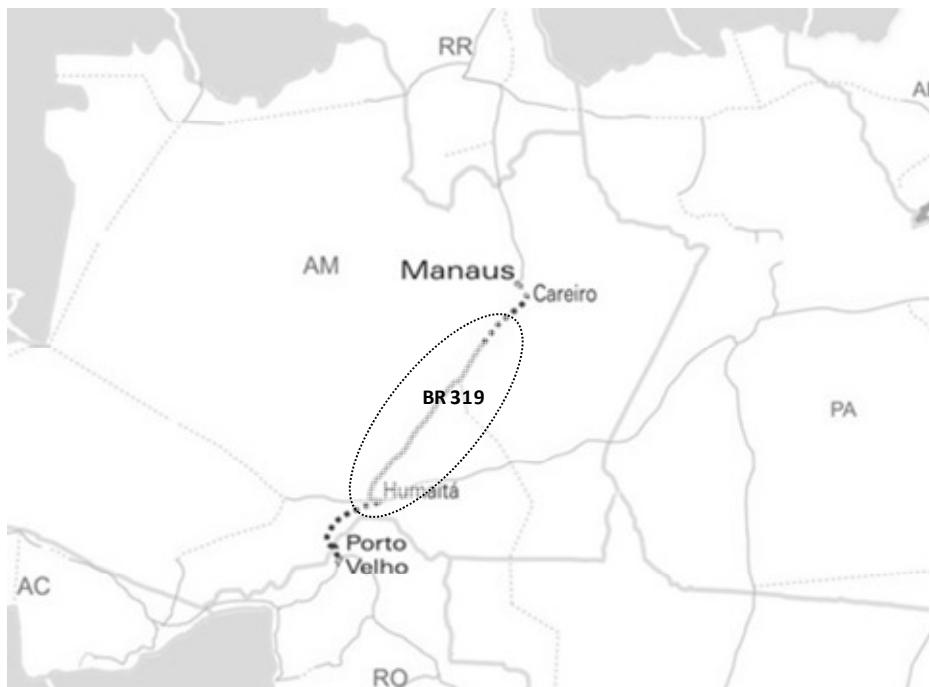
### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da área de estudo**

A bacia do rio Purus está localizada na porção ocidental da Amazônia brasileira, com área de 375.458,46 km<sup>2</sup>, dos quais 72,4% se encontram no estado do Amazonas, 20,73% no estado do Acre e 6,87% em território internacional. Com pluviometria em torno de 2.336 mm/ano, evapotranspiração de 1.398 mm/ano e com apenas 4,5 % de superfície desmatada, drena uma área com aproximadamente 271.705 km<sup>2</sup> no estado do Amazonas, 77.829 km<sup>2</sup> no Acre, 21.932 km<sup>2</sup> no Peru e 1.689 km<sup>2</sup> na Bolívia (MARTINS JUNIOR; WAICHMAN, 2009).

O rio Madeira integra a bacia do rio Amazonas e, no Brasil, banha os estados de Rondônia e do Amazonas, com extensão de 3.315 km. Nasce com o nome de rio Beni, na cordilheira dos Andes, Bolívia. Desce das cordilheiras recebendo o nome de rio Mamoré-Guaporé e torna-se rio Madeira traçando a linha divisória entre Brasil e Bolívia.

A BR 319, local específico destes estudos, foi construída no interflúvio dos rios Purus e Madeira, tendo extensão de 877 km com, aproximadamente, 730 km construídos no estado do Amazonas e o restante dentro do estado de Rondônia.



**Figura 1:** Delimitação da área de pesquisa, no interfluvio dos rios Purus e Madeira, identificando o trecho correspondente aos 750 km da rodovia federal onde foram levantados dados para os estudos limnológicos nos pontos de interseção da BR 319 com a rede de drenagem local que está localizada no estado do Amazonas, Brasil.

### 3.2. Identificação dos pontos de coleta

Os locais para a coleta de dados para análise limnológica e demais parâmetros qualitativos dos ambientes intersecionados pela BR 319 foram identificados a partir de análise de dados, com o emprego de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

### **3.2.1. Tecnologias utilizadas**

#### **3.2.1.1. Cartas digitais planialtimétricas, de hidrografia e rodovia**

Para o tratamento e a análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas foi utilizado o programa ArcGIS 10 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2011). A base cartográfica digital foi adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), na escala 1:100.000, em seu site oficial na internet. As cartas utilizadas relacionadas à planialtimetria, drenagem e rodovia que compõem a área do trabalho são assim identificadas: MI 577, 578, 579, 580, 581, 582, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 997, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1153, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236 e 1237.

#### **3.2.1.2. Imagem do sensor Landsat5 TM**

O levantamento do uso e cobertura da terra se deu por meio de imagens de satélite disponibilizadas virtualmente pelo INPE, com análise de imagens digitais do sensor Landsat5 - TM, composição colorida das bandas 5, 4, e 3 das órbitas/pontos: 230\62 (14\07\2008), 230\63 (20\09\2009), 231\62 (27\07\2010), 231\63 (27\07\2010), 231\64 (28\08\2010), 232\62, 232\63 (02\07\2010), 232\64 (02\07\2010), 232\65 (02\07\2010), 232\66, 233\63, 233\64 (09\07\2010), 233\65 (27\09\2010), 233\66, 001\65, 001\66, 002\65 e 002\66.

### **3.2.1.3. Grids do SRTM (30 m)**

Para a compartimentação das unidades de uso e vegetação, foram empregados dados SRTM (*Shuttle radar topography mission*, missão conduzida pela *National Aeronautics and Space Administration – NASA*, dos EUA) do projeto Topodata do INPE, com DTED de 90 m (EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE, 2008) reamostrados (krigagem) para 30 m.

### **3.2.1.4. Mapa TerraClass**

No desenvolvimento dos estudos e na busca de dados que subsidiassem a interpretação do mapa final de uso e cobertura da terra o mais próximo possível da realidade da área em estudo, também se utilizou o mapa digital fornecido pelo projeto denominado TerraClass, disponibilizado pelo INPE, em seu endereço eletrônico. Este mapa, que é único, a partir de imagens de satélite das áreas já desflorestadas da Amazônia Legal, descreve o uso e cobertura da terra referente ao ano de 2008.

### **3.2.1.5. Mapa de vegetação**

Para caracterizar a área do interflúvio dos rios Purus e Madeira, foi utilizado o mapa de vegetação disponível no endereço eletrônico do Ministério do Meio Ambiente, que é resultado da parceria firmada, em 2003, entre este Ministério e o IBGE.

### **3.2.1.6. Processamento de imagens digitais – georreferenciamento**

Para que as imagens do satélite Landsat, adquiridas junto ao INPE, possibilassem obter os dados almejados nestes estudos, foi necessário proceder ao seu georreferenciamento, o que foi realizado separadamente em cada uma das imagens selecionadas a partir do programa ERDAS 2011, por meio do Imagine AutoSync, localizado no módulo Toolbox → Georeferencing Wizard.

O Imagine AutoSync utiliza um algorítimo de busca automática de centenas de pontos de controle, comuns em ambas as imagens (imagem sem referência e a imagem com referência de um sistema de coordenadas), possibilitando a produção de um modelo matemático de alta precisão para a concretização do georreferenciamento (ajuste). Esta técnica é muito superior à de coleta manual de pontos, devido à limitação da visão humana.

As imagens que serviram de referência para o georreferenciamento das imagens da área de estudo foram as disponibilizadas pelo projeto NASA/ZULU do ano de 2005, disponível no site do INPE.

### **3.2.1.7. Dados identificados e transferidos para o GPS**

Após o processamento das cartas se obteve o mapa de identificação dos pontos de interesse e suas respectivas coordenadas geográficas. Posteriormente, em campo, de posse de um GPS eTREX Vista HCx, da marca Garmin, buscou-se conferir cada ponto. Alguns pontos não foram localizados, mas novos pontos identificados em campo foram inseridos no GPS e, posteriormente, foram transferidos para o computador, passando a fazer parte da base de dados utilizada nas sucessivas análises.

### **3.2.2 Obtenção de mapas temáticos**

#### **3.2.2.1. Ordem dos rios**

Para a obtenção do mapa temático de limite da área de estudos, com o emprego do ArcGis 10 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2011), a partir da base cartográfica da hidrografia se delimitou visualmente a área de interesse. Neste processo contou-se, ainda, com o apoio dos dados SRTM, o que facilitou a interpretação a partir dos dados altimétricos da superfície da área de estudos.

Após a obtenção do *shape* do limite, com o uso da ferramenta *CLIP* do ArcGis10 e tendo como base a carta da hidrografia, foi possível obter a hidrografia restrita ao interflúvio dos rios Purus e Madeira.

O mapa final da ordem dos rios foi gerado com base no método desenvolvido por Strahler (1952) apud Christofolletti (1980), utilizando-se a ferramenta RivEX que somente permitiu processar os dados na versão do ArcGis 9.3. O RivEx possui um módulo para controle de qualidade da rede de drenagem que corrige possíveis falhas, como polilinhas descontínuas, ou de comprimento nulo, fechadas, ou que se interceptam, desconectadas ou digitalizadas duas vezes, ou seja, o trabalho consistiu em analisar todas estas qualidades, caso a caso. Ao final a drenagem consistiu de mais de 40.000 segmentos.

Identificar a ordem de um rio segundo sua hierárquica fluvial auxilia os estudos morfométricos, permitindo classificar os cursos d'água e a área drenada ao qual pertença e, ainda, identificar a ordem do rio principal, em que o rio de menor ordem recebe o número 1, o de segunda maior ordem que recebe tributários de mais de um rio de ordem 1 passando a ser identificado como rio de ordem 2 e o de terceira ordem recebe mais de um curso d'água de ordem 2 e ainda de ordem 1, passando a ser identificado como rio de ordem 3 e assim

sucessivamente (STRAHLER apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

### **3.2.2.2. Pontos amostrais**

A partir do processamento das cartas temáticas, com o emprego de SIG obtiveram-se os pontos de interseção da rodovia com a rede de drenagem, tendo se configurado em um número muito elevado para coleta de dados em campo. Então, se adotou o método estatístico de amostra estratificada proporcional sistemática para elencar a quantidade de pontos de coleta (amostras) que fossem representativas do total de pontos (população) identificados. Esse método permitiu escolher amostras, dentro de cada ordem dos rios, em que todos os pontos (população) tiveram uma probabilidade (não nula) de ser incluída na amostra.

### **3.2.2.3. Vegetação, uso e cobertura da terra**

Para a obtenção do mapa de vegetação, uso e cobertura da terra restrito à área de estudo, a partir do mapa do IBGE (escala 1:250.000), vários procedimentos foram adotados buscando o seu refinamento. Inicialmente, o mapa foi ‘recortado’ de acordo com o plano definido para o limite da área entre o interflúvio os rios Purus e Madeira (máscara), com o emprego do programa ARCGIS 10. Visando compartimentar melhor as unidades vegetacionais da área de estudos, dados foram agregados aos já existentes, a partir da interpretação visual simultânea de imagens Landsat5-TM e dados SRTM. A utilização dos GRIDS do RSTM proporcionaram uma melhor caracterização e delimitação dos ambientes vegetacionais. Outro procedimento adotado incluiu a junção de classes. Esta nova imagem possibilitou quantificar as áreas das classes temáticas definidas na legenda final.

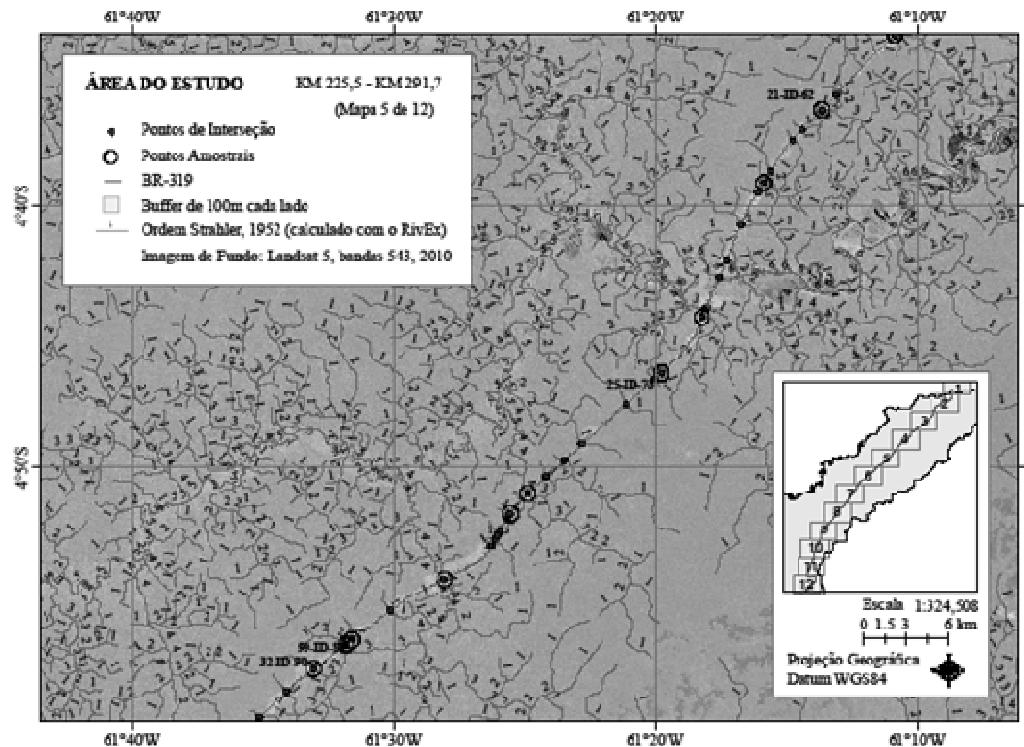
### **3.2.2.4. Uso e cobertura restrito aos pontos amostrais**

Visando conhecer melhor a área restrita aos pontos de coletas dos dados ou pontos amostrais, buscou-se caracterizar a faixa de domínio da BR 319 que varia entre 60 a 100 m de largura. A faixa de domínio diz respeito a uma faixa física ao longo da rodovia, onde estão inserida a própria pista de rolamento, além de canteiros, obras de arte, acostamento, sinalização e faixa de segurança lateral em relação ao limite do alinhamento das cercas dos imóveis marginais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2012).

Esta caracterização se deu com a interpretação das classes demonstradas nas imagens Landsat (composição das bandas 5, 4 e 3, ano 2010) restritas aos pontos de pesquisa. Para auxiliar nesta interpretação, também foi utilizado o mapa TerraClass (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2011), obtido pela parceria firmada entre o INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Para se obter a área restrita, executou-se o *buffer* de 100 m para cada lado transversalmente e de 500 m longitudinalmente, ambos a partir do eixo da pista, resultando em um retângulo de 200 m x 1.000 m, obtendo-se área de 20 ha, aproximadamente, para a caracterização dos pontos amostrais ao longo da rodovia.

Após a obtenção do mapa temático da ordem dos rios no interflúvio dos rios Purus e Madeira e da identificação de cada curso d'água que foi interseccionado pela rodovia BR 319 (Figura 2), concluiu-se que seria impraticável a coleta de dados em todos os 242 pontos encontrados (Tabela 1), em razão da dimensão da rodovia (730 km somente no estado do Amazonas), o que refletiria em elevada demanda de tempo e de recursos financeiros e

humanos, dos quais não se dispunha. Assim, buscou-se identificar pontos amostrais para as coletas dos dados ambientais.



**Figura 2.** Mapa do trecho 5, km 225,5 a 291,7, identificando a interseção da BR 319 com a rede de drenagem e a ordem dos cursos d'água no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas.

**Tabela 1.** Relação entre a quantidade de pontos e a respectiva ordem dos rios que foram intersecionados pela BR 319, subdividida por trechos da rodovia, relativo ao interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas.

TRECHO/ORDEM	1	2	3	4	5	6	Total de Pontos
Mapa 1 km 0 – km 11,2	2						2
Mapa 2 km 11,2 – km 83,6	11	2	2				15
Mapa 3 km 83,6 – km 156,9	9	3	1	1			14
Mapa 4 km 156,9 – km 225,5	18	5	4	1	1		29
Mapa 5 km 225,5 – km 291,7	19	8	1	2	1		31
Mapa 6 km 291,7 – km 365,5	25	6		1			32
Mapa 7 km 365,5 – km 422,2	14	9	5	2	1		31
Mapa 8 km 422,2 – km 486,1	21	2					23
Mapa 9 km 486,1 – km 542,0	19	6	2				27
Mapa 10 km 542,0 – km 592,6	5	1	2				8
Mapa 11 km 592,6 – km 643,8	6	1					7
Mapa 12 km 643,8 – km 730,8	13	6	2	2			23
<b>Total geral</b>	<b>162</b>	<b>49</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>242</b>

### 3.3. Escolha dos pontos amostrais

Como solução para a escolha dos pontos amostrais para a coleta de dados foi adotado o método estatístico de amostra estratificada proporcional sistemática, para elencar a quantidade de pontos de coleta (amostra) que fosse representativa do total de pontos (população) identificados. Esse método permitiu escolher amostras, dentro de cada ordem dos rios, em que todos os pontos (população) tiveram a probabilidade (não nula) de ser incluída na amostra. Inicialmente, os itens da população foram ordenados por ordem dos rios (estratificada), criando-se subamostras e um ponto de partida aleatório foi sorteado. Então, cada k-ésimo membro da subamostra foi selecionado para a amostra. Com isso, chegou-se a um total de 85 pontos (amostra) que seriam visitados, visando coletar dados para a análise limnológica. Mesmo assim, estes pontos sofreram alterações no momento efetivo da coleta, quando se observava a

inexistência de água em alguns cursos d'água, quando, então, foram adicionados outros pontos amostrais, obedecendo ao mesmo critério inicial, mas sofrendo alteração. Ao final, o total passou a ser de 82 pontos amostrais. Os pontos que de fato foram visitados estão descritos no Anexo 1. Os dados relacionados ao mapa de identificação dos pontos de interseção possibilitaram identificar as coordenadas geográficas de cada amostra com as quais se foi a campo para a coleta dos dados estabelecidos.

Após a identificação dos pontos amostrais, as coordenadas geográficas correspondentes a cada ponto foram inseridas no GPS, marca Garmin, modelo eTrex Vista HCx, com o qual se foi a campo.

#### **3.4. Amostragens da água**

As coletas foram realizadas em dois períodos distintos, de 21/09/2011 a 09/10/2011 e de 08 a 23/03/2012. Foram elaboradas planilhas para registrar dados que possibilassem identificar e caracterizar qualitativa e quantitativamente os pontos amostrais.

Os critérios estabelecidos para a coleta de dados, visando à análise de qualidade de água, levaram em consideração as particularidades de cada ponto, em que, em rios de maior ordem, mais caudalosos, buscou-se coletar água em três profundidades distintas, nos intervalos de 0,00 a 0,50 m; de 0,50 a 1,00 m e acima de 1,00 m da subsuperfície e em dois pontos distintos, a montante e a jusante ao local da interseção. Para cursos d'água com profundidade acima de 0,50 m, a coleta se deu com o emprego de um frasco de vidro ao qual foi adaptado um peso em sua base externa, para facilitar seu afundamento e, ainda, uma rolha presa a um barbante que só era retirada quanto o frasco atingia a profundidade desejada. Em cursos d'água com pouca profundidade, coletou-se

água em três pontos distintos, nas margens e no meio do curso, a montante e a jusante da interseção.

A aferição do oxigênio dissolvido (OD) se deu com a imersão da sonda do oxímetro diretamente no corpo d'água. Para aferição do OD, foi utilizado o aparelho de fabricação YSI – Incorporated Yellow Springs, Ohio 45387 USA, modelo 55-12FT. Este mesmo aparelho permitiu aferir a temperatura local.

Para a aferição dos demais índices pesquisados, a água foi coletada e acondicionada em um frasco com capacidade para 400 ml, protegidos em sacos plásticos pretos até o momento da aferição final, o que ocorreu ali próximo, no tempo necessário para a montagem dos aparelhos em local protegido. Quanto aos frascos de coleta, depois de conferidos os índices pesquisados, eles foram lavados com água destilada para evitar a mistura de águas de pontos distintos e assim não influenciar os dados em aferição.

Para a aferição do pH, se utilizou o aparelho de fabricação Quimis, número de série 11030440, calibrado pela empresa Vermehren Serviços Ltda., com certificado de calibração nº C1833/12. Para conferência do pH, mergulhou-se a sonda do pHmetro em cada frasco contendo água coletada em cada ponto amostral e se esperou estabilizar a leitura no visor do aparelho, quando, então, se procedeu o devido registro do valor lido.

A turbidez foi aferida com o aparelho de fabricação da Solar Instrumentação, modelo SL 2K, que tem uma cavidade onde foi inserido o frasco de vidro com capacidade de 25 mL, contendo a água cuja turbidez será aferida. Ao término de cada aferição, o frasco foi lavado com água destilada para que não houvesse mistura das águas coletadas.

A conferência da condutividade elétrica da água dos pontos amostrais se deu com o emprego do aparelho portátil da marca LS-Logen Scientific, modelo CD 300, número de série 8781/906. A aferição se deu com a imersão da sonda

diretamente no frasco onde se coletou a água e o posterior registro dos dados lidos no visor do condutivímetro.

Todos os aparelhos utilizados para a conferência dos fatores físicos químicos da água nos diversos pontos amostrais foram locados junto à empresa Ytrium Consultoria Ambiental, os quais possuem certificado de calibração emitido pela empresa Vermehren Serviços Ltda.

Para a estimativa da velocidade do fluxo, foi utilizado o sistema da bolinha livre, cuja velocidade de deslocamento em um determinado espaço foi aferida através de cronômetro portátil.

Os dados relacionados ao posicionamento global de cada ponto amostral foram coletados com aparelho de GPS, eTrex Vista HCx, da Garmin.

### **3.5. Análise estatística**

O experimento consistiu de um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, composto de cinco fatores qualitativos: ordem do rio (níveis 1, 2 e 3), tributário (níveis Purus e Madeira), tipo de construção (ponte ou bueiro), posição (níveis a montante e a jusante) e estação (seca e cheia).

Devido aos fatores não controlados, podendo-se citar a época da estiagem, quando, em alguns pontos amostrais, não foi possível se fazer mais de uma coleta, ou, mesmo, a inexistência de água para análise, o experimento é considerado desbalanceado (número de repetições diferentes para cada tratamento), tendo sido constatados alguns casos extremos de desbalanceamento (perda completa de um tratamento). Isso implicou em um experimento que precisou ser analisado de forma diferenciada da tradicional.

As variáveis respostas analisadas foram condutividade, oxigênio dissolvido, pH e turbidez. Procedeu-se à análise de variância para dados

desbalanceados. Yates (1934) apud Montgomery (2005) recomendam o uso de Soma Quadrada tipo III para os referidos dados.

Como os dados são desbalanceados, tornou-se necessário utilizar o método de comparação múltipla Tukey-Kramer (KRAMER, 1956) para a estimação e comparação das médias (em que a análise de variância indique que existe diferença significativa entre as médias, pelo teste F, a 5% de significância).

Vale ressaltar que, como o experimento possui tratamentos inexistentes, ou seja, existem pontos nos quais somente foi possível fazer coleta no período de cheia, ou somente em um ponto quando no momento da vazante, algumas interações não foram possíveis de serem estimadas e, consequentemente, a análise de variância não apresentou todas as interações possíveis.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O processamento das imagens visando obter a ordem hierárquica permitiu identificar seis ordens de rios ao longo dos 730 km da BR 319, porém, as análises foram restritas a cursos d'água de ordem 1, 2 e 3, após identificar a maior incidência destas ordens ao longo do percurso estudado.

Os tipos de obras de artes construídas, característica qualitativa, com o objetivo de transpor os cursos d'água, identificados na fase de campo, foram separados de acordo com o tipo de material utilizado na sua construção, resultando em ponte de concreto ou de madeira e bueiro metálico ou de concreto, mas os dados finais foram agrupados em apenas ponte ou bueiro.

Inicialmente, apresentam-se e discutem-se condições limnológicas em seus parâmetros físico-químicos de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH e turbidez nos diversos tributários do rio Purus e rio Madeira que são interseccionados pela BR 319, apresentados nas figuras e tabelas a seguir.

Na Tabela 2 constam os valores médios dos parâmetros avaliados quanto às características ambientais, em função das variáveis qualitativas identificadas: bacia tributária à qual o curso d'água pertence, tipo de construção existente no local de interseção, ordem do rio, posição da coleta em relação à interseção e em que estação se deu a coleta, findando com a média geral.

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros ambientais avaliados nos pontos amostrais em relação à interseção da BR 319 com a rede hidrográfica, em função das variáveis qualitativas: tributário ao qual o curso d'água pertence, tipo de construção utilizada para transpor o curso d'água, ordem do rio, posição da coleta em relação ao ponto de interseção, estação do ano e média geral aferida.

Par.	Tributário		Construção		Ordem dos rios			Posição		Estação		Média Geral
	Purus	Mad.	Ponte	Bueiro	1	2	3	Mont.	Jusante	Seca	Cheia	
<b>pH</b>	5,4± 0,3	5,3± 0,5	5,3± 0,4	5,4± 0,5	5,4± 0,4	5,3± 0,5	5,3± 0,5	5,2± 0,4	5,4± 0,5	5,6± 0,52	5,21± 0,4	5,4± 0,3
	6,0± 4,8	6,5± 4,4	5,9± 3,0	7,0± 5,7	6,4± 5,2	6,0± 2,3	7,1± 3,5	6,5± 4,9	6,3± 4,3	6,8± 3,3	6,1± 5,2	6,4± 0,4
<b>OD</b>	9,5± 8,3	11,2± 7,3	10,2± 6,2	11,4± 8,9	10,7± 8,0	11,4± 7,4	10,1± 6,0	10,1± 6,4	11,2± 8,2	12,5± 8,96	9,63± 6,3	10,5 0,9
	54,5± 104,6	55,4± 97,7	62,5± 105,5	47,1± 91,5	70,1± 117,2	30,4± 50,9	23,8± 10,5	35,8± 70,2	66,8± 111,6	97,8± 140,9	23,5± 10,7	51,6± 21,5
<b>CE.</b>	26,2± 1,9	26,7± 2,6	25,9± 2,1	27,4± 2,7	26,7± 2,3	26,5± 2,6	26,8± 3,2	26,6± 2,8	26,6± 3,0	28,0± 2,9	25,5± 1,4	26,6± 0,6
	0,37± 0,2	0,39± 0,3	0,37± 0,2	0,42± 0,3	0,38± 0,2	0,40± 0,2	0,41± 0,4	0,4± 0,2	0,38± 0,3	0,17± 0,1	0,46± 0,3	0,37± 0,1
<b>Vel.</b>												

\*Legenda: Par (Parâmetros); Mad. (Madeira); Mont (montante); OD (oxigênio dissolvido mg.L<sup>-1</sup>); Cond. (Condutividade elétrica µs.cm<sup>-1</sup>); Turb. (turbidez NTU); Temp. (temperatura °C); Vel. (velocidade ms<sup>-1</sup>).

A média mínima do pH da água foi de 5,2, na posição montante aos pontos amostrais e a máxima atingida foi de 5,6, na estação seca. Em relação a tributário, construção, ordem e posição, a média variou de 5,3 a 5,4, tendo a média geral entre eles sido de 5,4. Para as médias amostrais observadas nos tributários estudados, que são rios de águas pretas nos quais a presença de matéria orgânica (ácidos fúlvicos e húmicos) produzida a partir da decomposição das florestas que são lixiviadas para as águas se enquadram em águas ácidas, segundo Zillmer, Varella e Rossete (2007).

Quanto ao parâmetro oxigênio dissolvido (OD), a média variou de 5,9 mgL<sup>-1</sup> a 7,1 mgL<sup>-1</sup>, tendo como média geral 6,4 mgL<sup>-1</sup>, para todos os tributários amostrados ao longo dos 730 km da BR 319. A média do OD foi menor para o período de cheia, o que pode ser atribuído à menor velocidade do fluxo, visto que o OD da água sofre influência de vários fatores, podendo-se citar as características hidráulicas do local de estudos. Os intervalos médios aferidos nesta pesquisa estão dentro do intervalo identificado por Campos (1984) que, em sua análise físico-química de alguns cursos d'água cortados pela BR174, no Amazonas, identificou o intervalo de 3,4 mgL<sup>-1</sup> a 9,1 mgL<sup>-1</sup>.

Em se tratando de condutividade elétrica (CE), aferiu-se a média mínima de 9,5  $\mu\text{scm}^{-1}$  para o tributário Purus e a maior média, de 12,52  $\mu\text{scm}^{-1}$ , para a estação seca, com média geral de 10,5  $\mu\text{scm}^{-1}$ . A elevação da CE no período de seca pode ser atribuída à elevação da concentração de partículas em suspensão e/ou da temperatura nos pontos de coleta onde foi comum se deparar com sistemas lênticas ou águas empoçadas. Os dados aferidos nesta pesquisa estão próximos aos relatados por Horbe e Oliveira (2008) que, em estudos nas águas pretas no nordeste do Amazonas, obtiveram resultados médios de 11,43  $\mu\text{scm}^{-1}$  para a condutividade.

A turbidez foi um parâmetro que, para os tributários Purus e Madeira, resultou na média de 54,5 NTU e 55,4 NTU, respectivamente. Envolvendo todas

as variáveis, a média geral foi de 51,6 NTU, tendo como média mínima 23,5 NTU para o período de cheia e máxima de 97,8 NTU para o período de seca. Em um mesmo estudo, Affonso, Barbosa e Novo (2011), caracterizando os lagos de inundação na Amazônia Central em períodos de águas altas, identificaram valor médio de 8,74 NTU, com variação de 0,50 NTU a 31,30 NTU. No mesmo estudo, para os períodos de águas baixas, foi registrado valor médio geral de 60,42 NTU, tendo, para o ano de 2008 a média sido de 23,82 NTU e, para o ano de 2010, a média geral foi de 96,46 NTU. Observa-se que a turbidez identificada na pesquisa atual tem ampla variação, se assemelhando ao identificado por Affonso, Barbosa e Novo (2011).

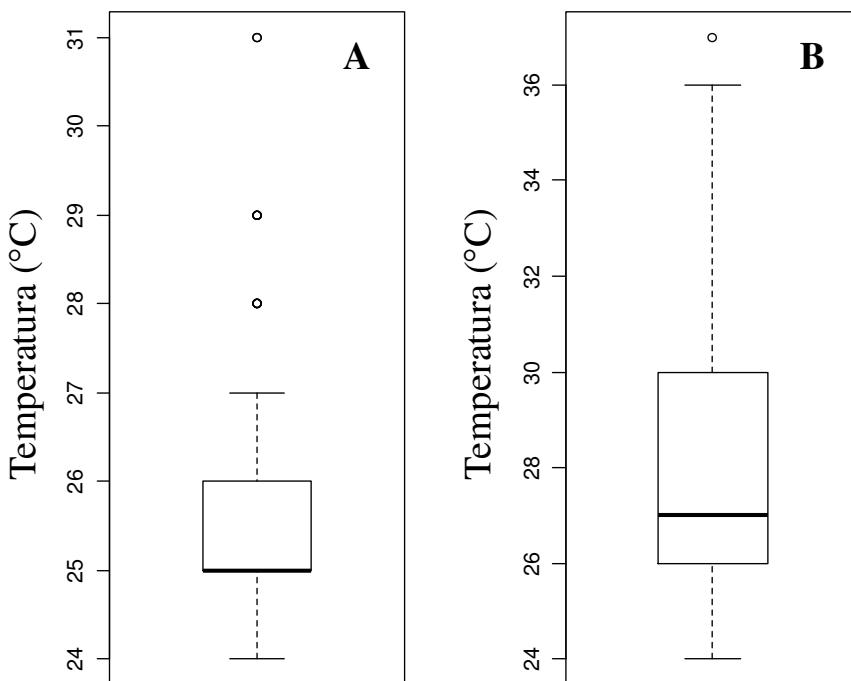
A temperatura e a velocidade dos cursos d'água foram aferidas ao longo da pesquisa, no entanto, os dados obtidos não sofreram tratamentos estatísticos.

Na Tabela 2 se observa que a média geral para a temperatura envolvendo todos os dados amostrais foi de 26,6°C, tendo a mínima temperatura aferida sido de 25,5 °C, no período da cheia e a máxima, de 28,0 °C, no período de seca. Embora os tributários pertençam a bacias hidrográficas distintas, Purus e Madeira, mesmo assim, as médias das temperaturas são próximas. Em se tratando do tipo de construção, os dados numéricos absolutos diferem entre si em 1,5 °C. Com relação à ordem dos cursos d'água, se verifica uma proximidade em suas médias.

Em relação à amplitude da temperatura, na Figura 3 se verifica que, na seca, há uma amplitude na sua variação, de 24,0 °C a 37,0 °C; já no período de cheia, a amplitude é de 24,0°C a 31,0°C. A temperatura mínima para os dois períodos leva a deduzir que alguns cursos d'água se apresentaram em condições ambientais semelhantes nos dois períodos, porém, para as máximas temperaturas há uma diferença expressiva entre si. A ocorrência de maiores temperaturas se comprovou onde as águas tinham pouca fluidez, formavam poças ou lagos (Figura 6), favorecendo seu aquecimento, pelo fato de a temperatura estar

relacionada à incidência dos raios solares, sendo diretamente proporcional a área da superfície exposta (MAIER, 1987). Esta ocorrência, por se tratar de estudo próximo às nascentes de tributários do rio Purus e Madeira, dada a incidência de tributários de ordem 1, é uma situação que requer especial atenção ,visando manter o equilíbrio da biodiversidade local. Em outros estudos relacionados à temperatura das águas na região, Bernardi et al. (2009) identificaram a média de 28,0 °C, para o período de seca e de 29,5 °C, para o período de cheia do rio Madeira. Villamizar (2008) encontrou valores médios de 30,94 °C e 30,27 °C, para lagos e rios de água preta, no período da seca. Affonso, Barbosa e Novo (2011), estudando caracterização de lagos de inundação na Amazônia, para o período de águas baixas, identificaram valores de temperatura média de 31,22 °C, variando de 27,98 °C a 33,91 °C; para o ano de 2008, a média foi de 31,31 °C, variando de 29,24 °C a 33,60 °C e, para 2010, constataram média de 31,33 °C, variando de 28,80 °C a 34,70 °C.

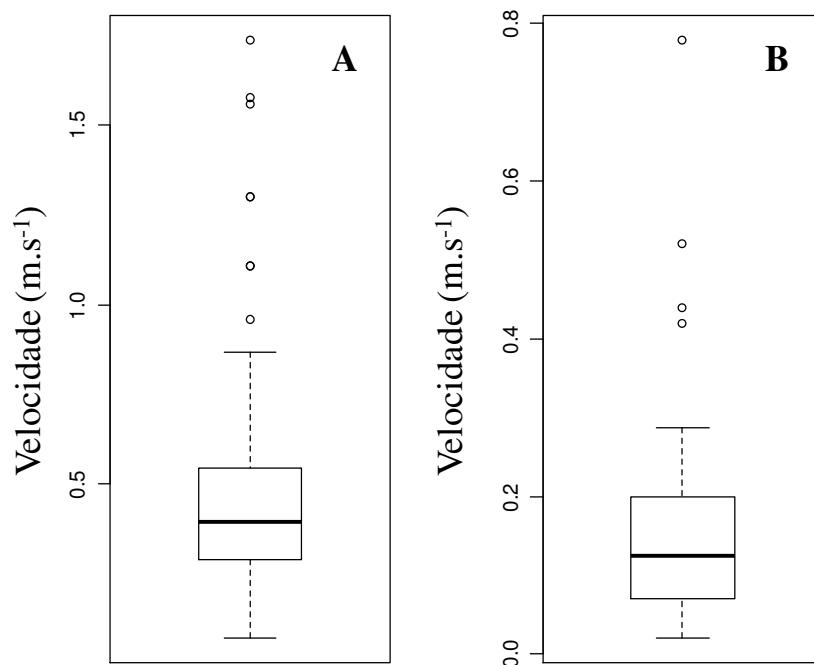
Assim, se observa que as maiores temperaturas encontradas nesta pesquisa se assemelham às temperaturas de águas de lago, como encontrado por Afonso, Queiroz e Novo (2011), que são ambientes de águas represadas e que, em período de seca, apresentam valores mais elevados, como citado por Arcova e Cicco (1999), ressaltando mais uma vez a necessidade de se adotar maiores cuidados quando da realização de obras visando ultrapassar os talvegues para que as mesmas não se tornem fator de contribuição para a elevação de temperatura dos cursos d'água.



**Figura 3.** Média geral, desvio padrão, erro padrão da média e *outliers* para a variável temperatura nos tributários dos rios Madeira e Purus, ao longo da BR 319, na estação cheia (A) e na estação seca (B).

Para a velocidade, de acordo com os dados da Tabela 2, a média aferida foi de  $0,37 \text{ ms}^{-1}$ , tendo a menor sido de  $0,17 \text{ ms}^{-1}$ , para o período de seca e a maior, de  $0,46 \text{ ms}^{-1}$ , para o período de cheia. Para o período de seca (Figura 4), o intervalo ou a amplitude de variação da velocidade foi de  $0,04 \text{ ms}^{-1}$  a  $0,78 \text{ ms}^{-1}$  e, no período de cheia, foi de  $0,07 \text{ ms}^{-1}$  e a  $1,74 \text{ ms}^{-1}$ . Em estudos no mesmo interflúvio, Barros (2008) identificou intervalos de velocidade variando de  $0,99 \text{ cms}^{-1}$  a  $24,1 \text{ cms}^{-1}$  (ou  $0,0099 \text{ ms}^{-1}$  a  $0,241 \text{ ms}^{-1}$ ), para igarapés no sul do Amazonas e de  $2,49 \text{ cms}^{-1}$  a  $15,81 \text{ cms}^{-1}$  (ou  $0,0249 \text{ ms}^{-1}$  a  $0,1581 \text{ ms}^{-1}$ ), para bacias localizadas ao norte do interflúvio dos rios Purus e Madeira, o que permite inferir que os dados obtidos nas duas pesquisas se assemelham. Não se

pode atribuir à construção da estrada o bônus pela estagnação e obstrução de alguns cursos d'água, mas também não se pode rejeitar tal hipótese, pelo fato de terem sido identificados restos de obras, especialmente tubulões e, ainda, pontes antigas sem uso, obstruindo o leito dos igarapés e rios, contribuindo para a obstrução dos cursos d'água pesquisados.



**Figura 4.** Média geral, desvio padrão, erro padrão da média e *outliers* para a variável velocidade nos tributários dos rios Madeira e Purus, ao longo da BR 319, na estação cheia (A) e na estação seca (B).

#### 4.1. Comparação do efeito da rodovia sobre os parâmetros físico-químicos da água

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados da análise de variância (ANOVA) da interação entre os fatores qualitativos e variáveis ambientais, quantitativos.

**Tabela 3.** Resumo das análises de variância (ANAVA) para as variáveis condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), pH e turbidez das águas dos tributários Purus e Madeira, em 5% .

Fonte de variação	Valor de p			
	CE	OD	pH	Turbidez
<b>Posição</b>	0,6923ns	0,8566ns	0,4197ns	0,0351*
<b>Estação</b>	0,038**	0,6704ns	0,0039*	0,0275**
<b>Tributário</b>	0,0819ns	0,0976ns	0,4736ns	0,0320*
<b>Ordem</b>	0,4884ns	0,3977ns	0,9534ns	0,0036*
<b>Construção</b>	0,4754ns	0,713ns	0,0324**	0,0374**
<b>Estação*Ordem</b>	0,9491ns	0,5879ns	0,6244ns	0,3524ns
<b>Posição*Estação</b>	0,5144ns	0,4692ns	0,7175ns	0,1522ns
<b>Ordem*Construção</b>	0,0427***	0,2373ns	0,0240***	0,8556ns
<b>Posição*Tributário</b>	0,4673ns	0,8992ns	0,5965ns	0,1566ns
<b>Posição*Construção</b>	0,7686ns	0,6933ns	0,8744ns	0,7790ns
<b>Estação*Construção</b>	0,4639ns	0,1157ns	0,8475ns	0,7850ns
<b>Posição*Ordem</b>	0,7853ns	0,8876ns	0,6244ns	0,9497ns
<b>Tributário*Estação</b>	0,1008ns	0,2990ns	0,2631ns	0,4594ns
<b>Tributário*Ordem</b>	0,3947ns	0,8188ns	0,3309ns	0,3070ns
<b>Tributário*Construção</b>	0,5267ns	0,9023ns	0,0030***	0,6080ns
<b>Posição*Ordem*Construção</b>	0,9579ns	0,9605ns	0,8161ns	0,9977ns
<b>Estação*Ordem*Construção</b>	0,1164ns	0,8133ns	0,6124ns	0,9660ns
<b>Posição*Estação*Construção</b>	0,5873ns	0,8956ns	0,9450ns	0,9565ns
<b>Posição*Estação*Ordem</b>	0,9212ns	0,8491ns	0,9382ns	0,9640ns
<b>Tributário*Ordem*Construção</b>	0,2963ns	0,0257***	0,0003*	0,3581ns
<b>Posição*Tributário*Estação</b>	0,8993ns	0,5974ns	0,9128ns	0,2268ns
<b>Posição*Tributário*Ordem</b>	0,8195ns	0,9421ns	0,9212ns	0,9683ns
<b>Tributário*Estação*Ordem</b>	0,7554ns	0,3529ns	0,7014ns	0,9839ns
<b>Posição*Tributário*Construção</b>	0,7763ns	0,9430ns	0,7523ns	0,7344ns
<b>Tributário*Estação*Construção</b>	0,0015***	0,1898ns	0,7600ns	0,9173ns
<b>Posição*Tributário*Ordem*Construção</b>	0,9794ns	0,8609ns	0,6825ns	0,7900ns
<b>Tributário*Estação*Ordem*Construção</b>	<b>0,0097*</b>	0,6925ns	0,8087ns	0,1138ns
<b>Coeficiente de variação</b>	<b>25,75</b>	<b>10,83</b>	<b>8,76</b>	<b>26,93</b>
<b>Média</b>	<b>10,5</b>	<b>6,4</b>	<b>5,4</b>	<b>51,6</b>

Legenda: \* pelo teste F, foi significativo, a 5%; \*\* O fator foi significativo a 5%, pelo teste F e, como existem apenas duas médias, não houve necessidade de testes de comparação de média (a critério do autor); \*\*\* O fator foi significativo, a 5%, pelo teste F, mas a comparação de médias por Tukey-Kramer não foi possível, pois, devido a tratamentos faltantes, o método não consegue estimar as médias por mínimos quadrados; ns – não significativo. Condutividade elétrica (CE) em  $\mu\text{s/cm}$ ; oxigênio dissolvido (OD) em  $\text{mg/l}$ ; potencial hidrogênico (pH); Turbidez em NTU.

É possível observar que, para a variável CE, houve influência da interação tributário\*estação\*ordem\*construção. Para a variável OD, houve interação significativa, mas a comparação de médias por Tukey-Kramer não foi possível, pois, devido a tratamentos faltantes, o método não consegue estimar as

médias por mínimos quadrados. Inferir sobre o simples valor médio da amostra seria uma maneira de tirar conclusões equivocadas para a população da qual foram coletadas as amostras. Em suma, pode-se afirmar que as médias são distintas, todavia, não há como estimá-las para saber qual difere da outra. Para os valores de pH, houve influência da variável estação e da interação tributário\*ordem\*construção. A variável turbidez, por sua vez, sofreu influência das variáveis estação, posição, tributário, ordem e construção.

#### **4.1.1. Condutividade elétrica (CE)**

A condutividade elétrica (CE) está relacionada à capacidade da água de transmitir corrente elétrica, dizendo respeito à presença de substâncias dissolvidas, sendo dissociadas em ânions e cátions. Na Tabela 3 se observa que, individualmente, os fatores posição, estação, tributário, ordem e construção não apresentaram resposta significativa para a CE, permitindo dizer que os resultados obtidos não são reflexos diretos destes fatores, exclusivamente.

Mas, a variável CE foi significativa, a 5%, pelo teste F, para a interação quádrupla de tributário\*estação\*ordem\*construção. Assim, se mostrou necessário identificar quais situações verdadeiramente contribuíram para alterar a CE e, então, se procedeu à comparação de médias pelo método Tukey-Kramer, cujos resultados constam no Quadro 1.

**Quadro 1:** Dados adotados para o teste de média em relação à CE, pelo método de Tukey-Kramer para dados desbalanceados ( $\alpha = 5\%$ ), considerando os dados qualitativos identificados na interseção da BR 319 com a rede de drenagem no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas.

Tributário	Estação	Ordem	Construção	MMQ	Item (i)
Purus	Cheia	1	Ponte	0,40504049	1
Purus	Cheia	1	Bueiro	0,36482087	2
Purus	Cheia	2	Ponte	0,27512163	3
Purus	Cheia	3	Ponte	0,27231704	4
Purus	Cheia	3	Bueiro	0,51509096	5
Purus	Seca	1	Ponte	Não estimado	6
Purus	Seca	1	Bueiro	0,29605277	7
Purus	Seca	2	Ponte	Não estimado	8
Purus	Seca	3	Ponte	Não estimado	9
Purus	Seca	3	Bueiro	Não estimado	10
Madeira	Cheia	1	Ponte	0,33046461	11
Madeira	Cheia	1	Bueiro	0,28676029	12
Madeira	Cheia	2	Ponte	0,32085916	13
Madeira	Cheia	2	Bueiro	0,28456294	14
Madeira	Cheia	3	Ponte	0,30692222	15
Madeira	Cheia	3	Bueiro	0,28051492	16
Madeira	Seca	1	Ponte	0,28017143	17
Madeira	Seca	1	Bueiro	0,29068598	18
Madeira	Seca	2	Ponte	Não estimado	19
Madeira	Seca	2	Bueiro	0,28049691	20
Madeira	Seca	3	Ponte	Não estimado	21
Madeira	Seca	3	Bueiro	0,35654598	22

Legenda: MMQ – método dos mínimos quadrados. No Quadro 2 se observa o desdobramento dos dados, com a utilização dos dados transformados da variável condutividade.

**Quadro 2:** Resumo das intercorrelações entre a condutividade elétrica e as variáveis ambientais após teste de média, tendo como variável dependente os dados transformados.

(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>1</b>	-	0,9993	0,5715	0,2739	0,9161	-	0,1869	-	-	-	0,4560	0,013*	0,5322	0,0765	0,5057	0,1785
<b>2</b>	0,9993	-	0,9561	0,8324	0,5030	-	0,8631	-	-	-	0,9981	0,3823	0,9957	0,6507	0,9839	0,7846
<b>3</b>	0,5715	0,9561	-	1,0000	0,0907	-	1,0000	-	-	-	0,9992	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>4</b>	0,2739	0,8324	1,0000	-	0,0373	-	1,0000	-	-	-	0,9901	1,0000	0,9995	1,0000	1,0000	1,0000
<b>5</b>	0,9161	0,5030	0,0907	0,0373*	-	-	0,0352*	-	-	-	0,0994	0,010*	0,0980	0,018*	0,0831	0,0281
<b>6</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>7</b>	0,1869	0,8631	1,0000	1,0000	0,0352 *	-	-	-	-	-	0,9980	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>8</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>11</b>	0,4560	0,9981	0,9992	0,9901	0,0994	-	0,9980	-	-	-	-	0,7314	1,0000	0,9606	1,0000	0,9873
<b>12</b>	0,0135*	0,3823	1,0000	1,0000	0,0100 *	-	1,0000	-	-	-	0,7314	-	0,9971	1,0000	1,0000	1,0000
<b>13</b>	0,5322	0,9957	1,0000	0,9995	0,0980	-	1,0000	-	-	-	1,0000	0,9971	-	0,9994	1,0000	0,9997
<b>14</b>	0,0765	0,6507	1,0000	1,0000	0,0182 *	-	1,0000	-	-	-	0,9606	1,0000	0,9994	-	1,0000	1,0000
<b>15</b>	0,5057	0,9839	1,0000	1,0000	0,0831	-	1,0000	-	-	-	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	-	1,0000
<b>16</b>	0,1785	0,7846	1,0000	1,0000	0,0281 *	-	1,0000	-	-	-	0,9873	1,0000	0,9997	1,0000	1,0000	-
<b>17</b>	0,0281*	0,4486	1,0000	1,0000	0,0108 *	-	1,0000	-	-	-	0,8348	1,0000	0,9956	1,0000	1,0000	1,0000
<b>18</b>	0,0572	0,6404	1,0000	1,0000	0,0181 *	-	1,0000	-	-	-	0,9605	1,0000	0,9998	1,0000	1,0000	1,0000
<b>19</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>20</b>	0,0610	0,5841	1,0000	1,0000	0,0152 *	-	1,0000	-	-	-	0,9310	1,0000	0,9983	1,0000	1,0000	1,0000
<b>21</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>22</b>	0,9986	1,0000	0,9896	0,9535	0,4951	-	0,9833	-	-	-	1,0000	0,8415	0,9999	0,9214	0,9990	0,9498

Legenda: (i) Intercorrelação de i. \* Significativo, pelo teste F, a 5% de significância.

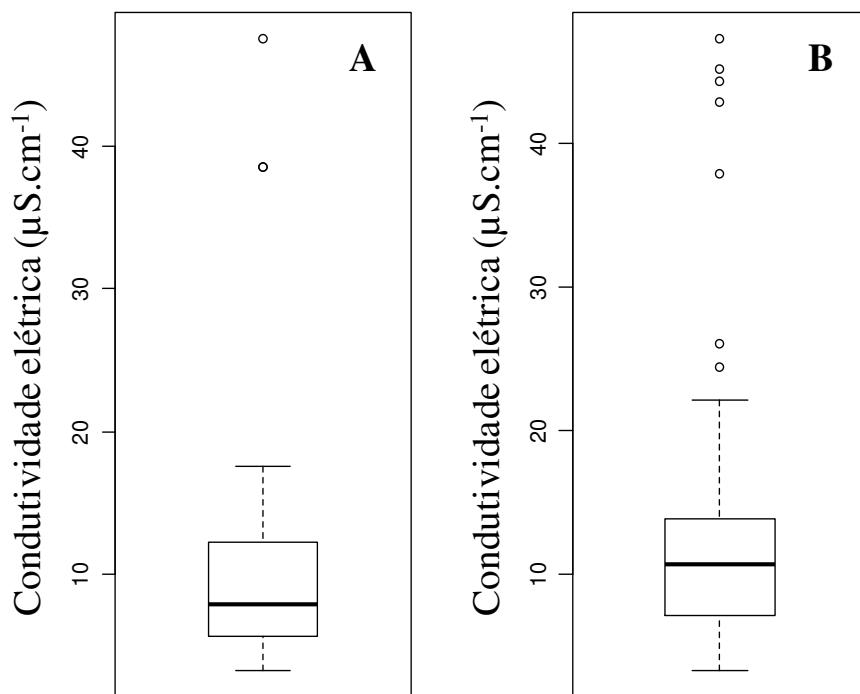
Após os testes estatísticos e seu desdobramento, se observou que a CE apresentou resposta significativa, a 5%, para as interações entre os fatores qualitativos. A situação 5 ( Purus, cheia, ordem 3, bueiro) foi a mais expressiva, estando presente em 80% das interações, ou seja, esta situação interagiu com as situações 4, 6, 7, 12, 14, 16, 17, 18 e 20.

Quando se trata de tributários, ou seja, para qual bacia hidrográfica o curso d'água flui, Purus ou Madeira, se observa que a interação entre os dois esteve presente em 80% dos casos. Isto é, a interação com a CE independe de a qual bacia hidrográfica o curso d'água pertença.

Observando-se as demais situações, verificou-se que a interação bueiro\*bueiro esteve presente em 60% dos testes. No levantamento dos dados em campo, se verificou que bueiro está presente em 51% dos casos adotados para transpor os cursos d'água. Ou seja, a quantidade de pontes e bueiros construídos ao longo da BR 319 é aproximadamente igual.

Quanto se observa a amplitude da CE, na Figura 5, verifica-se que houve variação no intervalo de  $3,0 \mu\text{Scm}^{-1}$  a, aproximadamente,  $47,0 \mu\text{Scm}^{-1}$ . No período de seca se obteve média de  $12,5 \mu\text{Scm}^{-1}$  e no de Cheia, média de  $9,6 \mu\text{Scm}^{-1}$ (Figura 5). Em outros estudos foram constatadas diferenças para as CEs aferidas, como citado por Bernardi et al. (2009) que, para o rio Abunã, afluente do Madeira, observaram média de  $10,9 \mu\text{Scm}^{-1}$  e  $19 \mu\text{Scm}^{-1}$ , para cheia e seca, respectivamente. Na mesma Figura 5 se constata que, na cheia, foram poucas as incidências de CE superiores a  $20,0 \mu\text{Scm}^{-1}$ , mas, para a seca, foram constatadas muitas ocorrências para esta situação. Tal fato está relacionado à redução da vazão na seca, quando há um aumento de concentração de sais na água. Outra situação observada, que explica os valores aferidos, diz respeito aos pontos de coleta, pontos amostrais, que, em alguns casos, resultaram em ambientes nos quais as águas se apresentavam turvas, indicando a presença de material em suspensão, aparentando tratar-se de momentos ligeiramente posteriores às

chuvas isoladas da região que, em função dos solos expostos (figura 6), carreou materiais para os cursos d'água, aumentando, assim, as partículas dissolvidas na água e, consequentemente, a capacidade da água em conduzir corrente elétrica. Pode-se dizer, ainda, que os valores encontrados nesta pesquisa são condizentes com o apontado por Arcova e Cicco (1999) que citam que a CE está diretamente ligada à concentração de íons existentes na água, com respeito à presença de nutrientes de forma iônica, podendo ser nitratos, nitritos, potássio ou fosfato total. Ainda, a CE tem variação característica, tendendo a ser menor no período de chuvas e maior no período de estiagem.



**Figura 5.** Média geral, desvio padrão, erro padrão da média e *outliers* para a variável condutividade elétrica nos tributários dos rios Madeira e Purus,, ao longo da BR 319 na estação cheia (A) e na estação seca (B).

Quanto à ordem dos cursos d'água, se observa que não há relação direta ordem/CE. Para a ordem 1, a CE aferida foi de  $10,7 \mu\text{Scm}^{-1}$ ; para a ordem 2, foi de  $11,4 \mu\text{Scm}^{-1}$  e, para a ordem 3, foi de  $10,1 \mu\text{Scm}^{-1}$ , não se verificando a influência deste fator na CE.

O rio Purus se apresentou com um menor número de tributários e com CE média de  $11,49 \mu\text{Scm}^{-1}$  para o período de seca e de  $7,96 \mu\text{Scm}^{-1}$  para o período de cheia. Em estudos sobre lagos e rios para o período da seca na região do Purus, Villamizar (2008) obteve a média de  $25,94 \mu\text{Scm}^{-1}$  e  $15,10 \mu\text{Scm}^{-1}$ , respectivamente. No período da enchente, as médias obtidas foram de  $13,23 \mu\text{Scm}^{-1}$  e  $8,0 \mu\text{Scm}^{-1}$ , respectivamente. Ao estudar hidrogeoquímica na região do Amazonas, Oliveira (2004) identificou os parâmetros de condutividade no intervalo de  $6,8 \mu\text{Scm}^{-1}$  a  $20,8 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Affonso, Queiroz e Novo (2011), para o período de águas baixas, identificaram CE, para o ano de 2008, variando de  $61 \mu\text{Scm}^{-1}$  a  $300,9 \mu\text{Scm}^{-1}$  e, para o ano de 2010, variando de  $35 \mu\text{Scm}^{-1}$  a  $313 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Em estudos em igarapés de água preta no Amazonas, Horbe e Oliveira (2008) obtiveram, para CE, valor médio de  $11,43 \mu\text{Scm}^{-1}$ . Assim, se observa que são variáveis os valores de CE identificados para as águas da região e os estudos atuais se assemelham mais aos valores citados por Horbe e Oliveira (2008).

Na Tabela 3 se observa que o tributário ou bacia hidrográfica à qual cada curso d'água pertence, ordem dos rios, posição e estação são fatores naturais e são fatores qualitativos observados ao longo da área de pesquisa que independem da ação do ser humano. No entanto, a construção das estradas, das rodovias ou os empreendimentos lineares e suas obras de arte correntes e especiais são ações de iniciativa do homem, o qual detém conhecimentos científicos e tecnológicos que permitem viabilizar construções sustentáveis, do ponto de vista ambiental, inclusive a preservação dos recursos naturais existentes em seu entorno. Tal situação de manutenção dos recursos naturais não se observou nos pontos amostrais pesquisados ao longo da BR 319, sendo

comum encontrar solo exposto, cursos d'água assoreados, restos de obra esquecidos nos cursos d'água, ausência de mata ciliar nas áreas de preservação permanentes dos igarapés e rios estudados, como se comprova na Figura 6. Esta situação resultou em impactos negativos nos cursos d'água em função da construção da rodovia, confirmando o que citam Rosa, Buffon e Kehl (2010), quando concluíram que os impactos negativos de rodovias nas áreas de preservação permanentes são recorrentes onde as estradas são responsáveis por 13% dos casos estudados.



**Figura 6.** Situação presenciada nos pontos de coleta. A) Restos de obra no curso d'água; B) e C) solo exposto; D) ausência de vegetação na APP; E) bueiro metálico deixado no curso d'água; F) obra recente, solo exposto; G) bueiro elevado; H) bueiro semiafogado; I) bueiro sem uso abandonado no leito do curso d'água.

#### **4.1.2. Oxigênio dissolvido (OD)**

A análise de variância (ANAVA) para o oxigênio dissolvido (OD) não apresentou tratamento significativo, ou seja, nenhum dos tratamentos em estudo (posição, tributário, ordem, construção e estação) altera a variável oxigênio dissolvido, bem como nenhuma das interações entre estes tratamentos foi significativa. Assim, não há como afirmar que as construções visando transpor os cursos d'água alteraram o OD ao longo da BR 319.

Pelos dados da Tabela 2 verifica-se que, entre tributários, Purus e Madeira, o OD obteve variação média de 6,0 mgL<sup>-1</sup> e 6,5 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente. Quando se consideram os tipos de construção, os dados aferidos foram, em pontes, de 5,9 mgL<sup>-1</sup> e, em bueiro, de 7,0 mgL<sup>-1</sup>.

Quanto os cursos d'água de ordem 3, maior ordem, houve o maior índice de OD medido, 7,1 mgL<sup>-1</sup>; para as menores ordens, foi constatada ordem inversa de OD, talvez em virtude da diferença entre a velocidade da correnteza entre estes ambientes, em que a velocidade da vazão na menor ordem pode ter facilitado a troca de oxigênio com a atmosfera.

Em relação às posições a montante e a jusante, se observa que as médias se assemelham, significando que os dados obtidos não possibilitam inferir se houve alteração da qualidade química da água na posição superior ou inferior às obras de arte construídas, conforme resultado da ANAVA.

Quando se trata das estações seca e cheia, cujas médias foram de 6,8 mgL<sup>-1</sup> e 6,1 mgL<sup>-1</sup>, respectivamente, observa-se que, ao se considerar todos os dados coletados nos pontos amostrais, os resultados absolutos se assemelham. Em estudos no Amazonas, nas proximidades da rodovia BR 174, Marmos (2007) obteve, para OD, no período de águas baixas, os seguintes valores: rio Preto da Eva, 6,3 mgL<sup>-1</sup>; rio Urubu, 6,0 mgL<sup>-1</sup>; rio Cuieiras, 5,1 mgL<sup>-1</sup> e rio Tarumã Açu, 5,5 mgL<sup>-1</sup>. Para o período de águas altas, obteve: rio Preto da Eva,

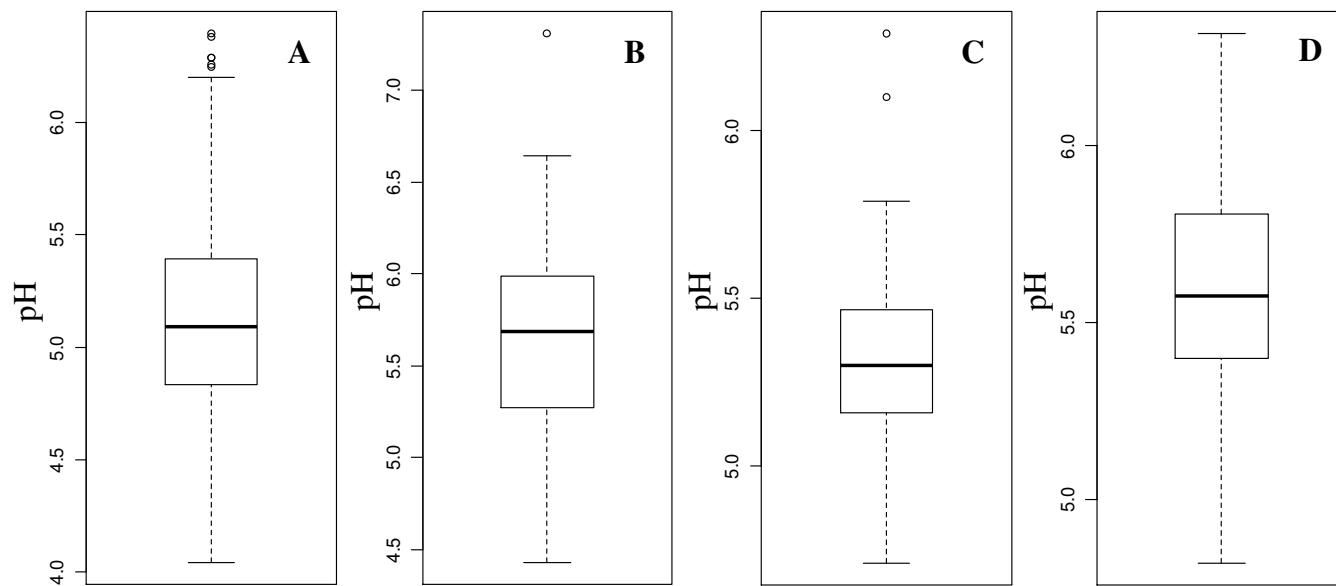
4,7 mgL<sup>-1</sup>; rio Urubu, 5,6 mgL<sup>-1</sup>; rio Cuieiras, 5,3 mgL<sup>-1</sup> e rio Tarumã Açu, 5,6 mgL<sup>-1</sup>. Em estudos realizados por Bernardi et al. (2009), para a aferição de OD no alto rio Madeira e seus tributários, foi identificada média de 5,1 mgL<sup>-1</sup> no rio Madeira e, para o rio Abunã, 4,0 mgL<sup>-1</sup>; no igarapé Caripunas, 5,5 mgL<sup>-1</sup>; para o Jatuarana, 3,7 mgL<sup>-1</sup> e para o Belmont, 4,4 mgL<sup>-1</sup> para o período de seca. Para o período de cheia, os valores aferidos foram de 7,0 mgL<sup>-1</sup> e de 7,5 mgL<sup>-1</sup>, no rio Madeira e no rio Abunã, respectivamente.

O que se observa é que, independente de estação, ordem e tributário, os ODs aferidos ao longo da BR 319 estão próximos aos identificados nos demais estudos citados.

#### **4.1.3. Potencial de hidrogênio (pH)**

Considerando os dados constatados ao longo da pesquisa, quando se trata de pH, na estação (figura 7) foi verificada elevação de suas médias, sendo maior para o período de seca e menor para cheia. Observa-se, ainda, que, na amplitude, para seca, é possível inferir leitura de pH superior a 7, o que não ocorreu na cheia. No entanto, todas as aferições comprovaram pH superior a 4.

Em estudos realizados na região, Barros (2008) identificou médias de pH de 5,6, para igarapés no sul do Amazonas e médias de 4,9 e 5,0, para bacias localizadas na parte norte do interflúvio dos rios Purus e Madeira. Considerando que o pH é uma das mais importantes variáveis ambientais (ESTEVES, 1988), mas que, por sofrer influência de muitos fatores, se torna uma das mais difíceis variáveis de se interpretar, mesmo assim é possível afirmar que os valores médios obtidos para as águas pretas estudadas enquadram os mananciais em águas ácidas, que são aquelas que sofrem influência da grande quantidade de matérias orgânicas dissolvidas (SIOLI, 1985).



**Figura 7.** Média geral, desvio padrão, erro padrão da média e *outliers* para a variável pH, nos tributários dos rios Madeira (A – na estação cheia; B – na estação seca) e Purus (C – na estação cheia; D – na estação seca), ao longo da BR 319.

Quando se faz referência às bacias hidrográficas, o pH para os tributários do Purus (figura 7) atingiu a média de 5,5, para o período de seca e de 5,2, para o período de cheia. Para os tributários do Madeira (Figura 7), a média do pH para a seca foi de 5,6 e, na cheia, foi de 5,2, o que, igualmente ao relatado por Sioli (2006), enquadra os corpos d'água em águas ácidas, porém, com médias um pouco mais elevadas que as identificadas por aquele que informa em seus relatos pH de 5,0 para o Rio Negro. Segundo estudos de Villamizar (2008), os lagos e os rios de água preta, no período da seca, atingiram médias de pH de 6,9 e 7,3 e, no período da cheia, 5,4 e 5,3, respectivamente. Ao analisarem águas e sedimentos do rio Negro, a montante de Manaus, Leenheer e Santos (1980) obtiveram valores de pH variando de 4,2 a 4,9. Ao estudarem os principais afluentes do rio Negro, Santos et al. (1984) identificaram pH de 3,6 a 5,1. Após monitorar a hidroquímica da bacia do rio Preto da Eva, Cunha, Bringel e Franken (2003) identificaram pH variando de 3,5 a 4,9. Affonso, Queiroz e Novo (2011), estudando caracterização de lagos de inundação na Amazônia Central, em períodos de águas altas, encontraram valores para pH variando de 6,3 a 7,0, no ano de 2009. Affonso, Queiroz e Novo (2011), para o período de águas baixas, identificaram valores de pH variando de 6,2 a 8,7; para o ano de 2008, variando de 6,6 a 8,1 e, em 2010, variação de 6,4 a 7,6. O que se observa é que os estudos atuais confirmaram o enquadramento dos cursos d'água estudados, água preta, em águas ácidas.

Na ANAVA (Tabela 3) se observa que, para o pH, o tratamento estação foi significativo, a 5%, pelo teste F, ou seja, influencia de alguma forma o pH.

A interação tripla entre tributário\*ordem\*construção foi significativa, a 5%, pelo teste F. Procedeu-se ao desdobramento das interações e os dados obtidos após a comparação de médias, de acordo com o indicado por Yates (1934) apud Montgomery (2005), para dados desbalanceados, se encontram nos Quadros 3 e 4. Ao se aplicar o teste de Tukey-Kramer verificaram-se diferenças

significativas a apenas 0,0645 de significância e, portanto, esta análise não foi aqui considerada.

Quadro 3. Dados adotados para o teste de média em relação ao fator pH da água, pelo método de Tukey-Kramer, para dados desbalanceados (a 5%), considerando os dados qualitativos identificados na interseção da BR 319 com a rede de drenagem no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no estado do Amazonas

<b>Tributário</b>	<b>Ordem</b>	<b>Construção</b>	<b>MMQ</b>	<b>Item (i)</b>
Purus	1	Ponte	Não estimada	1
Purus	1	Bueiro	5,52250000	2
Purus	2	Ponte	Não estimada	3
Purus	3	Ponte	Não estimada	4
Purus	3	Bueiro	Não estimada	5
Madeira	1	Ponte	5,28656250	6
Madeira	1	Bueiro	5,55979396	7
Madeira	2	Ponte	Não estimada	8
Madeira	2	Bueiro	5,48208333	9
Madeira	3	Ponte	Não estimada	10
Madeira	3	Bueiro	5,14666667	11

Legenda: MMQ – método dos mínimos quadrados

Quadro 4. Resumo das intercorrelações da variável dependente, pH, com as variáveis ambientais, independentes: tributários, ordem dos cursos d'água, tipo de construção e estação da coletas dos dados após teste de média.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2</b>	-	-	-	-	-	0,3849	0,9986	-	0,9988	-	0,1991
<b>3</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>4</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>6</b>	-	0,3849	-	-	-	-	0,0822	-	0,5430	-	0,8984
<b>7</b>	-	0,9986	-	-	-	0,0822	-	-	0,9727	-	0,0645
<b>8</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	-	0,9988	-	-	-	0,5430	0,9727	-	-	-	0,2861
<b>10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>11</b>	-	0,1991	-	-	-	0,8984	0,0645	-	-	-	0,2861

#### **4.1.4. Turbidez (NTU)**

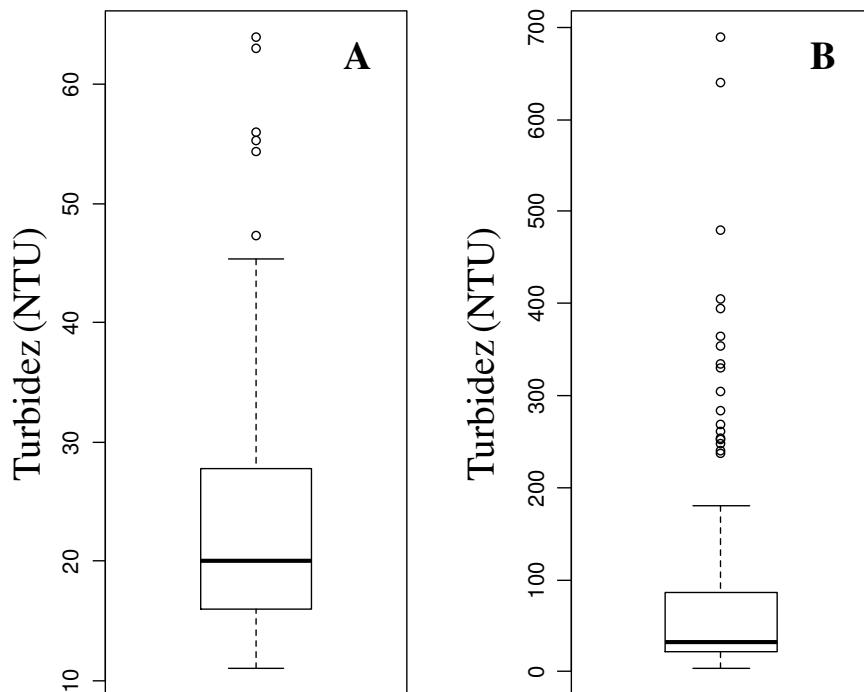
Para turbidez, os fatores posição, ordem e tributário, isoladamente, foram semelhantes, a 5% de significância, mas a comparação de médias não foi possível, devido aos tratamentos faltantes, visto que o método não consegue estimar as médias por mínimos quadrados e inferir sobre o simples valor médio seria uma iniciativa equivocada para a população da qual foram coletadas amostras. Ou seja, pode-se afirmar que as médias são distintas, todavia, não há como estimá-las para saber qual difere uma das outras.

Considerando-se os dados da Tabela 2, nas situações de ponte e bueiro, a turbidez apresentou valores médios de 62,5 NTU e 47,1 NTU, respectivamente. A realidade com maior turbidez em construções do tipo ponte pode ser explicada diante da própria história da construção, na década de 1970 e sucessivas reformas ao longo dos demais anos, quando, inicialmente, foram construídos bueiros. Ao longo dos últimos anos, muitos deles foram substituídos por pontes, mas, ao término dos serviços, os bueiros antigos foram deixados nos locais onde se encontravam, sem nenhum cuidado, como se observa na Figura 6, causando a obstrução dos cursos d'água, diminuindo a seção do curso d'água, aumentando a velocidade e a turbulência do fluxo, provocando o revolvimento dos sólidos de fundo e da lateral aos canais, tendo como consequência o aumento dos sólidos em suspensão, contribuindo para uma maior turbidez da água. Esta situação resultou em impacto negativo, por se tratar da elevação dos sólidos em suspensão, causando maior turbidez, propiciando a redução da penetração dos feixes de luz, resultando na redução da fotossíntese de algas e da vegetação enraizada submersa e na alteração da diversidade local.

Ainda de acordo com os dados da Tabela 2, para os menores cursos d'água, ordem 1, a média da turbidez foi maior, 70,1 NTU, e, para maiores cursos d'água, a média foi menor, 23,8 NTU. Esta realidade pode ser atribuída

ao fato que, nos maiores mananciais, a maior quantidade de água tenha sido favorável para a diluição dos sedimentos existentes, tendo como consequência uma menor turbidez nos pontos amostrais correspondentes.

Comparando-se os períodos de seca e de cheia (Figura 8), observa-se que há uma diferença de amplitude expressiva entre os dois períodos. Na seca, a variação se deu entre 12 NTU e 690 NTU e, na cheia, foi de 11 NTU a 64 NTU.



**Figura 8.** Média geral, desvio padrão, erro padrão da média e *outliers* para a variável turbidez nos tributários dos rios Madeira e Purus, ao longo da BR 319, na estação cheia (A) e na estação seca (B).

Em estudos realizados na região por Affonso, Queiroz e Novo (2011), no período de águas baixas, foi encontrada a média geral para turbidez de 60,4 NTU, com variação de 2,70 NTU a 565,00 NTU; para o ano de 2008, variou de

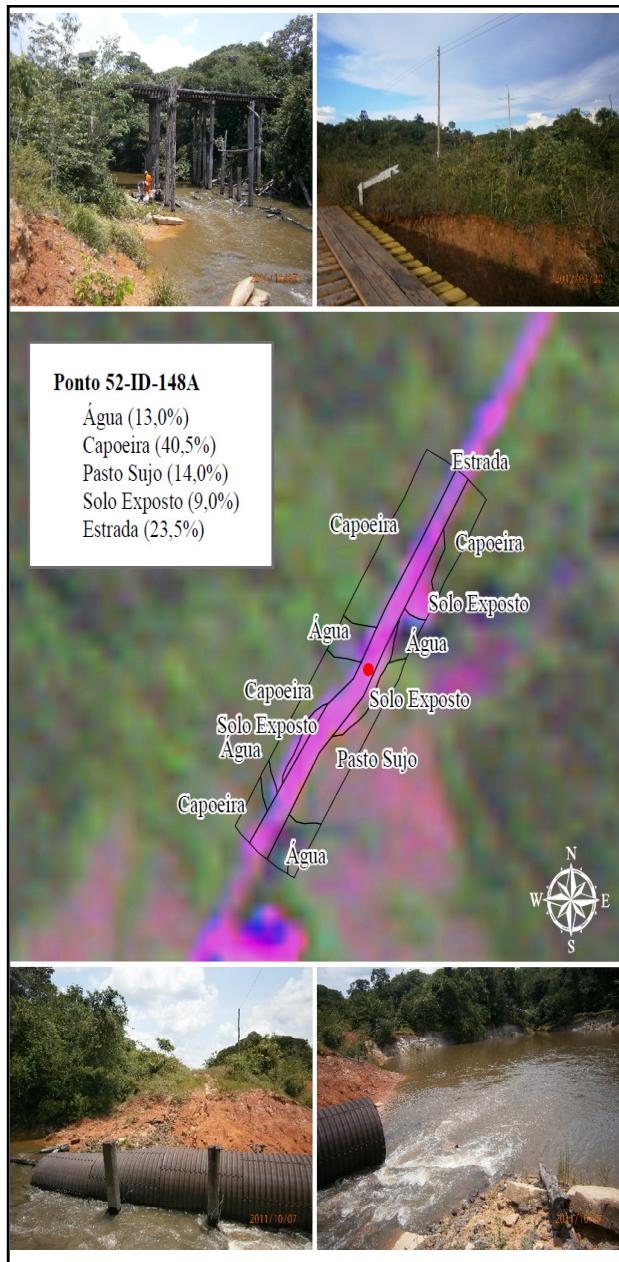
3,92 NTU a 158,90 NTU e, em 2010, a variação foi de 6 NTU a 527 NTU, comprovando-se, assim, que as amplitudes verificadas nos estudos atuais para os períodos de águas baixas sofrem variação semelhante à citada por Affonso, Queiroz e Novo (2011).

Em se tratando de aferição do fator turbidez a montante e a jusante ao ponto de interseção da rede hidrográfica com a BR 319, a aferição resultou em 35,8 NTU e 66,8 NTU, respectivamente, sugerindo que houve alteração na qualidade química da água após os pontos de construção das obras de arte. A explicação para esta fato pode se dar em face das condições presenciadas em campo (Figura 6) em que não se observaram maiores cuidados em relação à recomposição das áreas no entorno das intervenções ocorridas, sendo comum encontrar solo exposto nestes locais. A existência de solo exposto em função da construção da rede viária tem se mostrado a principal causa de sedimentos que chegam aos cursos d'água, causando efeito negativo, com aumento da turbidez e do assoreamento dos mananciais, como citado por Corrêa (2005).

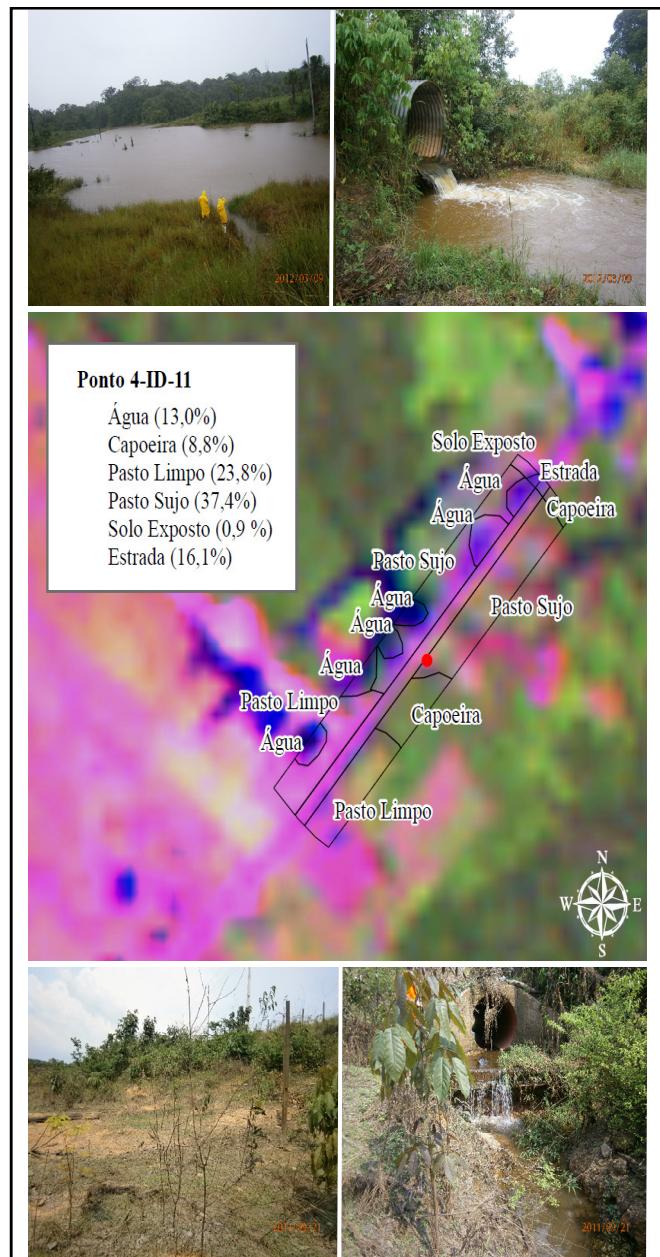
Outra situação verificada e que pode esclarecer a ocorrência de maior turbidez a jusante das interseções havidas encontra explicação nos resultados apresentados em relação ao uso e cobertura do solo no entorno dos pontos amostrais demonstrados na Tabela 4. Identificou-se que somente 5% da área é protegida por floresta, havendo maior ocorrência de vegetação do tipo capoeira (40%), onde pasto limpo, pasto sujo e solo exposto atingiram 22% da área de entorno. Observando-se as Figuras 9 e 10, em conjunto com a Tabela 4, verifica-se que os pontos de interseção da rodovia com a rede de drenagem necessitam de maior atenção na busca da manutenção das matas de suas áreas de preservação permanente, visando manter o equilíbrio dos seus ecossistemas naturais.

**Tabela 4.** Relação das classes de uso e cobertura da terra, identificadas no entorno dos 82 pontos amostrais elencados ao longo da rodovia federal BR 319, construída no interflúvio dos rios Purus e Madeira, no trecho do estado do Amazonas.

TIPO DE USO E COBERTURA	ÁREA (ha)	%
Água	130,35	8
Área urbana	2,36	0
Capoeira	645,08	40
Estrada	410,27	25
Floresta	88,06	5
Pasto limpo	139,99	9
Pasto sujo	76,79	5
Solo exposto	127,10	8
<b>Total</b>	<b>1.620,00</b>	<b>100</b>



**Figura 9.** Imagem de caracterização da área do entorno do ponto amostral identificado como 52-ID-148A e registro fotográfico do que foi constatado neste mesmo ponto, durante a expedição para coleta de dados ambientais, tendo sido encontrados restos de obras abandonados no leito dos cursos d'água.



**Figura 10.** Caracterização da área do entorno do ponto amostral identificado como 4-ID-11 e registro fotográfico do entorno deste mesmo ponto, onde se constataram água represada e área degradada no local de estudo.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos dados estudados nesta pesquisa, conclui-se que a interseção da rodovia federal BR 319 com a rede de drenagem alterou a qualidade limnológica dos cursos d'água, no indicador turbidez.

Os fatores qualitativos avaliados, ordem dos rios, tributários e construção, não influenciaram a qualidade ambiental dos cursos d'água.

Portanto, quanto à hipótese de que a interseção da BR 319 com a rede de drenagem não altera a qualidade limnológica dos cursos d'água, independente da posição, da estação, da bacia hidrográfica, da ordem dos rios e do tipo de construção, a mesma foi rejeitada.

## REFERÊNCIAS

AFFONSO, A. G.; BARBOSA, C.; NOVO, E. M. L. M. Water quality changes in floodplain lakes due to the Amazon River flood pulse: Lago Grande de Curuaí (Pará). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 3, p. 601-610, Aug. 2011. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/artigo\\_amazonia.pdf](http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/artigo_amazonia.pdf)>. Acesso em: 02 Nov. 2012.

AFFONSO, A. G.; QUEIROZ, H. L. de; NOVO, E. M. L. de M. Limnological characterization of floodplain lakes in Mamirauá Sustainable Development Reserve, central Amazon (Amazonas State Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensis**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 95-108, Jan./Mar 2011.

ARCOVA, F. C. S.; CICCO, V. de. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 125-134, dez. 1999.

**BARROS, D. de F. Efeito de bacias e de variáveis ambientais na estrutura de comunidades de peixes de igarapés na região do interflúvio Madeira-Purus.** 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém.

BERNARDI, J. V. E. et al. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes na Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.

**CAMPOS, Z. E. S. Parâmetros físico-químicos em igarapés de água clara e preta ao longo da rodovia BR-174 entre Manaus e Presidente Figueiredo-AM.** 1984. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Fundação Universidade do Amazonas, Manaus.

**CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

**CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE.** Disponível em: <[http://www\[cnt.org.br/Imagens.../BoletimEstatistico/Jan.2011.pdf](http://www[cnt.org.br/Imagens.../BoletimEstatistico/Jan.2011.pdf)>. Acesso em: 19 ago. 2011.

**CORRÊA, C. M. C. Perdas de solo e a qualidade da água procedente de estrada de uso florestal no Planalto Catarinense.** 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

**CUNHA, H. B.; BRINGEL, S. R. B.; FRANKEN, W. K.** Padrão hidroquímico dos igarapés da bacia hidrográfica do rio Preto da Eva-AM. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA AMAZÔNIA, 1., 2003, Manaus. **Anais...** Manaus: INPE, 2003. p. 1-12.

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de projeto de obras-de-arte especiais.** Rio de Janeiro: Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, 1996.

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de Rodovias.** 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/faixa-de-dominio>>. Acesso em: 14 maio 2012.

EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE. **Base de dados da missão SRTM**. New Jersey: USGS, 2008. Diponível em: <<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/>>. Acesso em: 11 fev. 2008.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Software ArcGis desktop**: version 10. Redlands: ESRI, 2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciências, 1988.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo**. SÃO PAULO: DAEE, 2005.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. Washington: United State Government Print- ting Office, 1970.

HORBE, A. M. C.; OLIVEIRA, L. G. de S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas – Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 753-760, Dec. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Ecossistemas brasileiros**. Amazônia: IBAMA, 2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/amazonia.htm>>. Acesso em: 31 out. 2011.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. **Metodologia para implantação de estradas na Amazônia**: volume 1. Brasília: DNER, 1978.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA. **Metodologia para implantação de estradas na Amazônia**: volume 3. Brasília: DNER, 1978a.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia: sumário executivo. **TerraClass**, Belém, p. 1-37, set. 2011.

KRAMER, C. Y. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. **Biometrics**, Washington, v. 12, n. 3, p. 307-310, Sept. 1956.

LEENHEER, J. A.; SANTOS, U. M. Considerações sobre os processos de sedimentação na água preta ácida do rio Negro (Amazônia Central). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, n. 2, p. 343-355, 1980.

MAIER, M. H. Ecologia da bacia do rio Jacaré-Pepira ( $47^{\circ} 55'$  -  $48^{\circ} 55'$  W;  $22^{\circ} 30'$ -  $21^{\circ} 55'$  S -Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 164-185, out./dez. 1987.

MARMOS, J. L. **Diagnóstico hidrogeoquímico do distrito agropecuário da Suframa, Municípios de Manaus e Rio Preto da Eva (AM)**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

MARTINS JÚNIOR, A. F.; WAICHMAN, A. V. Mapemaneto dos ambientes aquáticos e da cobertura da terra na Bacia do Rio Purus, Amazonas, Brasil. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 5973-5980.

MARTINS, E. S. F. et al. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6827-6834.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6. ed. Hoboken: John Wiley, 2005.

OLIVEIRA, L. G. S. **Hidrogeoquímica das bacias do Uatumã, Urubu e rios menores- Amazonas**. 2004. 45 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

PINTO, M. C. **Manual mediação in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual\\_medicoes\\_T\\_%20pH\\_OD.pdf](http://www.cprm.gov.br/pgagem/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2012.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem:** projeto geométrico, São Paulo: Cidade, 1998.

ROSA, E. M. da; BUFFON, I.; KEHL, L. G. H. Avaliação da qualidade de áreas de preservação permanente ripárias em São Francisco de Paula-Rs: uma abordagem metodológica. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 4, n. 2, p. 17-30, 2010.

SANTOS, U. M. et al. Rios da Bacia Amazônica I: afluentes do Rio Negro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 14, n. 1-2, p. 222-237, 1984.

SILVA, A. E. P. et al. Impactos da precipitação e uso do solo na qualidade da água do Rio Purus. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4867-4874.

SIOLI, H. **Amazônia:** fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Petrópolis: Vozes, 1985.

SIOLI, Harald. 50 anos de pesquisas em limnologia na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 3, p. 287-298, 2006.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Água doce.** Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1997. Cap. 14, p. 3-35.

VILLAMIZAR, E. A. R. **Caracterização das águas da bacia do rio Purus, Amazônia Brasileira Ocidental:** relações com desmatamento, clima e saneamento básico. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

YATES, F. The analysis of multiple classification with unequal numbers in the different classes. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 29, p. 52-66, 1934.

ZILLMER, T. A.; VARELLA, R. F.; ROSSETE, A. N. Avaliação de algumas características físico-químicas da água do Ribeirão Salgadinho, Nova Xavantina-MT. **Holos Environment**, Rio Claro, v.7 n.2, p. 123-138. 2007.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Relação dos pontos (pontos amostrais) para coleta de água para análise limnológica, com suas respectivas coordenadas geográficas.

Item	Amostra	Ordem	Localização	
			Latitude	Longitude
<b>1</b>	1-ID-03	4	3°17'5,1"	59°51'50,2"
<b>2</b>	2-ID-06	1	3°26'28,4"	59°59'54,2"
<b>3</b>	4-ID-11	1	3°34'14,3"	60°11'22,3"
<b>4</b>	6-ID-18	2	3°42'54,2"	60°16'36,4"
<b>5</b>	7-ID-19	1	3°43'02,8"	60°16'37,2"
<b>6</b>	7A-ID-19	5	3°49'46,5"	60°21'58,5"
<b>7</b>	8-ID-24	1	3°57'38,1"	60°31'09,1"
<b>8</b>	03-ID-29	1	4°06,590'	60°43,179"
<b>9</b>	10-ID-31	3	4°7'38"	60°44'34,6"
<b>10</b>	11A-ID-34	5	4°10'55,65"	60°48'25,1"
<b>11</b>	12-ID-37	1	4°13'18"	60°49'20,6"
<b>12</b>	13-ID-38	2	4°13'44,4"	60°49'28,9"
<b>13</b>	14-ID-43	3	4°18'49,1"	60°53'6,7"
<b>14</b>	16-ID-49	1	4°25'34,3"	61°00'43,9"
<b>15</b>	17-ID-52	1	4°27'9,9"	61°02'49,5"
<b>16</b>	19-ID-57	1	4°30'58,4"	61°07'48,5"
<b>17</b>	20-ID-60	4	4°33'27,4"	61°10'49,3"
<b>18</b>	21-ID-62	1	4°36'18,8"	61°13'37,5"
<b>19</b>	22-ID-65	2	4°39'06,6"	61°15'50"
<b>20</b>	24-ID-71	2	4°44'14,6"	61°18'11,7"
<b>21</b>	25-ID-73	1	4°46'23,1"	61°19'45,2"
<b>22</b>	27-ID-79	4	4°50'59,8"	61°24'52,8"
<b>23</b>	28-ID-80	1	4°51'45,3"	61°25'31,4"
<b>24</b>	30-ID-86	4	4°54'15,5"	61°28'01,3"
<b>25</b>	31-ID-89	2	4°56'46,1"	61°31'48,8"
<b>26</b>	32-ID-90	1	4°57'41,6"	61°33'2,6"
<b>27</b>	33-ID-93	1	5°2'51,0"	61°38'45,5"
<b>28</b>	34-ID-96	1	5°05'59,1"	61°42'11,3"
<b>29</b>	35-ID-99	1	5°9'28,2"	61°46'18,9"
Continua ...				

Continuação ...				
<b>30</b>	36-ID-102	1	5°11'36,9"	61°49'33,4"
<b>31</b>	37-ID-107	1	5°15'18,5"	61°54'05,8"
<b>32</b>	38-ID-108	2	5°15'24,3"	61°54'11,9"
<b>33</b>	39-ID-112	1	5°17'53,8"	61°57'01,3"
<b>34</b>	40-ID-114	2	5°18'23,1"	61°58'18,5"
<b>35</b>	41-ID-116	4	5°19'02,6"	62°0'00,9"
<b>36</b>	42-ID-118	1	5°19'37,7"	62°0'56,7"
<b>37</b>	43-ID-121	1	5°21'21,1"	62°02'13,1"
<b>38</b>	44-ID-124	1	5°25'27,6"	62°5'7,2"
<b>39</b>	45-ID-128	1	5°29'16,6"	62°6'54,9"
<b>40</b>	46-ID-133	1	5°33'11,4"	62°9'42,9"
<b>41</b>	47-ID-135	2	5°35'29,4"	62°11'9,7"
<b>42</b>	48-ID-136	3	5°36'36,5"	62°11'51,7"
<b>43</b>	49-ID-142	2	5°40'4,8"	62°14'3,1"
<b>44</b>	50-ID-143	1	5°41'29,9"	62°14'56,0"
<b>45</b>	51-ID-146	3	5°46'29,6"	62°18'8,7"
<b>46</b>	52-ID-148A	3	5°47'17,5"	62°18'41,5"
<b>47</b>	54-ID-151	4	5°49'02,0"	62°19'55,3"
<b>48</b>	55-ID-153	4	5°49'45,0"	62°20'36,4"
<b>49</b>	59-ID-164	1	6°01'0,6"	62°31'9,3"
<b>50</b>	60-ID-167	1	6°4'59,7"	62°33'36,9"
<b>51</b>	61-ID-170	1	6°6'30,5"	62°34'43,2"
<b>52</b>	62-ID-173	1	6°12'17,0"	62°39'43,5"
<b>53</b>	63-ID-176	1	6°15'12,4"	62°42'57,7"
<b>54</b>	64-ID-179	1	6°18'16,8"	62°45'35,4"
<b>55</b>	66-ID-182	1	6°21'49,3"	62°48'01,4"
<b>56</b>	67-ID-185	2	6°23'16,8"	62°49'36,1"
<b>57</b>	69-ID-190	3	6°25'51,0"	62°51'51,5"
<b>58</b>	71-ID-195	1	6°28'19,4"	62°53'18,5"
<b>59</b>	73-ID-201	1	6°37'25,8"	62°57'26,8"
<b>60</b>	74-ID-205	1	6°44'49,6"	62°59'42,1"
<b>61</b>	76-ID-212	2	7°5'03,9"	63°06'36,1"
<b>62</b>	79-ID-222	4	7°35'38,0"	63°10'32,8"
<b>63</b>	80-ID-223	3	7°34'25,0"	63°06'39,6"
<b>64</b>	83-ID-230	2	7°43'54,4"	63°6'48,3"
<b>65</b>	84-ID-231	4	7°46'05,9"	63°8'54,9"
<b>66</b>	86-ID-236	1	7°48'56,0"	63°11'26,1"
<b>67</b>	87-ID-238	2	7°50'44,2"	63°13'38,2"

Continua ...

Continuação...				
<b>68</b>	88-ID-242	1	7°58'11,6"	63°22'53,6"
<b>69</b>	89-ID-241	3	7°55'56,4"	63°20'07,9"
<b>70</b>	90-ID-203	1	6°40'04,0"	62°57'57,3"
<b>71</b>	92-ID-197	1	6°32'30,7"	62°56'23,5"
<b>72</b>	92-ID-191	1	6°26'15,4"	62°52'09,8"
<b>73</b>	93-ID-183	3	6°22'14,7"	62°48'28,7"
<b>74</b>	94-ID-178	1	6°17'48,9"	62°45'18,3"
<b>75</b>	95-ID-175	1	6°14'43,8"	62°42'24,3"
<b>76</b>	96-ID-169	1	6°5'34,5"	62°33'58,8"
<b>77</b>	97-ID-166	1	6°3'46,9"	62°32'51,3"
<b>78</b>	98-ID-159	2	5°54'28,7"	62°25'01,7"
<b>79</b>	99-ID-88	1	4°56'35,8"	61°31'34,8"
<b>80</b>	100-ID-44	2	4°20'52,9"	60°55'26,2"
<b>81</b>	101-ID-40	3	4°15'22,0"	60°50'14,1"
<b>82</b>	102-ID-35	1	4°12'05,3"	60°48'56,1"