UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O OXIGÊNIO DISSOLVIDO E A

MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES AQUÁTICOS DA

REGIÃO AMAZÔNICA.

LUANA MONTEIRO DA SILVA

MANAUS-AMAZONAS Janeiro-2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

LUANA MONTEIRO DA SILVA

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE O OXIGÊNIO DISSOLVIDO E A MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES AQUÁTICOS DA REGIÃO AMAZÔNICA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Química, área de concentração: Química Analítica.

Orientadora: Profª Drª Tereza Cristina Souza de Oliveira

Co - orientadora: Prof^a Dr^a Cristine de Mello Dias Machado

MANAUS-AMAZONAS Janeiro-2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAM

S586e Silva, Luana Monteiro da

Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica / Luana Monteiro da Silva. - Manaus, AM: UFAM, 2012.

108 f.: il. color.; 30 cm

Inclui referências.

Dissertação (Mestre em Química. Área de concentração: Química analítica). Universidade Federal do Amazonas. Orientadora: Prof^a Dr^a Tereza Cristina Souza de Oliveira. Co-orientadora: Prof^a Dr^a Cristine de Mello Dias Machado.

1. Água – Análise – Região Amazônica 2. Oxigênio – Análise 3. Resíduos orgânicos - Análise I. Oliveira, Tereza Cristina Souza de (Orient.) II. Machado, Cristine de Mello Dias (Co-orient.) III. Título

CDU (2007): 543.38(811)(043.3)



Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus pois sem Ele nada é possível.

À orientadora profa. Dra. Tereza Cristina Souza de Oliveira pela amizade, pelas palavras de incentivo sempre, e por guiar este trabalho com carinho, dedicação e profissionalismo.

À co-orientadora profa. Dra. Cristine de Mello Dias Machado que desde o momento que ingressou neste projeto deu todo o apoio necessário.

Ao programa de pós-graduação em Química Analítica pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Dra. Hillândia Brandão Cunha que abriu as portas do Laboratório de química ambiental – LQA do INPA/CPCRH para a realização prática deste trabalho.

À Msc. Maria do Socorro Rocha da Silva pelo convite para trabalhar no LQA/INPA pela amizade e pelo apoio sempre.

À Antônia Pinto (Toinha) por todo apoio na parte experimental e pela amizade que desenvolvemos ao longo dos dias de trabalho.

Às meninas do laboratório Tânia e Val que tornavam o trabalho divertido e agradável. E ao seu Valter pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos amigos Manoel e Vanuza que sempre me entenderam e apoiaram nas dificuldades.

Às amigas Carol e Tainã pela amizade e por sempre ouvirem os desabafos.

Às minhas tias Amanda e Adriana que sempre deram uma palavra de incentivo nos momentos mais difíceis.

Às minhas irmãs Luciana, Laís e Larissa que dão alegria à minha vida e que ouvem os ensaios para as apresentações.

Ao meu amor Adriano Jorge que sempre torceu por mim, desde o momento de estudar para a prova de seleção e que me ajuda em tudo.

Aos meus pais Ana e Josemar que tornaram isso possível.

À toda minha família pelas boas vibrações que sempre me enviam.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O oxigênio dissolvido (OD) é atuante na degradação da matéria orgânica presente na água de origem biológica, procedente de plantas mortas e restos de animais. A relação entre OD e a matéria orgânica é importante para entender os valores baixos de OD registrados na literatura em ambientes aquáticos na Amazônia. O presente trabalho visa verificar o comportamento da relação do oxigênio dissolvido com os indicadores de matéria orgânica (DBO, BQO, carbono orgânico dissolvido e pH) presente em sete rios de diferentes características químicas da Amazônia, e em um igarapé da zona urbana de Manaus-AM. Os rios estudados são os rios de água clara: Arapiuns, Tapajós e Xingu, os rios de água preta: Negro e Preto da Eva, os rios de água branca: Madeira e Solimões, e ainda comparar com o igarapé Mindu tributário do Rio Negro onde se selecionou pontos em sua nascente e em área urbana que funciona como destino de despejos de esgotos e resíduos sólidos, principalmente domésticos. As coletas foram realizadas em períodos hidrológicos de cheia e seca de 2010. Os resultados demonstram o estado de preservação dos rios quanto às suas características naturais demonstrando as diferenças entre esses rios e confirmando a heterogeneidade da Bacia Amazônica, com coeficientes de variação para os indicadores de matéria orgânica superior a 40% nas fases hidrológicas avaliadas. Nos pontos de coleta do igarapé do Mindu encontram-se características de ação antrópica, fato esperado, já que estes se situam em área de ocupação urbana, portando notam-se variações nos parâmetros analisados. Notaram-se correlações negativas entre os indicadores de matéria orgânica e as concentrações de oxigênio dissolvido nos dois períodos hidrológicos avaliados, evidenciando que as concentrações de MO controlam os níveis de OD tanto no ambiente natural quanto no impactado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Frações do esgoto bruto, dados de HAANDEL e CAVALCANTI (2001)
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo
Figura 3. Rio Arapinus no período de cheia de 2010. FONTE: projeto ADAPTA
Figura 4. Rio Tapajós próximo à cidade de Santarém, no estado do Pará na época de cheia de 2010. FONTE: projeto ADAPTA
Figura 5. Rio Xingu no período de cheia de 2010. FONTE: projeto ADAPTA
Figura 6. Rio Solimões na época de cheia de 2010. FONTE: projeto CT-AMAZÔNIA
Figura 7. Rio Madeira próximo a cidade de Autazes no estado do Amazonas no período de cheia de 2010. <i>FONTE</i> : projeto CT-AMAZÔNIA
Figura 8. Rio Negro em frente à cidade de Manaus no estado do Amazonas na época de seca de 2010. FONTE: projeto ADAPTA
Figura 9. Nascente do igarapé do Mindu, principal tributário da bacia do São Raimundo, localizada na reserva do SESI na cidade de Manaus-AM. <i>FONTE</i> : o autor
Figura 10. Igarapé do Mindu localizado na zona urbana de Manaus – AM, FONTE: o autor 43
Figura 11. Autoanalizador de carbono Shimadzu TOCv
Figura 12. Formação do precipitado de fixação do oxigênio
Figura 13. (a) Sistema de filtração a vácuo, (b) sólidos suspensos obtidos após a filtração 49
Figura 14. Cotas dos rios (a) Negro, (b) Solimões, (c) Preto da Eva e (d) Tapajós segundo dados da Agência Nacional de águas – ANA em 2010
Figura 15. Variação da temperatura nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nas estações de cheia e seca de 2010.
Figura 16. Valor médio de pH nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheja e seca de 2010

Figura 17. Valores médios de Condutividade elétrica nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010
Figura 18. Média da cor nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010
Figura 19. Média da Turbidez nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010
Figura 20. Concentração média de sólidos totais em suspensão nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheia e seca de 2010
Figura 21. Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos rios Arapiuns (RA1 e RA2), Tapajós (RT1 e RT2) e Xingu (RX1 e RX2) nos períodos de cheia e seca de 2010 63
Figura 22. Concentração de carbono orgânico dissolvido nos rios Negro (RN1 e RN2) e Preto da Eva (RPE) nos períodos de cheia e seca
Figura 23. Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido nos rios Madeira (RM1 e RM2) e Solimões (RS1 e RS2) nos períodos de cheia e seca
Figura 24. Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido no igarapé do Mindu (IM1, IM2 e IM3) nos períodos de cheia e seca
Figura 25. Concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos estudados nos períodos de cheia e de seca e comparação com valor de referência padrão estabelecido pela resolução CONAMA 357/05
Figura 26. Valores médios da demanda bioquímica de oxigênio nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010
Figura 27. Valores médios da demanda química de oxigênio (DQO) nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio

Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheia e de seca de 2010
Figura 28. Análise de Cluster para os pontos estudados de acordo com as variáveis: COD, OD, cor, turbidez, temperatura, DBO, DQO, pH e condutividade elétrica e série de sólidos nos períodos de (a) cheia e (b) seca
Figura 29. Concentrações de carbono orgânico dissolvido, DQO e oxigênio dissolvido nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia de 2010 77
Figura 30. Correlação entre carbono orgânico dissolvido (COD) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010
Figura 31. Correlação entre demanda química de oxigênio (DQO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010
Figura 32. Concentrações de carbono orgânico dissolvido, DQO e oxigênio dissolvido nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IMp1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de seca de 2010 79
Figura 33. Correlação entre carbono orgânico dissolvido (COD) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010
Figura 34. Correlação entre demanda química de oxigênio (DQO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010
Figura 35. Correlação entre demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010
Figura 36. Correlação entre demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) em ambientes aquáticos da região Amazônica
Tabela 2. Localização dos pontos de coleta
Tabela 3. Concentrações de DBO e DQO e cálculo da relação DBO/DQO nos períodos de cheia e seca
Tabela 4. Média, desvio padrão e coeficiente de variação de alguns parâmetros analisados entre todos os pontos de coleta no período de cheia
Tabela 5. Média, desvio padrão e coeficiente de variação de alguns parâmetros analisados entre todos os pontos de coleta no período de seca
Tabela 6. Matriz de correlação entre os parâmetros indicadores de matéria orgânica no período de cheia dos rios
Tabela 7. Matriz de correlação entre os parâmetros indicadores de matéria orgânica no período de seca dos rios
Tabela 8. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), cor, turbidez e sólidos em suspensão (SS) nos períodos de cheia e seca de 2010 e os respectivos valores de recomendação segundo a resolução CONAMA357/05
Tabela 9. Resultados dos indicadores de matéria orgânica carbono orgânico dissolvido (COD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) e as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nos períodos de cheia e seca de 2010 e os respectivos valores de recomendação segundo a resolução CONAMA357/05

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação brasileira de normas técnicas

APHA American Public Health Association

CE Condutividade elétrica

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

COD Carbono orgânico dissolvido

CONAMA Conselho nacional do meio ambiente

DBO Demanda bioquímica de oxigênio

DQO Demanda química de oxigênio

HIBAM Hidrologia e geoquímica da bacia Amazônica

IBGE Instituto brasileiro de geografia e estatística

INMET Instituto Nacional Metereologia

INPA Instituto nacional de pesquisas da Amazônia

INPE Instituto nacional de pesquisas espaciais

MO Matéria orgânica

OD Oxigênio dissolvido

ONU Organização das nações unidas

SS Sólidos em suspensão

UNT Unidade nefelométrica de turbidez

SUMÁRIO

1.	INT	TRODUÇÃO	16
2.	OB.	JETIVOS	19
	2.1	Geral	19
	2.2	Específicos	19
3.	RE	VISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
	3.1	Ambientes aquáticos da Amazônia	20
	3.2	Oxigênio e ecossistemas aquáticos	23
	3.3	Dinâmica da matéria orgânica em ambientes aquáticos	26
	3.4	Poluição hídrica	30
4.	ME	TODOLOGIA	34
	4.1	Área de estudo	34
	4.2	Ambientes estudados	37
	4.2.	1 Rio Arapiuns	37
	4.2.	2 Rio Tapajós	37
	4.2.	3 Rio Xingu	38
	4.2.	4 Rio Solimões	39
	4.2.	5 Rio Madeira	40
	4.2.	6 Rio Negro	41
	4.2.	7 Rio Preto da Eva	42
	4.2.	8 Igarapé do Mindu	42
	4.3	Metodologia para as determinações físicas e químicas	44
	4.3.	1 Coleta das amostras	44
	4.3.	2 Temperatura	44

4.3.3 Condutividade elétrica		44	
4.3.4	pH	44	
4.3.5	Cor e Turbidez	45	
4.3.6	Carbono orgânico dissolvido (COD)	45	
4.3.7 diluição	Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) 46	O) e DBO por	
4.3.8	Demanda química de oxigênio (DQO)	47	
4.3.9	Sólidos em suspensão	48	
4.3.10	Análise Estatística	49	
5. RESUL	TADOS	50	
5.1 Pre	Precipitação		
5.2 Par	râmetros físicos e químicos	51	
5.2.1	Temperatura	51	
5.2.2	pH	52	
5.2.3	Condutividade elétrica (CE)	55	
5.2.4	Cor e turbidez	57	
5.2.5	Sólidos em suspensão (SS)	60	
5.2.6	Carbono orgânico dissolvido (COD)	62	
5.2.7	Oxigênio dissolvido	66	
5.2.8	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	68	
5.2.9	Demanda química de oxigênio (DQO)	70	
5.2.10	Relação DBO/DQO	72	
5.3 Dit	ferenciação quanto às características físicas e químicas	74	
5.4 Re	lações entre o oxigênio dissolvido e os indicadores de MO	76	
5.5 Co	rrelação entre indicadores de MO	83	

6.	CONCLUSÕES	85
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	. 87
AN	EXO I	99

1. INTRODUÇÃO

A água é um fator preponderante na paisagem amazônica. A malha hidrográfica da bacia amazônica cobre aproximadamente 6.300.000 km², sendo formada por pequenos riachos e igarapés os quais por sua vez dão origem aos rios maiores. Porém, verifica-se que esses corpos de água não são uniformes, devido às diferenças marcantes tanto em relação à morfologia de seus leitos quanto às suas características químicas e biológicas (JUNK, 1983; FISH, 1998; CAMPOS, 1994).

O oxigênio dissolvido (OD) e a matéria orgânica (MO) fazem parte da caracterização química de um ambiente aquático e apresentam uma relação direta entre as suas variações em um corpo hídrico (RIXEN *et al*, 2010). A presença de grandes quantidades de MO no ambiente aquático pode levar a menores concentrações de oxigênio dissolvido devido ao processo natural de oxidação da matéria orgânica. (KRISTENSEN *et al*, 2008; SPERLING, 2007).

A concentração de matéria orgânica, aliada às altas temperaturas, contribui decisivamente para o grau de desoxigenação da água, esse fato se deve aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração. O efeito da concentração de matéria orgânica sobre a dinâmica de oxigênio se manifesta, periodicamente, durante períodos de chuvas ou, eventualmente, por ocasião de fortes ventos e/ou chuvas frias, fortes e duradouras (ESTEVES, 1998).

As características físicas, químicas e biológicas entre diferentes ambientes aquáticos apresentam relação de OD e MO em comportamento diferenciado em ambientes naturais ou sob influência antropogênica.

Na apresentação das diferentes características naturais dos ambientes aquáticos amazônicos, é conhecida a classificação das águas em três classes, apresentada por SIOLI (1953): água branca, água preta e água clara. Do ponto de vista físico-químico a água branca é turva, rica em nutrientes dissolvidos, neutra ou pouco ácida com alta percentagem de metais alcalinos terrosos; a água preta é transparente, escura, pobre em nutrientes dissolvidos, muito ácida por conta da matéria orgânica proveniente da degradação de material vegetal, com baixas concentrações de metais alcalinos; e as águas claras são transparentes, pouco coloridas, com características químicas variáveis (JUNK, 1983).

São vários os fatores que exercem influência sobre as características físicas e químicas das águas amazônicas, destacando-se nesse processo, por exemplo: o ciclo hidrológico, a lixiviação dos solos pelas chuvas, a derrubada de florestas e a ocupação humana que vem crescendo ao longo do tempo nos grandes centros (ESTEVES, 1998; PASCOALOTO, 2001).

A hidrografia dos igarapés é constituída por pequenos cursos de água que contrastam com a abundante pluviosidade característica da região, resultando numa microdrenagem dentrítica, com capacidade de receber e escoar água, assim como detritos e poluentes (MELLO e MOURA, 1990).

Diante das variações ambientais, sejam naturais ou antropogênicas, o estudo da relação de OD e MO em ambientes aquáticos com características diferenciadas deve ser acompanhado da avaliação de variáveis ambientais indicadoras da presença de MO nesses ambientes como carbono orgânico dissolvido (COD), demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO) e ainda análise sólidos voláteis.

O OD é uma das variáveis mais importantes em diagnóstico de qualidade da água, cujo valor recomendado na Resolução CONAMA 357/05, Artigo 15, de março de 2005, para corpos

hídricos de classe II é de 5 mg L⁻¹.

RIXEN et al (2010), estudando a resposta do oxigênio para a eutrofização em rio de água preta na Indonésia, concluiu que a decomposição de MO e seus processos controlam as variações de concentração de oxigênio tanto diariamente quanto ao longo do rio; estudo semelhante foi realizado por AMON e BENNER (1996) verificando o consumo fotoquímico de oxigênio com o carbono orgânico dissolvido.

No entanto, apesar dos vários indícios da correlação entre a concentração de matéria orgânica e oxigênio dissolvido na água, nota-se ausência de registros científicos dessa relação, principalmente nos rios da região Amazônica. Assim, o presente trabalho visa realizar o estudo da correlação do oxigênio dissolvido com os indicadores de matéria orgânica presente em sete rios, que apresentam diferentes características químicas da Amazônia Central, e ainda comparar com um igarapé da área metropolitana de Manaus - AM, avaliando o comportamento e os níveis de OD registrados nas fases hidrológicas da região.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

 Avaliar o comportamento do oxigênio dissolvido (OD) com os indicadores de matéria orgânica (MO) em diferentes ambientes aquáticos da Região Amazônica.

2.2 Específicos

- Determinar a concentração de OD e indicadores da presença de matéria orgânica como o COD, DBO, DQO e pH, em amostras de água de diferentes ambientes aquáticos;
- Determinar parâmetros ambientais auxiliares, para a avaliação da relação entre
 OD e MO, como: a cor verdadeira, turbidez, temperatura e sólidos em suspensão;
- Correlacionar indicadores de MO (COD, DBO, DQO e pH) entre os diferentes ambientes aquáticos;
- Correlacionar os níveis de OD com os indicadores de MO, entre os diferentes ambientes aquáticos e nas fases hidrológicas da seca e cheia dos rios.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Ambientes aquáticos da Amazônia

Aproximadamente cinco milhões de quilômetros quadrados da área ocupada pela bacia Amazônica pertencem ao território brasileiro e o restante está dividido entre os países da Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. Esta região é limitada a oeste pela cordilheira dos Andes (com elevações de até 6000 m), ao norte pelo Planalto das Guianas (com picos montanhosos de até 3000 m), ao sul pelo Planalto Central (altitudes típicas de 1200 m) e a leste pelo oceano Atlântico, por onde toda água captada pela bacia escoa para o mar (FISCH *et al*, 1998). Como resultado da geologia de suas bacias fluviais, do alto índice de chuvas e das características da floresta tropical úmida, as águas Amazônicas são caracterizadas por processos químicos e fotoquímicos complexos, que lhe propiciam características diferentes e influenciam diretamente o ciclo biogeoquímico de todos os constituintes químicos presentes (CAMPOS, 2005).

A diferenciação da bacia de drenagem é devido a diversidade de sua formação geológica dividida em quatro zonas morfoestruturais principais: os escudos cristalinos pré-cambrianos, ao norte e ao Sul, com rochas ígneas e metamórficas; a cordilheira dos Andes, a leste com predominância de rochas sedimentares carbonatos e evaporitos, e a depressão Amazônica, em sequência para o centro da bacia com depósitos fluviais com origem no terciário (STALLARD e EDMOND, 1983).

Os rios da Bacia Amazônica são acompanhados ao longo de seus cursos por planícies de inundação, compostas por lagos e florestas inundáveis, que se dividem em dois grupos principais: vegetação de várzea e igapó. Existe ainda a vegetação de terra firme, que se encontra pelo menos a alguns metros acima do nível mais alto dos rios locais, que afetam os processos de

erosão, transporte, produção e sedimentação da matéria orgânica (JUNK, 1997; MORTATTI, 1995; MOREIRA-TURCQ *et al*, 2004). Considerando o balanço hidrológico e sedimentar, as áreas de inundação têm um papel de armazenamento temporário ou permanente do material dissolvido e particulado; sendo que o tempo de armazenamento pode variar de alguns meses (águas e substâncias dissolvidas) a algumas centenas a milhares de anos (sedimentos) (ALCÂNTARA *et al*, 2007).

De acordo com MORTATTI *et al*, 1997 as espécies dissolvidas transportadas pelo rio Amazonas com fluxos anuais mais elevados são HCO_3^- , SiO_2 e Ca^{2+} , com valores de $131,5 \times 10^6$ t/a, $38,1 \times 10^6$ t/a e $33,9 \times 10^6$ t/a, respectivamente, e ainda um fluxo de sólidos dissolvidos totais de 254, 3×10^6 t/a onde cerca de 64% tem origem andina, no alto Solimões. À medida que corre para o leste, o rio Amazonas vai sendo progressivamente diluído por tributários que tem origem nos escudos cristalinos, como o rio Negro que contribui com $4,3 \times 10^6$ t/a da carga dissolvida transportada. O rio madeira contribui com cerca de $0,37 \times 10^6$ t/a, o Xingu e o Tapajós com 5×10^6 t/a e 1×10^7 t/a, respectivamente (MARTINELLI *et al*, 1989).

A composição geoquímica influencia tanto nas características físicas dos sólidos (forma, tamanho e angularidade da partícula); como nas químicas, assim como a probabilidade de qualquer alteração na água (pH, salinidade, oxigênio dissolvido, concentração de fósforo, toxicidade). Os sólidos presentes na água podem ter um alto conteúdo orgânico, e sua decomposição pode esgotar os níveis de oxigênio dissolvido, levando a uma escassez crítica de oxigênio principalmente em condições de baixa vazão (BILOTTA e BRAZIER, 2008).

A caracterização de sólidos na água é muito importante, pois é a forma como muitos compostos e substâncias estão presentes no ambiente aquático. Os sólidos em suspensão são aqueles retidos por filtração com uma membrana de porosidade específica. Os sólidos filtráveis

compreendem as partículas dissolvidas e aquelas em estado coloidal. Os sólidos dissolvidos totais englobam a presença de sais, matéria orgânica (material vegetal, esgoto, vírus e bactérias) e argila. Os sólidos suspensos (partículas com diâmetro superior a 1 µm) são compostos de material vegetal como algas, esgoto, protozoários e flocos de bactérias, e material inorgânico, como os silicatos. As frações de sólidos podem ser submetidas à temperatura elevada de 550°C, obtendo-se as frações de sólidos fixos e de sólidos voláteis, que correspondem à matéria inorgânica ou inerte, e à matéria orgânica, respectivamente. Esta última, em geral, em ambiente aquático poluído é composta principalmente por: algas, protozoários, flocos de bactéria e esgoto (SPERLING, 2005a).

Segundo JUNK (1980), mais de 1.000.000 de km² da bacia amazônica formou-se por um represamento que causou alteração no vale do Amazonas até ao sopé dos Andes. Depois os rios começaram a encher e os seus vales afogados com sedimentos recentes conforme sua carga sedimentária. Foi alcançado um equilíbrio que inclui amplos processos de sedimentação e erosão na própria várzea onde se formou que está sendo modificada permanentemente pela atividade do rio.

Durante as cheias, os rios transportam muitas substâncias dissolvidas e em suspensão na várzea. A qualidade e a quantidade do material em suspensão variam entre sistemas fluviais e resultam em grandes diferenças na fertilidade das águas e solos de várzea e na sua produtividade natural. Rios de água preta transportam baixas concentrações de nutrientes dissolvidos e de material em suspensão por isso seus solos de várzeas (igapós) tem baixo potencial de produção, ou seja, são pouco férteis. Os rios de água branca têm alto teor de substâncias dissolvidas e alta carga de matéria em suspensão, fértil, alta produtividade natural e produção potencial. A quantidade de nutrientes no solo é relativamente alta, e certo nível é renovado todos os anos

durante as cheias. As várzeas dos rios de águas claras são de fertilidade intermediária (JUNK, 2000).

Os três sistemas de classificação das águas superficiais da Amazônia se baseiam na premissa que o substrato geológico exerce o maior controle sobre a composição química das águas superficiais. Devido à complexidade da área, os três sistemas apresentam algumas imperfeições. No entanto, permitem o conhecimento de uma série de propriedades dos rios, quando classificados por um dos três sistemas (CUNHA E PASCOALOTO, 2006).

3.2 Oxigênio e ecossistemas aquáticos

O oxigênio é uma variável importante na dinâmica e na caracterização dos ecossistemas aquáticos. Este elemento é essencial ao metabolismo de todos os organismos que possuem respiração aeróbia, sendo sua concentração importante para compreender a distribuição, abundância e o crescimento dos organismos aquáticos, e por isso, torna-se um dos principais parâmetros nos estudos de sistemas aquáticos (RODRIGUES *et al*, 2009; LAMPERT e SOMMER, 1997).

As principais fontes de oxigênio para água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês. (ESTEVES, 1998). Existe um balanço entre as fontes de consumo e de produção do oxigênio, gerando o fenômeno de autodepuração da massa d'água (CARLSSON *et al*, 1999)

O oxigênio possui uma solubilidade considerada moderada, onde atuam diretamente a temperatura e a pressão. No ar a sua concentração é da ordem de 270 mg L⁻¹, na água, nas

condições normais de pressão e temperatura, a sua concentração se reduz a aproximadamente 9 mg L⁻¹ (SPERLING, 2005a).

A solubilidade dos gases na água depende das características físicas e químicas da massa de água, bem como da pressão, temperatura e salinidade. Segundo a Lei de Henri, "a quantidade de gás absorvido por um determinado volume de líquido é proporcional à pressão, em atmosferas, exercida pelo gás":

$$C = K. p$$

Onde C é a concentração do gás; p é a pressão parcial que o gás exerce; e K é um fator de solubilidade que difere para cada gás.

A pressão parcial do gás remete a relação direta com a temperatura. Quanto maior a temperatura, menor será a solubilidade do gás, por exemplo, o OD no meio aquoso. A concentração de OD pode ser observada pelo equilíbrio: $O_2(g) \rightleftharpoons O_2(aq) K_H = [O_2(aq)] / P_{O_2}$.

Assim, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre redução da solubilidade de oxigênio na água (ESTEVES, 1998), pois intimamente ligada à estratificação térmica, estão às concentrações de oxigênio. O aumento da temperatura não somente diminui a solubilidade do oxigênio na água, mas aumenta, além disso, o consumo de oxigênio por causa de taxas de decomposição crescentes (JUNK, 1980). Na região Amazônica onde são registradas altas temperaturas e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (TUNDISI, 1984; SHÁNCHEZ-BOTERO *et al*, 2001; SHÁNCHEZ-BOTERO *et al*, 2003; MELO *et al*, 2005; SILVA *et al*, 2008; APRILE e DARWICH, 2009; RODRIGUEZ *et al*, 2009) a fauna aquática desenvolveu várias adaptações para suportar as baixas concentrações de oxigênio (JUNK, 1980).

Na Amazônia grandes rios como o Negro e o sistema Solimões/Amazonas que se mostram em excelente estado de conservação, podem apresentar baixas concentrações de oxigênio

dissolvido, principalmente nas cheias (APRILE e DARWICH, 2009), levando em consideração o valor de referência padrão estabelecido pela resolução CONAMA357/05 que é de no mínimo 5mg L⁻¹ de oxigênio. Na tabela 1, a seguir encontram-se alguns valores de oxigênio dissolvido em ambientes aquáticos da região Amazônica:

Tabela 1. Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) em ambientes aquáticos da região Amazônica.

Ambiente	Tipo de água	Referência	OD (mg L ⁻¹)
Solimões	Branca	DARWICH (1995)	1,0
Amazonas	Branca	SIOLI e KLINGE (1962)	7,17
Urubuí	Preta	APLILE e MERA (2007)	6,54
Negro	Preta	PINTO (2004)	5,9 - 7,0
Negro	Preta	HIBAM (2005)	4,46 - 4,88
Curuá-Uma	Clara	VIEIRA e DARWICH (1999)	4,4-6,5
Tapajós	Clara	SIOLI e KLINGE (1962)	8,99 - 9,21
Tapajós	Clara	MIRANDA et al (2009)	4,5-6,1
Lago Catalão	Mista*	MELO (2008)	0,17 - 7,30
Lago Camaleão	Branca	SÁNCHEZ-BOTERO et al (2003)	2,11-4,02

^{*} O lago Catalão é um lago de água mista pois na época de cheia é influenciado pelo rio Solimões que é um rio de água branca já na época de seca é influenciado pelo rio Negro que é um rio de água preta.

A fotossíntese é a fonte primária de energia, gerando material orgânico que serve como alimento básico da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos. Através da fotossíntese, o fitoplâncton produz de 50 a 95% do oxigênio nesses sistemas. No entanto, o plâncton chega a consumir cerca de 50 a 80% do oxigênio dissolvido em processos respiratórios. Um equilíbrio entre fotossíntese e respiração é pré-requisito para a manutenção de uma constante composição química da água. Quando a fotossíntese supera a respiração por períodos prolongados pode ocorrer uma sobrecarga de material orgânico no sistema. Quando a respiração excede a

fotossíntese, ocorrerá um balanço negativo nos níveis de oxigênio dissolvido no sistema (KUBITZA, 1998).

O acompanhamento contínuo do OD revela a extensão da atividade biológica e pode identificar quando a depleção de oxigênio é potencialmente grave, e também, pode ser usado para avaliar a sensibilidade de um corpo de água para maiores danos provenientes de carga orgânica poluidora (ANSA-ASSARE *et al*, 2000).

3.3 Dinâmica da matéria orgânica em ambientes aquáticos

O carbono é um dos constituintes essenciais da biomassa dos seres vivos, sendo responsável por 40% a 60% do peso seco, na maioria dos casos. Estima-se que sua produção primária líquida global, incluindo serrapilheira, madeira e produção de raízes, seja da ordem de 149 mol C m⁻² ano⁻¹. Apenas na Amazônia brasileira o desmatamento e a queima de biomassa representam uma emissão líquida de aproximadamente 0,2 Gt de carbono ano⁻¹ e os rios dessa região podem estar agindo como fonte de carbono de até 1,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ (RAYMONT, 1983; KRISTENSEN *et al*, 2008; NOBRE e NOBRE, 2002).

A área de drenagem da bacia Amazônica é composta de rios, lagos e igarapés que juntos formam o grande Rio Amazonas, que sozinho é responsável por 20% da entrada mundial de água doce no oceano (MÁSTER e ALLER, 2001), com as estimativas de transporte de sólidos suspensos para o oceano variando de 5 × 10⁸ t ano⁻¹ a 20 × 10⁸ t ano⁻¹ (GIBBS, 1967; MEADE *et al*, 1979; MEADE *et al*, 1985; MEADE, 1994; FILIZOLA, 1997; FILIZOLA, 1999). Com essa descarga de sólidos, a taxa anual de carbono orgânico total do rio Amazonas para o oceano Atlântico é de aproximadamente 36 t C ano⁻¹ (RICHEY *et al*, 1990).

O carbono é transportado dos continentes para os oceanos principalmente em três formas

químicas: como carbonato dissolvido, como matéria orgânica particulada e como matéria orgânica dissolvida (DEGENS, 1982).

Outras formas de carbono em sistemas fluviais incluem o carbono inorgânico particulado (CIP), associado a processos erosivos mecânicos de carbonatos, e carbono orgânico dissolvido (COD) e particulado (COP), principalmente relacionados com os processos de lixiviação do solo e as interações da fase sortiva dos solos/sedimentos (MORTATTI *et al*, 2006).

A fotossíntese e a respiração do plâncton podem causar profundas alterações químicas na água e é função do sistema tampão carbonato/bicarbonato atenuar estas alterações (KUBITZA, 1998). O sistema CO₂ é a principal fonte de carbono inorgânico dissolvido para as plantas aquáticas, e as três formas estão em equilíbrio entre si e com a atmosfera (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

Os equilíbrios de dióxido de carbono nas águas envolvem principalmente a relação entre a alcalinidade e o dióxido de carbono total. O bicarbonato representa a mistura de HCO₃⁻ de desagregação de rochas de bicarbonato e HCO₃⁻ derivado do ácido carbônico que serviu como fonte de próton durante as reações de desagregação. Uma vez deixado o local das reações de desagregação, a alcalinidade total tende a ser conservativa. Exceções a esta condição seriam uma fonte ou escoadouro de prótons devido à transferência líquida ou adição de ácidos ou bases do sistema (WISSMAR *et al*, 1980). A equação abaixo mostra o equilíbrio do sistema carbonato/bicarbonato que ocorre nos ecossistemas aquáticos:

$$2HCO_3^- \rightleftharpoons CO_2 + CO_3^{2^-} + H_2O$$

A lixiviação de solos pelas chuvas e as consequentes águas de rolamento superficial fluem para os cursos d'água, transportando a matéria orgânica, que aparece sob as formas dissolvida e particulada (PICCOLO e STEVENSON, 1982).

Um corpo hídrico pode apresentar elevada turbidez pela presença de materiais sólidos em suspensão originado do carreamento destes para o corpo hídrico. A turbidez representa o potencial de incidência da luz através da água ou transparência da água. Quanto maior a turbidez, menor será a penetração de luz. A presença de algas, plâncton, matéria orgânica, e outras substâncias como o ferro, zinco, manganês e areia, provenientes de processos de erosão do solo e emissão de esgoto doméstico e industrial contribuem para aumentar a turbidez da água (TAKIYAMA, 2007; SPERLING, 2007).

No meio aquático o material particulado em suspensão é uma mistura heterogênea de partículas orgânicas e inorgânicas, determinada por uma ampla variedade de processos que indicam os diferentes usos da bacia de drenagem. No entanto, muitos estuários apresentam altas taxas de produtividade primária devido ao enriquecimento de nutrientes, contribuindo adicionalmente com as formas dissolvidas e particuladas de matéria orgânica (BOUILLON *et al*, 2008).

As diferenças nas características físicas e químicas dos tipos de água existentes na Amazônia afetam a dinâmica da ciclagem do carbono em sistemas aquáticos. Em rios de água branca a matéria orgânica representa apenas 0,6 a 3,3% do material particulado em suspensão, em rios de água clara de 10 a 30% e em rios de água preta o valor é maior que 60% (RICHEY *et al*, 1990; DEVOL *et al*, 1995; HEDGES *et al*, 1994; PINTO, 2004). Os teores de carbono orgânico dissolvido também dependem da mineralogia da bacia e das concentrações de sedimentos em suspensão, devido à dinâmica de sorção entre os minerais em suspensão e a matéria orgânica dissolvida (MAYORGA e AUFDENKAMP, 2001).

A cor da água pode ser alterada pela presença de materiais orgânicos como substâncias húmicas, taninos e também por metais como o ferro e o manganês, além de emissões de área

industrial com resíduos fortemente coloridos.

Segundo KUCHLER *et al* (2000) a concentração de COD no rio Solimões varia de 7,7 a 8,6 mg L⁻¹ enquanto que a o valor médio encontrado no rio Negro é de 11,4 mg L⁻¹. Em águas pretas 52% do COD correspondem a ácidos húmicos e fúlvicos, 35% a hidróxidos de baixo peso molecular e ácidos graxos e 13% a compostos de outras classes (LEENHEER, 1980).

Substâncias húmicas são geralmente caracterizadas como de alta massa molecular, ácidos orgânicos de cor amarela que são produtos finais refratários na degradação da matéria orgânica vegetal e microbiana. No entanto, os processos pelos quais substâncias húmicas aquáticas são formadas a partir de material precursor orgânico são assuntos de muita especulação (MACKNIGHT *et al*, 1985). A composição final dessas macromoléculas está dependente de diversos fatores como origem, tempo de degradação e fatores abióticos tais como condições climáticas (RODRIGUES, 2007).

Medidas complementares da composição molecular e isotópica da matéria orgânica podem produzir importantes indicadores de fonte e da natureza deste material em grandes rios. A razão carbono/nitrogênio (C/N) é um dos marcadores mais confiáveis para indicação de fontes da matéria orgânica para um ecossistema. A matéria orgânica de origem autóctone na água, isto é, produzida principalmente pela comunidade planctônica local, tem razão molar C/N entre 6 e 8. Já quando é proveniente de bactérias apresentam valores inferiores a 4 e 5. Valores de C/N superiores a 20 são característicos da matéria orgânica terrestre, produzida principalmente por plantas superiores. Os sedimentos em suspensão de grandes rios caracterizados por altos teores de material, como é o caso do Rio Amazonas, são caracterizados por apresentarem valor de C/N igual a 10, próximo ao dos solos encontrados na Amazônia (MEYERS e ISHIWATARY, 1993; MEYERS, 2003; HEDGES *et al*, 1986).

Em ambientes poluídos, há uma grande dificuldade na determinação dos diversos componentes da matéria orgânica, em face da multiplicidade de formas e compostos em que esta pode se apresentar, assim sendo normalmente utilizam-se métodos indiretos para sua quantificação, ou do seu potencial poluidor como demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) (SPERLING, 2007).

A DBO consiste na capacidade da matéria orgânica presente em uma amostra de água natural em consumir oxigênio, ou seja, na quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, por meio de processos bioquímicos o material orgânico carbonáceo, sendo por isso, uma indicação indireta do carbono orgânico biodegradável presente na amostra. A DQO consiste em uma medida do equivalente de oxigênio, referente ao conteúdo de matéria orgânica de uma amostra, susceptível a oxidação por um forte oxidante químico, geralmente o dicromato ou o permanganato (BAIRD, 2002; SPERLING, 2005a).

3.4 Poluição hídrica

A qualidade de um ambiente aquático pode ser definida segundo a presença de substâncias inorgânicas ou orgânicas, em diferentes concentrações e especiações, e segundo a composição e estrutura da biota aquática presente no corpo de água. Depende do clima e do solo da região, da vegetação circundante, do ecossistema aquático e da influência antrópica (STROHSCHOEN *et al*, 2009).

No Brasil grande quantidade de esgoto é lançada nos corpos hídricos sem um prévio tratamento adequado, segundo o IBGE no ano de 2000 dos mais de 14 000 000 (m³) de volume de esgoto coletado apenas pouco mais de 30% foi tratado. Em termos de volume de esgoto, considerando-se todo o estado de São Paulo, são gerados quase cinco milhões de m³, sendo que

somente a metade sofre algum tipo de tratamento. Em função da população, o total potencial de carga poluidora domiciliar do Estado de São Paulo é de 1,5 milhões kgDBO.dia⁻¹ (MARTINELLI *et al*, 2002).

Em termos biológicos, a carga de esgoto lançada nos rios significa uma entrada extra de matéria orgânica que passa a ser prontamente decomposta (MARTINELLI *et al*, 2002). A matéria orgânica presente no esgoto é a causa de um dos principais problemas de poluição das águas, em grande quantidade pode causar o aumento do número de microrganismos e, consequentemente, o consumo excessivo do oxigênio dissolvido nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (CUNHA e FERREIRA, 2006).

No processo de autodepuração dos corpos hídricos há um balanço entre as fontes de consumo e as fontes de produção de oxigênio. Quando a taxa de consumo é superior à taxa de produção, a concentração de oxigênio tende a decrescer, ocorrendo o inverso quando a taxa de consumo é inferior à taxa de produção (SPERLING, 2007).

A DBO fornece uma medida tanto do material orgânico natural (vegetal em decomposição e material animal) como de fonte antrópica (produtos petrolíferos e químicos orgânicos), já a DQO é a medida de resíduos químicos e muitas vezes está relacionada com DBO na água (BAI. V, 2009)

Adicionalmente, a razão DBO/DQO reflete o grau de degradação dos lixiviados no aterro sanitário, aterro ou aterro controlado. Os processos de reações bioquímicas da fermentação ácida (fase aeróbia) são caracterizados por valores superiores a 0,4 da razão entre DBO e DQO, indicando que uma grande parte da carga orgânica pode decompor-se bioquimicamente de forma facilitada (GOMES, 2005).

Em geral, em águas superficiais, o teor de carbono orgânico total varia de 1 a 20 mg L⁻¹,

elevando-se para até 1000 mg L⁻¹ nas água residuárias (LIBÂNIO *et al*, 2000). Na maioria das águas residuárias, o material orgânico presente no afluente é uma mistura de muitos compostos que podem ser classificados em duas categorias principais: material biodegradável, que engloba os compostos que podem ser utilizados pela massa bacteriana, e material não biodegradável, que é formado de compostos que não são afetados pela ação bioquímica das bactérias no período de permanência no sistema de tratamento (HAANDEL e CAVALCANTI, 2001). A Figura 1 demonstra a porcentagem das frações que compõem o esgoto bruto:

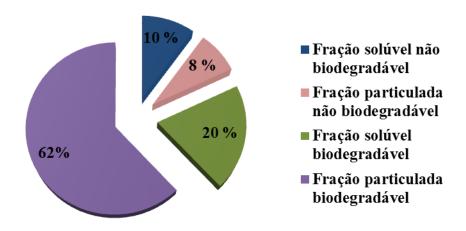


Figura 1. Frações do esgoto bruto, dados de HAANDEL e CAVALCANTI (2001).

A expansão urbana no município de Manaus, em associação com processos de desmatamentos, uso não planejado do solo, emissões de efluentes líquidos industriais e domiciliares, além do aporte de poluentes transportados do meio urbano, mediante os sistemas de drenagem e escoamento superficial, são os fatores responsáveis pelas modificações das características originais dos igarapés da zona urbana (RODRIGUES *et al*, 2009).

Como consequência, igarapés e cursos de água têm sido poluídos, assoreados e obstruídos

tanto pela derrubada da vegetação quanto pela presença de grande quantidade de lixo, resultante da construção de moradias nas suas margens, e em alguns casos, no próprio leito do igarapé (RIMA, 2008).

4. METODOLOGIA

A metodologia de amostragem analítica e de análises laboratoriais, que foi utilizada para a determinação das variáveis ambientais, está baseada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 21st, publicado pela APHA (2005).

4.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na Bacia Amazônica, onde foram pré-selecionados sete rios com diferentes características físicas e químicas: rios Tapajós, Arapiuns e Xingu de água clara; rios Negro e Preto da Eva de água preta e rios Solimões e Madeira de água branca; e ainda, o igarapé do Mindu afluente do rio Negro localizado na zona urbana de Manaus (Figura 2).

Os pontos de coleta foram estabelecidos dentro dos projetos MCT CT_AM 0055/2008 e ADAPTA vinculados a Coordenação de Pesquisa de Clima e Recursos Hídricos (CPCRH) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em andamento.

Tabela 2. Localização dos pontos de coleta.

			Coordenadas
Pontos		Latitude	Longetude
Arapiuns - ponto 1	RA1	S 02° 34' 24,7"	W 055° 11' 41,5"
Arapiuns - ponto 2	RA2	S 02° 33' 50,1"	W 055° 10' 74,1"
Tapajós - ponto 1	RT1	S 02° 40' 66,4"	W 054° 81' 37,4"
Tapajós - ponto 2	RT2	S 02° 40' 63,8"	W 054° 74' 23,0"
Negro - ponto 1	RN1	S 03° 03' 26,8"	W 060° 17' 46,1"
Negro - ponto 2	RN2	S 03° 03' 48,8"	W 060° 07' 40,5"
Preto da eva	RPE	S 02° 41' 56,5"	W 059° 42' 15,4"
Madeira - ponto 1	RM1	S 03° 40' 58,7"	W 059° 05' 49,4"
Madeira - ponto 2	RM2	S 03° 40' 26,5"	W 059° 05' 01,2"
Solimões - ponto 1	RS1	S 03° 13' 17,8"	W 059° 53' 42,8"
Solimões - ponto 1	RS2	S03 17.0' 04,5"	W 060° 02' 02,0"
Mindu - ponto 1	IM1	S 03° 04' 11,1"	W 059° 57' 55,1"
Mindu - ponto 2	IM2	S 03° 04' 28,2"	W 059° 58' 57,6"
Mindu - ponto 3	IM3	S 03° 51' 13,3"	W 060° 00' 32,4"

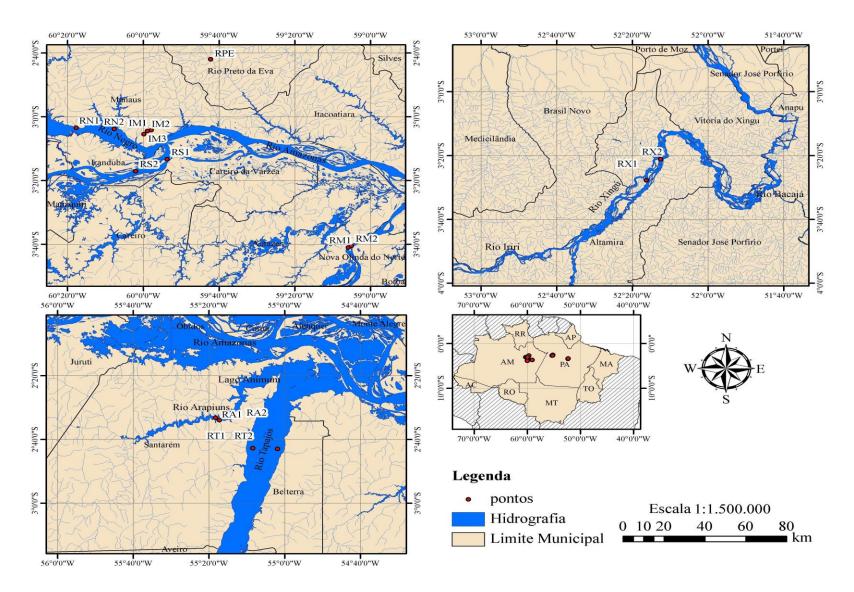


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo.

4.2 Ambientes estudados

4.2.1 Rio Arapiuns

O rio Arapiuns é classificado como rio de águas claras (SILVA e FERREIRA, 2009) localizado a oeste do município de Santarém no estado do Pará entre as bacias dos rios Tapajós e Amazonas. É um dos principais afluentes do rio Tapajós e possui aproximadamente 7.064 km de extensão.



Figura 3. Rio Arapinus no período de cheia de 2010. FONTE: projeto ADAPTA.

4.2.2 Rio Tapajós

O rio Tapajós compreende os estados do Mato Grosso, Amazonas e Pará, banha parte do estado do Pará e deságua no rio Amazonas na altura da cidade de Santarém, no estado do Pará. É um dos principais afluentes da margem direita do rio amazonas com 1.992 km de extensão. É

classificado como rio de água clara (SIOLI e KLINGE, 1962) por isso possui águas cristalinas e esverdeadas. O rio Tapajós possui descarga média anual de $13.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e drena uma área de $490 \times 10^3 \text{ km}^2$ (LATRUBESSE *et al*, 2005).



Figura 4. Rio Tapajós próximo à cidade de Santarém, no estado do Pará na época de cheia de 2010. *FONTE*: projeto ADAPTA.

4.2.3 Rio Xingu

O rio Xingu é classificado como rio de águas claras (SIOLI e KLINGE, 1962), afluente do rio Amazonas, nasce no leste do estado do Mato grosso, corre na direção sul-norte em paralelo aos rios Tapajós e Tocantins até a ilha Gurupá no estado do Pará, na margem direita do rio Amazonas. Possui aproximadamente 1.980 km de extensão drenando uma área de 504 × 10³ km² com uma descarga média anual de 9700 m³ s⁻¹ de águas cristalinas com baixa carga de material em suspensão (LATRUBESSE *et al*, 2005).



Figura 5. Rio Xingu no período de cheia de 2010. FONTE: projeto ADAPTA.

4.2.4 Rio Solimões

O rio Solimões é localizado no estado do Amazonas classificado como rios de água branca (SIOLI, 1953) essa classificação se dá devido ao grande aporte de sólidos carreada por este rio que lhe confere a cor barrenta característica. Possui $1.700~\rm km$ de extensão com uma descarga média anual de $102.800~\rm m^3~s^{-1}$ drenando uma área de $2.150\times10^3~\rm km^2$ (LARAQUE *et al*, 2009) correspondendo a 36% da bacia Amazônica.



Figura 6. Rio Solimões na época de cheia de 2010. FONTE: projeto CT-AMAZÔNIA.

4.2.5 Rio Madeira

O rio Madeira é classificado como rio de água branca (SIOLI, 1953), nasce na Bolívia banha as zonas norte e oeste do estado de Rondônia e a parte sul do Amazonas. Drena uma área de 1.360×10^3 km² com uma descarga média anual de 32.000 m³ s¹ transportando uma carga de sedimentos de 157.8 ton km² ano (LATRUBESSE *et al*, 2005).



Figura 7. Rio Madeira próximo a cidade de Autazes no estado do Amazonas no período de cheia de 2010. *FONTE*: projeto CT-AMAZÔNIA.

4.2.6 Rio Negro

O rio Negro é classificado como rio de água preta (SIOLI, 1953) devido à grande quantidade material húmico dissolvido (LEENHEER, 1980), nasce na Colômbia, na serra do Junai, sob a denominação de Guainia, com uma extensão total de cerca de 1.700 km, dos quais aproximadamente 1.200 km correm em território brasileiro (CUNHA e PASCOALOTO, 2006) até encontrar o rio Solimões, formando então, o rio Amazonas. Drena uma área de aproximadamente 686×10^3 km² com uma descarga média anual de 26.700 m³ s¹ (LARAQUE *et al*, 2009) com um transporte de sedimentos de 11,5 ton km² ano (LATRUBESSE *et al*, 2005).



Figura 8. Rio Negro em frente à cidade de Manaus no estado do Amazonas na época de seca de 2010. *FONTE*: projeto ADAPTA.

4.2.7 Rio Preto da Eva

Localizado no município de Rio Preto da Eva no estado do Amazonas, é classificado como rio de água preta SANTOS *et al* (1971). Desagua na margem esquerda do rio Amazonas 110 km após a confluência do rio Negro com o Solimões, possui várias nascentes e uma delas fica na estrada ZF-3 ramal da BR-174 que liga Manaus à Boa Vista (CUNHA e PASCOALOTO, 2006).

4.2.8 Igarapé do Mindu

O igarapé do Mindu pertence à bacia hidrográfica do rio Negro do qual é afluente da margem esquerda, é um igarapé urbano que corta a cidade de Manaus atravessando diversos bairros residenciais, um parque Municipal (Parque do Mindu) com uma extensão de 20 a 25 km

(MAGALHÃES, 2003).



Figura 9. Nascente do igarapé do Mindu, principal tributário da bacia do São Raimundo, localizada na reserva do SESI na cidade de Manaus-AM. *FONTE*: o autor.



Figura 10. Igarapé do Mindu localizado na zona urbana de Manaus – AM, FONTE: o autor.

4.3 Metodologia para as determinações físicas e químicas

4.3.1 Coleta das amostras

As amostras de água, para as análises físicas, químicas e físico-químicas, foram coletadas em dois períodos obedecendo a sazonalidade da região, o período de cheia (março a junho) e no período de seca (setembro a outubro), entre os locais estudados. A coleta das amostras de água foi realizada com garrafa coletora Van Dorn. As amostras, em sua maioria, foram armazenadas em garrafas de polietileno e refrigeradas para as determinações laboratoriais.

4.3.2 Temperatura

A temperatura da água foi medida em campo utilizando o aparelho termômetro digital YSI Model 55-25 FT.

4.3.3 Condutividade elétrica

A determinação da condutividade elétrica, dada em μS cm⁻¹, foi realizada no Laboratório de Química Ambiental (LQA) – INPA logo após a coleta. Medida por condutimetria, através do condutivímetro digital CD-820 da marca INSTRUTERM.

4.3.4 pH

O pH foi determinado por potenciometria utilizando o aparelho pH-2000 INSTRUTERM com eletrodo de vidro, tendo como eletrodo de referência Ag/Cl e a calibração realizada com soluções tampão de 4,0; 7,0 e 10.

4.3.5 Cor e Turbidez

A cor verdadeira representa a água livre de turbidez, por isso as amostras foram previamente filtradas, com filtros de fibra de vidro Wathman GF/F com porosidade 0,7 μm, e analisadas em cubetas de 5 cm de caminho ótico a 450 nm por espectrofotometria, segundo APHA (2005). A turbidez foi medida por turbidímetro digital da marca ALFAKIT, e os valores expressos em UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

4.3.6 Carbono orgânico dissolvido (COD)

A concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) foi determinada por autoanalisador Shimadzu TOCv, com método de oxidação por combustão catalítica em alta temperatura (680 °C), após a filtração da amostra com filtro de fibra de vidro Wathman GF/F 25 mm de diâmetro e preservação das amostras com cloreto de mercúrio (HgCl₂).

Para analise de COD foram realizadas a construção de duas curvas de calibração uma de baixa concentração com um padrão de bifitalato de potássio (C₈H₅KO₄) de 5 ppm e realizando as diluições para as concentrações de 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0 ppm, obtendo uma curva de faixa de 0,0 a 5,0 ppm. Para segunda curva, de alta concentração, foi utilizado solução padrão de bifitalato de potássio (C₈H₅KO₄) de 50 ppm, realizando-se a diluição para 5,0; 10,0; 25,0; e 50 ppm, obtendo uma curva na faixa de 5,0 a 50,0 ppm.



Figura 11. Autoanalizador de carbono Shimadzu TOCv.

4.3.7 Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e DBO por diluição

Para as análises de oxigênio dissolvido é realizada em campo a fixação das amostras coletadas nos frascos de Winkler acrescentando 1 mL de mista de ázida sódica (NaN₃), hidróxido de sódio (NaOH) e iodeto de potássio (KI); e 1 mL de sulfato manganoso (MnSO₄), levando a formação de um precipitado de cor amarela.



Figura 12. Formação do precipitado de fixação do oxigênio.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o oxigênio dissolvido foram determinados pelo método de Winkler, sendo que a DBO passando por processo de incubação durante 5 dias

APHA (2005) e GOLTERMAN (1978), obtendo-se a concentração de oxigênio dissolvido nas amostras de água através da equação 1:

$$mg \ l^{-1} = \frac{cons.de \ tiossulfato \times N \times 8 \times 1000}{V - 2} \tag{1}$$

Para determinação da DBO dos pontos IM2 e IM3 que são provenientes de ambientes poluídos onde há alto consumo de oxigênio pela respiração de microrganismos, foi realizada a DBO por diluição. Como esses ambientes não possuem, ou possuem pouco oxigênio, é necessário fornecê-lo através de aeração mecânica, insuflação de ar comprimido. Após este processo foi realizada a determinação do oxigênio inicial fornecido à amostra e após o período de incubação (5 dias) pelo método de Winkler. A DBO é obtida por diferença segundo a equação 2:

$$mg O_2 l^{-1} = \frac{(A - B) \times 100}{5} \tag{2}$$

Onde A é a concentração de OD inicial e B a concentração de OD após o período de incubação (5 dias).

4.3.8 Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada por titulometria com permanganato de potássio (KMnO₄) e resultado expresso em mgO_2 L⁻¹, antes da titulação a amostra foi submetida ao ebulição a uma temperatura de aproximadamente 100 °C com adição de 5 mL de solução 24% de ácido sulfúrico e de 10 mL de solução 0,01 N de KMnO₄. A

obtenção do branco foi feita submetendo ao mesmo processo 100 mL de água destilada, realizada em triplicata.

Para o cálculo da DQO foi realizada a padronização do KMnO₄, para tal utilizou-se 90 mL de água destilada ao qual foi acrescentado 5 mL de H2SO4 e 10 mL de ácido oxálico levado ao aquecimento sem deixar chegar à ebulição e em seguida titulado com solução de KMnO₄, realizado em triplicata.

Foi, então, obtido o fator de correção da concentração de KMnO₄ através da equação 3:

$$F = \frac{10}{mP - mB} \tag{3}$$

Onde mP é a média da padronização e mB é média do branco. A concentração de DQO foi obtida através da equação 4:

$$mg O_2 l^{-1} = cons.KMnO_4 \times 6{,}32 \times F \tag{4}$$

4.3.9 Sólidos em suspensão

Para determinação de sólidos em suspensão as amostras de água foram filtradas após a coleta, com filtros de fibra de vidro *WATHMAN* GF/F, após os filtros foram submetidos à análise gravimétrica de acordo com a norma ABNT, 1989.





Figura 13. (a) Sistema de filtração a vácuo, (b) sólidos suspensos obtidos após a filtração.

4.3.10 Análise Estatística

Diante da compilação de dados foram realizados cálculos de média aritmética e de desvio padrão dos parâmetros analisados. Avaliação da distribuição das variáveis ambientais entre as fases hidrológicas e em diferentes ambientes aquáticos foram realizadas pela construção de histogramas em planilha do Programa Excel. A relação entre os indicadores de MO e a relação entre o OD e os indicadores de MO foi executada por tratamento estatístico através das análises de correlação de Pearson com o software *STATISTICA 6.0* e análises de Cluster com o software livre *ATION 2.0* sob os termos da licença pública geral da ONU, objetivando também a apresentação da distinção entre ambientes aquáticos e períodos hidrológicos.

5. RESULTADOS

Os resultados de todos os parâmetros realizados com seus respectivos desvios-padrão encontram-se no AMEXO I.

5.1 Precipitação

Um levantamento sobre os registros de precipitação nas regiões amazônicas estudadas foi realizado para um melhor entendimento sobre as diferenças sazonais do comportamento de parâmetros físicos e químicos registrados neste trabalho. A intensidade máxima média de chuva anual para todo o conjunto da bacia Amazônica é de 2300 mm ano⁻¹, registradas sobre as bacias dos rios; Negro e Japurá, próximo à fronteira Brasil-Peru-Colômbia e nas zonas do piemonte andino na Bolívia (Chaparé), no Peru e no Equador, já a mínima anual é de 300 mm ano⁻¹, observada nos vales dos Andes orientais da Bolivia e do Peru (FILIZOLA *et al*, 2002).

A precipitação da bacia Amazônica não é distribuída igualmente durante o ano inteiro, provocando uma época seca e uma chuvosa bem distinta, esta periodicidade de precipitação provoca pronunciadas flutuações nos níveis de água gerando inundações regulares de vastas zonas terrestres, denominadas várzeas (JUNK, 1980) provocando influência sob as características da água dos rios.

Segundo os dados da Agência Nacional de Águas – ANA (Figura 14) nos rios Negro, Solimões e Tapajós o período de cheia máxima se dá nos meses maio e junho e o de seca em outubro e novembro, já no rio Preto da Eva a cota máxima se dá nos meses abril e maio e seca nos meses de outubro e novembro. O rio Arapiuns segue a mesma tendência de chuvas do rio Tapajós, pois se trata de um de seus afluentes.

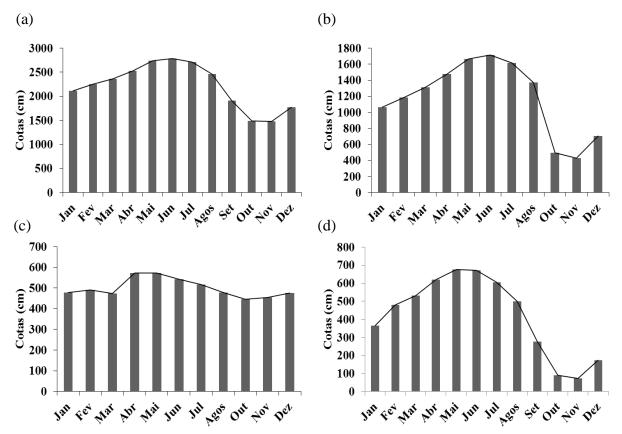


Figura 14. Cotas dos rios (a) Negro, (b) Solimões, (c) Preto da Eva e (d) Tapajós segundo dados da Agência Nacional de águas – ANA em 2010.

5.2 Parâmetros físicos e químicos

5.2.1 Temperatura

A região Amazônica situa-se na zona equatorial e possui clima quente e úmido, é uma região que possui alta incidência solar e por isso o comportamento da temperatura do ar mostra pequena variação ao longo do ano (INPE, 1996), com uma amplitude térmica sazonal da ordem de 2,1 °C (OLIVEIRA *et al*, 2008) e a temperatura média anual é em torno de 24 °C (DIEGUES, 2009).

A temperatura da água nos pontos estudados mostrou pouca variação sazonal com médias

mínimas e máximas de 25,5 a 31,0 °C no período de cheia e de 23,0 a 31,3 °C no de seca (Figura 15), atingindo temperaturas maiores principalmente neste período, com exceção dos pontos RM1 e RM2 localizados no rio Madeira, já que este possui uma discordância do ciclo hidrológico em relação ao sistema Solimões/Amazonas pois a partir de abril inicia-se o seu ciclo de vazante, enquanto que o rio Amazonas ainda está no seu ciclo de cheia.

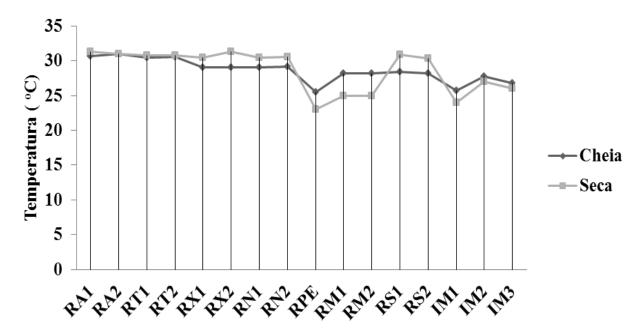


Figura 15. Variação da temperatura nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nas estações de cheia e seca de 2010.

5.2.2 pH

Os valores de pH não apresentaram diferença significativa nos períodos de cheia e seca (t = 0,31; p<0,05).

Os rios de água preta apresentaram os menores valores pH tanto no período de cheia com médias de 5,22 no Negro e 4,37 no Preto da Eva, quanto no período de seca com médias de 5,15

e 5,03, respectivamente (Figura 16), estes valores de pH estão dentro dos característicos para este tipo de água (JUNK, 1983; SIOLI, 1985; FORSBERG et al, 1999; KUCHLER, 2000) devido principalmente a alta percentagem de ácidos orgânicos, segundo LEENHEER (1980) 52% da quantidade de carbono orgânico dissolvido em águas pretas correspondem a ácidos húmicos e fúlvicos. KUCHLER *et al* (2000) encontrou valores de pH de 3,89 a 6,07 na bacia do rio Negro. Esse comportamento é conhecido como discordante dos valores de referência de pH de 6,00 a 9,00 apresentada na Resolução CONAMA 357/05, porém corresponde às características ambientais naturais dos corpos hídricos amazônicos (SEYLER e BOAVENTURA, 2003; LAGES *et al*, 2005; CUNHA & PASCOALOTO, 2006).

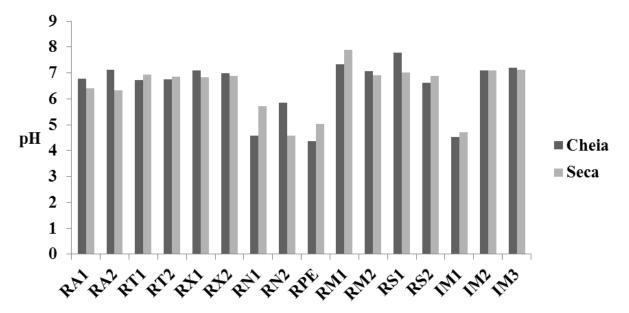


Figura 16. Valor médio de pH nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheia e seca de 2010.

Os rios de água branca apresentaram os maiores valores de pH na época de cheia, com valores de 7,2 tanto para o rio Madeira quanto para o Solimões, devido à presença de carbonatos

e bicarbonatos livres o que contribui para a maior alcalinidade dessa água (HORBE *et al*, 2005). Apresentando o mesmo comportamento no período de seca com médias de 7,4 para o rio Madeira e 6,95 para o Solimões. Os valores encontrados por KUCHLER *et al* (2000) no rio Solimões foram de 6,93 a 6,99 e GAILLARDET *et al* (1997) encontrou no rio Madeira valor médio de 6,73. Enquanto a matéria orgânica tende a tornar a água mais ácida, a geologia e os sedimentos em suspensão provenientes dos Andes, presente em maior quantidade nos rios de água branca, contribuem para manter o pH próximo a neutralidade, pois a dissolução dos silicatos por hidrólise consome íons H⁺ e eleva o pH das águas (QUEIROZ *et al*, 2009).

Os rios de água clara apresentaram comportamento intermediário, na cheia os valores foram de 6,96 para o rio Arapiuns, 6,75 para o Tapajós e 7,05 para o Xingu, já no período de seca os valores foram 6,37; 6,91 e 6,86 respectivamente para os três rios. Corroborando com os resultados de SANTOS e RIBEIRO (1988) cujo valor foi de 6,32 no rio Arapinus; TAPAJÓS et al (2011) encontrou valor de 6,5 no rio Tapajós no período de cheia.

No ponto IM1, localizado em uma nascente do igarapé do Mindu, o pH encontrado foi de 4,53 no período de cheia e 4,70 no de seca indicando que se trata de um ambiente de água ácida, assemelhando-se aos valores dos rios de água preta, fato esperado já que trata-se de um igarapé de águas pretas. As características ambientais naturais de igarapés na Amazônia, apresentam valores de pH ácidos, em geral de 3,7 a 5,9. A grande quantidade de ácidos graxos dissolvidos (substâncias produzidas durante a degradação da matéria orgânica proveniente da vegetação) e a formação geológica Alter do Chão da região contribuem para a apresentação natural de pH ácido nos igarapés (SEYLER e BOAVENTURA, 2003; LAGES, 2006; CUNHA & PASCOALOTO, 2006; OLIVEIRA, 2008).

Nos pontos IM2 e IM3 do igarapé do Mindu os valores de pH foram de 7,10 e 7,21

respectivamente no período de cheia e 7,1 e 7,12 no de seca. Estes valores indicando uma diminuição da acidez muito provavelmente associada aos despejos industriais e de esgotos domésticos na área de coleta, já que estes estão localizados em área de ocupação urbana no igarapé do Mindu que corrobora com os resultados encontrados por CLETO FILHO e WALKER (2001). A elevação de pH neste igarapé em parte deve-se provavelmente pela presença de amônia (NH₃), que é lançada no corpo hídrico pelos esgotos domésticos, pois é de origem de fezes humanas e animais. Com o excesso e emissão, pode-se observar o efeito da amônia que reage com a água através da reação: NH₃ + H₂O \rightleftharpoons NH₄⁺ + OH, a reação promove o aumento da concentração íons hidróxido (OH) na coluna d´água (SPERLING, 2005a), consequentemente ocorre a elevação do pH.

5.2.3 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água em conduzir corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água (CETESB, 2010). A condutividade elétrica nos rios variou de 7,05 μS cm⁻¹ a 83,8 μS cm⁻¹ (Figura 17), sendo os menores valores registrados em rios de água preta e os maiores em rios de água branca.

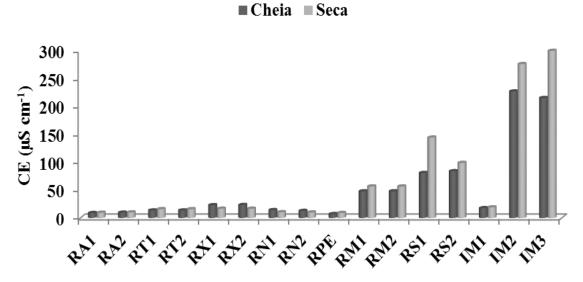


Figura 17. Valores médios de Condutividade elétrica nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010.

A alta condutividade dos rios de água branca é devido, principalmente, à presença de íons dissolvidos como Ca⁺², Mg⁺² e SO₄²⁻ (KRUSCHE *et al*, 2005). Os rios Madeira e Solimões apresentaram respectivamente médias de 47,81 μS cm⁻¹ e 82,25 μS cm⁻¹ no período de cheia e 56,51 μS cm⁻¹ e 121,43 μS cm⁻¹ no de seca. A condutividade no período de cheia é menor devido ao efeito diluidor que ocorre no período de cheia (ALMEIDA *et al*, 2007). LEENHEER (1980) encontrou valor médio de 72 μS cm⁻¹ no rio Solimões.

Os rios de água clara Tapajós e Arapiuns mostraram uma uniformidade entre si nos dois períodos estudados em relação aos valores de CE com médias de 13,57 e 9,7 µS cm⁻¹, respectivamente no período de cheia, já no período de seca os valores foram de 15,81 e 9,72 µS cm⁻¹ para os dois rios, notando breve aumento no período de seca, fato também observado por RAMOS e TANCRETI (1994) que encontrou valores de 13,48 a 14,84 µS cm⁻¹ no rio Tapajós e

de 13,67 μS cm⁻¹ no Arapiuns, o rio Xingu apresentou comportamento diferenciado com médias de 23,2 μS cm⁻¹ no período cheio e 16,65 μS cm⁻¹ no seco.

Os rios de água preta rio Negro e Preto da Eva apresentaram, respectivamente, valores de condutividade elétrica de 13,39 μ S cm⁻¹ e 6,05 μ S cm⁻¹ no período de cheia e 10,2 μ S cm⁻¹ e 9,02 μ S cm⁻¹ no período de seca. KUCHLER *et al* (2000), estudando a bacia do rio negro encontrou valores de condutividade elétrica ente 8,8 μ S cm⁻¹ a 28,6 μ S cm⁻¹.

Observou-se um enorme aumento da condutividade elétrica no igarapé do Mindu do ponto IM1 (17,83 μS cm⁻¹) para os ponto IM2 (261,8 μS cm⁻¹) e IM3 (299,5 μS cm⁻¹) no período de cheia, já que em trechos urbanizados a descarga de sólidos é muito maior (CLETO FILHO e WALKER, 2001) o que contribui para este aumento. Segundo o relatório de Impactos ambientais – RIMA (2008) a água que flui ao longo dos trechos urbanizados do igarapé do Mindu é de cor barrenta (água branca), com elevadas quantidades de sedimentos argilosos que fluem em suspensão, com valores de 75 mg L⁻¹ a 125 mg L⁻¹ na época de seca e 75 mg L⁻¹ a 237 mg L⁻¹ na estação chuvosa.

5.2.4 Cor e turbidez

A cor natural de um corpo aquático amazônico é decorrente da presença de substâncias orgânicas de origem vegetal, de estrutura química altamente complexa, que são lixiviadas do ambiente florestal para o aquático durante o processo de humificação (RIMA, 2008).

No período de cheia dos rios a cor variou de 11,45 mg Pt L⁻¹ a 144,36 mg Pt L⁻¹ (Figura 18), o maior valor foi encontrado no rio Negro com média de 140,99 mg Pt L⁻¹ devido à diluição de substâncias húmicas dissolvidas que dão cor à água desse rio (PINTO, 2004), o menor valor foi encontrado no rio Xingu com uma média de 1,13 mg Pt L⁻¹. O rio Preto da Eva apresentou

um valor de 53,86 mg Pt L⁻¹ contrastando com os de SANTOS *et al* (1971), cujos valores oscilaram entre 65 mg Pt L⁻¹ a 230 mg Pt L⁻¹.

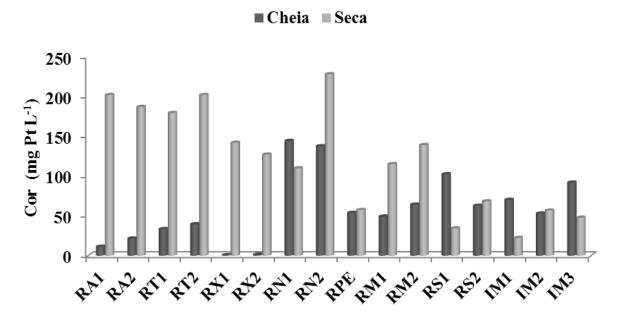


Figura 18. Média da cor nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010.

No período de seca a cor foi maior em quase todos os pontos com exceção dos pontos RN1 (109,96 mg Pt L⁻¹), RS1 (34,40 mg Pt L⁻¹), IM1 (22,44 mg Pt L⁻¹) e IM3 (47,87 mg Pt L⁻¹). O ponto RN2 referente ao rio negro apresentou o maior valor de cor neste período com 228,14 mg Pt L⁻¹, os valores de cor são maiores no período de seca devido à maior concentração das substâncias dissolvidas pois o volume de água é menor, já no período de cheia há diluição das substâncias devido ao maior volume de água dos rios. Segundo teste estatístico ANOVA, que avalia a diferença entre as variâncias de um grupo de dados a cor apresentou diferença significativa entre os períodos de seca e cheia (F = 7,98; p≤0,05).

Segundo resolução CONAMA 357/05 a cor verdadeira para corpos de água de classe II deve ser até 75 mg Pt L⁻¹, sendo que no período de seca todos os pontos estudados encontram-se fora dessa faixa com exceção dos pontos RPE, RS1, IM1, IM2 e IM3. Já no período de cheia os pontos se encontram dentro da norma estabelecida com exceção dos pontos RN1, RN2 e RS2. Rios de água preta encontram-se na sua área de captação enormes florestas inundáveis e o material orgânico produzido pela floresta, tais como folhas, galhos, etc., caem na água e decompõem-se, vários produtos dessa decomposição são solúveis e de coloração marrom ou avermelhada (ácidos húmicos e fúlvicos), provocando a cor escura desse tipo de água (JUNK, 1983).

Com relação à turbidez os maiores valores se deram nos rios de água branca nos dois períodos estudados, principalmente por esses rios apresentarem maiores quantidade de sólidos suspensos. Os valores oscilaram entre 0,78 a 102,96 NTU no período de cheia e 0,78 a 127,4 NTU no de seca (Figura 19), os baixos valores pertencem a rios de água clara que são mais límpidos e transparentes, pois também apresentaram os menores resultados de cor e baixa quantidade de sólidos em suspensão.

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 para corpos de água de classe II a turbidez indicada é de até no máximo 100 NTU, o rio Madeira apresentou valores acima desta especificação nos dois períodos estudados com médias de 102, 44 NTU no período de cheia e 126,1 NTU no de seca corroborando com os resultados de RIMA (2008) que encontrou valores entre 110 e 140 NTU, segundo MARTINELLI *et al* (1989) entre os rios com cabeceiras nos Andes bolivianos, este rio é maior transportador de material dissolvido com cerca de 3,7 × 10⁷ t/ano.

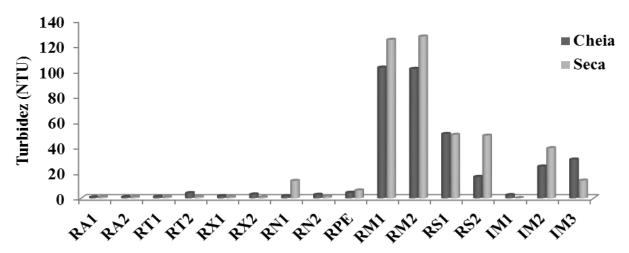


Figura 19. Média da Turbidez nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010.

5.2.5 Sólidos em suspensão (SS)

No período de cheia os sólidos totais em suspensão variaram de 0.8 a 5.6 mg L^{-1} nos rios de água clara; de 1.4 a 2.8 mg L^{-1} nos rios de água preta e 19.20 a 98.2 mg L^{-1} nos rios de água branca (Figura 20), tendo uma significativa oscilação nos pontos referentes ao rio Madeira.

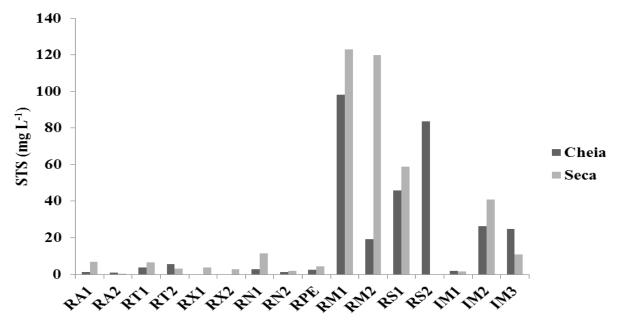


Figura 20. Concentração média de sólidos totais em suspensão nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheia e seca de 2010.

A quantidade de sólidos em suspensão foram, em geral, maiores no período de seca, isso, provavelmente está associado ao fato de na cheia grande parte do sedimento encontrar-se em suspensão, enquanto na seca ocorre maior deposição de sedimentos no fundo do rio (GALVÃO *et al*, 2009) as maiores concentrações encontradas foram nos rios de água branca Madeira e Solimões, que apresentaram médias de 101,5 e 58,8 mg L⁻¹, respectivamente, resultados discordantes com os de MEADE *et al* (1979) que afirma que a quantidade de material suspenso transportada pelo rio Solimões é maior que a carga transportada pelo Madeira.

Os rios de água preta apresentaram baixas concentrações com exceção do ponto RN1 que apresentou uma concentração de 11,6 mg L⁻¹. Nos rios de água clara os valorem variaram de 0,4 a 6,8 mg L⁻¹. Segundo CLETO FILHO E WALKER (2001) essa variação sazonal acontece devido a concentração de sólidos suspensos ser uma função do fluxo de água que varia com os

níveis de precipitação e com as fases de inundação.

Em relação ao igarapé do Mindu nota-se uma variação do ponto IM1 para os pontos IM2 e IM3, que apresentaram valores superiores a 20 vezes o valor do ponto localizado na nascente do igarapé (IM1) tanto no período de cheia quanto no período de seca, isso ocorre devido a grande quantidade de despejos domésticos que são lançados continuamente nessa região fato já observado por CLETO FILHO e WALKER (2001). E os esgotos orgânicos aumentam a quantidade de material em suspensão reduzindo a transparência da água (CAMARGO *et al*, 1995).

5.2.6 Carbono orgânico dissolvido (COD)

Uma representação direta da matéria orgânica em ambiente aquático é a análise de carbono orgânico dissolvido que caracteriza a matéria orgânica dissolvida em água natural (BAIRD, 2002). A quantidade e qualidade do carbono orgânico dissolvido (COD) variam em função da sua origem (SPERLING, 2005b). Os rios de águas claras apresentaram maiores concentrações de COD no período de cheia, apresentando diferença significativa entre os períodos estudados (t = 4,33; p<0,05).

Os rios Tapajós e Xingu apresentaram baixos valores de COD com uniformidade entre si no período de seca com médias de 1,56 mg L⁻¹ e 1,38 mg L⁻¹, respectivamente (Figura 21). No período de cheia o rio Tapajós comporta-se como rio de água branca devido a fatores antropogênicos (RAMOS E TANCRETI, 1994), e por isso apresentou a maior concentração de COD entre os rios de água clara neste período com média de 3,51 mg L⁻¹. O rio Arapiuns apresentou média de 3,04 mg L⁻¹ no período de cheia e 2,51 mg L⁻¹ no período de seca, no período de cheia esse rio sofre influência de águas pretas (RAMOS E TANCRETI, 1994),

contribuindo para o aumento da concentração de COD neste período. AMADO *et al* (2006) estudando um Lago de águas claras observou concentrações de COD de 5,04 mg L⁻¹ no período de seca e 5,52 mg L⁻¹ no de cheia.

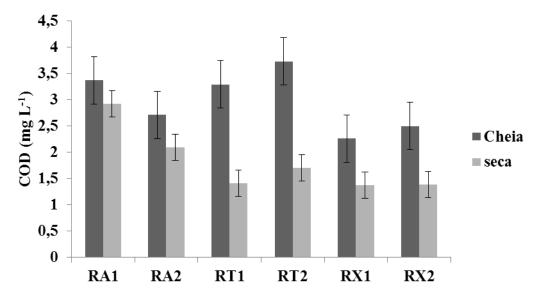


Figura 21. Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) nos rios Arapiuns (RA1 e RA2), Tapajós (RT1 e RT2) e Xingu (RX1 e RX2) nos períodos de cheia e seca de 2010.

Os rios de água preta apresentam maior quantidade de substâncias húmicas dissolvidas devido ao tipo de solo sobre os quais são formados e devido à baixa quantidade de nutrientes sofre acúmulo dessa carga orgânica (LEENHEER, 1980), o que lhe confere o aspecto negro de suas águas. Esses rios apresentaram maiores concentrações de COD, o rio Negro apresentou médias de 6,71 mg L⁻¹ no período de seca e 11,07 mg L⁻¹ no de cheia (Figura 22) comportamento já identificado por RICHEY *et al* (1990) que demonstra que a concentração de COD no rio negro aumenta no período cheio, muito provavelmente este fenômeno está associado ao processo de inundação que ocorre neste período aumentando a quantidade de matéria orgânica provenientes de vegetação oriundos das florestas. O maior valor de COD encontrado no período de cheia foi no rio Negro com média de 11,07 mg L⁻¹, corroborando com resultados de KUCHLER *et al*

(2000) que foi de 11,40 mg L⁻¹ para o mesmo período, de RICHEY *et al* (1990) que encontrou valores entre 7 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ e de LEENHEER e SANTOS (1980) onde os valores encontrados foram entre 10,0 mg L⁻¹ e 11,70 mg L⁻¹.

O rio preto da Eva apresentou concentrações médias de 4,18 mg L^{-1} e 3,98 mg L^{-1} nos períodos de seca e cheia, respectivamente, concentrações bem abaixo da média encontrada em rio de água preta da região amazônica. Os rios de água preta apresentaram diferença significativa entre si nos períodos estudados (t = 1,70; p<0,05).

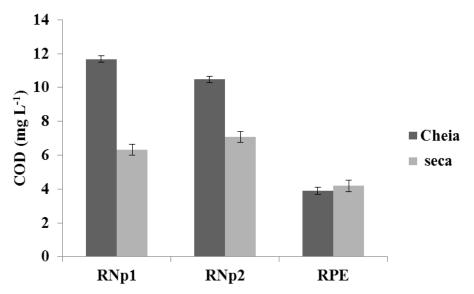


Figura 22. Concentração de carbono orgânico dissolvido nos rios Negro (RN1 e RN2) e Preto da Eva (RPE) nos períodos de cheia e seca.

Segundo LEENHEER (1980), a presença de sedimentos em suspensão nas águas brancas faz com que diminua a porcentagem de solutos hidrofóbicos (especialmente ácidos hidrofóbicos), devido à adsorção de ácidos húlmicos e fúlvicos aos sedimentos em suspensão. Os rios de água branca apresentaram um comportamento intermediário em relação ao COD entre os demais tipos de rios estudados, com as concentrações variando entre 3,47 mg L⁻¹ a 5,59 mg L⁻¹ no período de cheia e 2,94 mg L⁻¹ a 3,82 mg L⁻¹ no de seca (Figura 23).

O rio Solimões apresentou valores de 5,06 mg L⁻¹ no período de cheia e 3,37 mg L⁻¹ no de seca, os resultados diferem dos encontrados por KUCHLER *et al* (2000), onde as concentrações de COD no rio Solimões variaram entre 6,93 mg L⁻¹ a 6,99 mg L⁻¹, mas se assemelham aos de LEENHEER e SANTOS (1980) cujo valor encontrado foi de 4,1 mg L⁻¹. No rio Madeira as concentrações foram de 3,66 mg L⁻¹ e 3,22 mg L⁻¹ nos períodos de cheia e seca dos rios, respectivamente. Nas águas brancas foi observada diferença significativa entre as concentrações de COD nos períodos de seca e cheia (t = 2,77; p<0,05).

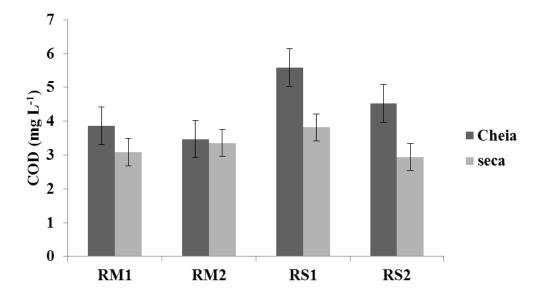


Figura 23. Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido nos rios Madeira (RM1 e RM2) e Solimões (RS1 e RS2) nos períodos de cheia e seca.

No igarapé do Mindu o COD teve uma média de 7,94 mg L⁻¹ no período de cheia e 1,65 mg L⁻¹ (Figura 24) no de seca no ponto IM1 que é um ponto referente a uma das nascentes deste igarapé, acompanhando a tendência observada nos rios estudados onde a concentração de COD diminui na seca. Já nos pontos IM2 e IM3, a tendência foi contrária, pois se observou um aumento no período de seca com médias de 10,13 mg L⁻¹ e 13,19 mg L⁻¹ neste período, já no

período de cheia as concentrações médias apresentadas pelos pontos IM2 e IM3 foram, respectivamente, 7,92 mg L⁻¹ e 7,2 mg L⁻¹. Segundo MARTINELLI *et al* (2002), essa variação acontece pois no período cheio há uma maior quantidade de água disponível para diluição da carga de esgoto, o que diminui a concentração do COD, já no período seco a quantidade de água é menor o que diminui a diluição e aumenta a concentração de COD.

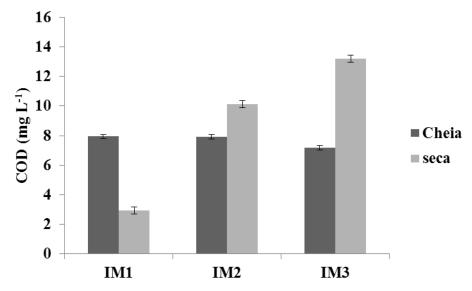


Figura 24. Concentrações médias de carbono orgânico dissolvido no igarapé do Mindu (IM1, IM2 e IM3) nos períodos de cheia e seca.

5.2.7 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros de qualidade da água. As concentrações de oxigênio foram em geral maiores no período de seca, devido ao menor aporte de sólidos neste período e, consequentemente a penetração de luz e produtividade primária são maiores. Na época de cheia com o maior aporte de sólidos nos rios a entrada de luz decresce, seguido do decréscimo da produtividade e, como consequência a concentração de oxigênio dissolvido também decresce (MARTINELLI *et al*, 2002) . Os teores de OD não apresentaram diferença significativa entre si nos períodos estudados (t = -2,65; p<0,05).

Os rios de água clara Arapiuns, Tapajós e Xingu apresentaram concentrações acima de 6 mg L⁻¹ tanto na época de cheia com média de 6,85 mg L⁻¹; quanto na época de seca com 7,45 mg L⁻¹ (Figura 25).

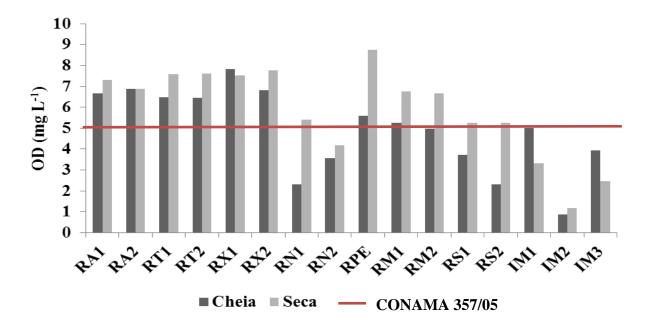


Figura 25. Concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos estudados nos períodos de cheia e de seca e comparação com valor de referência padrão estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.

Dentre os rios estudados o rio negro apresentou a menor concentração de oxigênio dissolvido com médias de 2,94 mg L⁻¹ na cheia e 4,80 mg L⁻¹ na seca, apresentando valores abaixo do recomendado pela resolução CONAMA 357/05, que estabelece uma concentração mínima de oxigênio dissolvido de 5 mg L⁻¹ para corpos de água de classe II, na Figura 25 observa-se a linha vermelha para esse valor de referência, proporcionando melhor visualização dos registros de OD fora do valor recomendado no CONAMA.. Os baixos valores de OD são característicos da região Amazônica para rios de águas pretas, que possuem maior quantidade de material orgânico dissolvido (SIOLI E KLINGE, 1962). O rio preto da Eva apresentou valores

superiores a 5 mg L⁻¹ nos dois períodos estudados, tendo a maior concentração de OD entre os ambientes estudados no período de seca com uma concentração de 8,75 mg L⁻¹.

Nos rios de água branca o Madeira apresentou valores médios de 5,13 mg L⁻¹ e 6,72 mg L⁻¹ nos períodos de cheia e seca, respectivamente, e o Solimões 3,02 mg L⁻¹ e 5,26 mg L⁻¹ nos mesmos períodos, corroborando com os resultados de DARWICH (1995), que encontrou médias de 2,9 mg L⁻¹ no período de cheia e 6,5 mg L⁻¹ no de seca.

As concentrações mais baixas de oxigênio do igarapé do Mindu foram encontradas no ponto IM2 com médias de 0,88 mg L⁻¹ no período de cheia e 1,17 mg L⁻¹ no de seca, o resultado obtido por LOPES *et al* (2008) para o mesmo ponto neste período foi de 0,72 mg L⁻¹. Nos pontos IM1 e IM3 as concentrações foram maiores na cheia com médias de 5,00 mg L⁻¹ e 3,95 mg L⁻¹, já na seca as médias foram de 3,32 mg L⁻¹ no IM1 corroborando com os resultados de LOPES *et al* (2008) que foi de 3,55 mg L⁻¹; e 2,45 mg L⁻¹ no IM3.

5.2.8 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O teste da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um índice ambiental crucial para determinar a necessidade de oxigênio das águas residuais, efluentes e águas poluídas, pois mede o oxigênio molecular utilizado durante um período de incubação especificado para a degradação bioquímica da matéria orgânica (demanda carbonácea) e o oxigênio utilizado para oxidar material inorgânico como sulfetos e íons ferrosos (RASTOGI *et al*, 2003).

Os rios estudados e o ponto da nascente do igarapé do Mindu apresentaram baixas DBO's comprovando que estes corpos de água não apresentam influência antrópica e preservam suas características naturais, pois apresentaram concentrações bem abaixo do indicado pela resolução CONAMA 357/05 para corpos de água de classe II que estima um valor de até 5 mg O₂ L⁻¹.

Os rios de água clara apresentaram valores variando de 0,78 mg O_2 L⁻¹ a 1,51 mg O_2 L⁻¹ no período de cheia e 0,05 mg O_2 L⁻¹ a 1,58 mg O_2 L⁻¹ no de seca (Figura 26), já os rios de água preta apresentaram valores entre 0,15 mg O_2 L⁻¹ a 1,39 mg O_2 L⁻¹ na cheia e 0,55 mg O_2 L⁻¹ e 1,59 mg O_2 L⁻¹ na seca e os rios de água branca apresentaram valores entre 0,2 mg O_2 L⁻¹ e 1,43 mg O_2 L⁻¹ na cheia e 1,11 mg O_2 L⁻¹ a 1,49 mg O_2 L⁻¹ na seca.

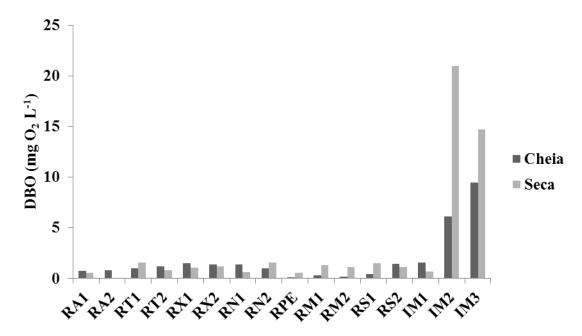


Figura 26. Valores médios da demanda bioquímica de oxigênio nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia e seca de 2010.

Segundo AMON e BENNER (1996), a disponibilidade da matéria orgânica dissolvida para as bactérias heterotróficas, depende da sua composição bioquímica e tamanho molecular, das concentrações de nutrientes inorgânicos e outros fatores ambientais, como a temperatura. Assim como o rio negro tem baixa quantidade de nutrientes (LEENHEER, 1980) e possui grande fração da quantidade de COD de alto peso molecular (AMON e BENNER, 1996) apresentou os menores valores de DBO na época de cheia. Na época de seca notou-se um aumento da DBO nas

águas pretas, segundo SUHETT *et al* (2006), no período de águas altas o COD é basicamente de origem alóctone mais reativo à luz e sua biodisponibilidade é positivamente afetada pela luz solar, em contraste no período de águas baixas o COD é principalmente de origem autóctone (algal), e menos foto-reativo e seu consumo pelas bactérias não é afetado pela luz, ou seja como no período de águas altas há a influência de material orgânico proveniente das florestas a DBO é menor neste período.

No igarapé do Mindu, a DBO no IM1 foi de 1,56 mgO₂ L⁻¹ no período de cheia e de 0,69 mgO₂ L⁻¹ no de seca, notando-se um aumento de 4 vezes (6,11 mgO₂ L⁻¹) para o IM2 e de 6 vezes (9,45 mgO₂ L⁻¹) para o IM3 no período de cheia, já na seca o aumento foi muito maior, aproximadamente 30 vezes (21,0 mgO₂ L⁻¹) no IM2 e 20 vezes (14,73 mgO₂ L⁻¹) no IM3. Esse aumento é reflexo da entrada de esgotos domésticos, devido à grande ocupação dos pontos IM2 e IM3 por residências.

Segundo o teste T a DBO não apresentou diferença significativa nos períodos estudados (t = -1,29; p<0,05).

5.2.9 Demanda química de oxigênio (DQO)

Os valores de DQO normalmente são maiores que os da DBO, e seu aumento num corpo d'água se deve, principalmente, a despejos industriais (CETESB, 2011). Devido ao seu alto poder dos oxidantes utilizados na determinação da DQO, eles oxidam substâncias que não seriam oxidadas pelo O₂ na determinação da DBO, como por exemplo, a oxidação da celulose a CO₂, e de Cl⁻ a Cl₂. Por isso, o valor de DQO de uma amostra de água é, em geral, maior que o valor da DBO. No entanto, nenhum dos métodos de análise oxida hidrocarbonetos aromáticos ou muitos alcanos, que são resistentes em qualquer circunstância à degradação em águas naturais (BAIRD,

2002; SPERLING, 2005a).

Os valores da DQO foram em geral maiores no período de cheia, com exceção dos pontos RM1, RS1 e IM3, segundo o teste T a DQO apresentou diferença significativa nos períodos avaliados (t = 2,08; p<0,05).

Nos rios de água clara a DQO variou de $0,65~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ a $5,24~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ no período de seca, observando um considerável aumento na época de cheia destes rios, quando os valores variaram de $12,0~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ a $21,61~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ (Figura 27).

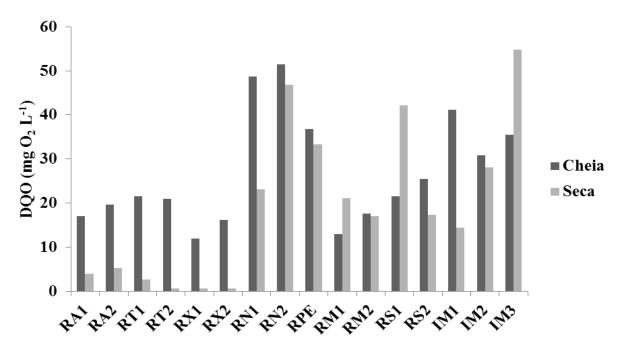


Figura 27. Valores médios da demanda química de oxigênio (DQO) nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) nos períodos de cheia e de seca de 2010.

Dentre os rios de águas pretas, o rio negro apresentou médias de DQO de $50,10~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ e $37,97~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ nos períodos de cheia e seca, respectivamente. No rio preto da Eva os valores foram de $36,79~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ no período de cheia e $33,29~\text{mgO}_2~\text{L}^{-1}$ no período de seca, observando

um aumento em relação aos registros realizados por SANTOS *et al* (1971) onde os valores médios foram de $28,25 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ e $37,0 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ na cheia e na seca, respectivamente.

Nos rios de água branca os valores foram de 15,31 mgO₂ L⁻¹ no rio Madeira e 23,49 mgO₂ L⁻¹ no Solimões no período de cheia, na seco as médias foram de 19,03 mgO₂ L⁻¹ e 29,71 mgO₂ L⁻¹ nos rios Madeira e Solimões, respectivamente, notando-se uma considerável diferença do ponto RS1 (42,12 mgO₂ L⁻¹) para o RS2 (17,29 mgO₂ L⁻¹) do rio Solimões neste período.

De acordo com o CONAMA 357/05 não há um valor padrão de DQO, mas de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS) em águas superficiais naturais o valor de DQO é de 20 mg O_2 L^{-1} ou menos. No contexto de saúde pública, é importante ressaltar que muitas populações ribeirinhas da região Amazônica coletam água diretamente do rio para consumo.

No igarapé do Mindu nota-se concentrações próximas no período de cheia sendo o maior valor encontrado no IM1 (41,2 mgO₂ L⁻¹) seguido do IM3 (35,51 mgO₂ L⁻¹) e por último o IM2 (30,82 mgO₂ L⁻¹). No período de seca o maior valor é do IM3 (54,76 mgO₂ L⁻¹), seguido do IM2 (28,1 mgO₂ L⁻¹) e IM1 (14,41 mgO₂ L⁻¹), segundo a OMS em águas receptoras de efluentes a DQO é acima de 200 mgO₂ L⁻¹ e em águas residuais industrial esse valor varia de 100 mgO₂ L⁻¹ a 60 000 mgO₂ L⁻¹.

5.2.10 Relação DBO/DOO

A relação DBO/DQO indica a variação da fração orgânica biodegradável, quanto maior seu valor maior a fração biodegradável (WARITH, 2002). O decréscimo da concentração de OD está diretamente associado à DBO e esta é uma medida do carbono biodegradável (SPERLING, 2005a).

No período de cheia dos rios a relação DBO/DQO variou de 0,004 a 0,27 (Tabela 3), sendo

estes o menor e o maior valores encontrados foram no RPE no rio preto da Eva e no ponto IM3 no igarapé do Mindu, respectivamente. Os baixos valores da relação DBO/DQO, principalmente nos rios de água preta, que apresentaram os menores valores sendo o rio Negro com valor médio de 0,025 e Preto da Eva com 0,004 comprovam a presença de matéria orgânica não biodegradável, que são principalmente substâncias húmicas caracterizadas como de alta massa molecular, ácidos orgânicos de cor amarela que são produtos finais refratários na degradação da matéria orgânica vegetal e microbiana (MACKNIGTH, 1985).

Tabela 3. Concentrações de DBO e DQO e cálculo da relação DBO/DQO nos períodos de cheia e seca.

		Che	eia	Seca			
	DBO	DQO	DBO/DQO	DBO	DQO	DBO/DQO	
RA1	0,78	17,02	0,05	0,59	3,93	0,15	
RA2	0,79	19,64	0,04	0,05	5,24	0,01	
RT1	0,99	21,61	0,05	1,58	2,62	0,60	
RT2	1,2	20,93	0,06	0,79	1,65	0,48	
RX1	1,51	12,0	0,13	1,09	1,65	0,66	
RX2	1,4	16,14	0,09	1,18	1,65	0,72	
RN1	1,394	48,71	0,03	0,62	23,1	0,03	
RN2	1,03	51,48	0,02	1,59	46,83	0,03	
RPE	0,15	36,79	0,004	0,55	33,29	0,02	
RM1	0,32	13,03	0,02	1,3	21,06	0,06	
RM2	0,2	17,59	0,01	1,11	16,99	0,07	
RS1	0,44	21,57	0,02	1,49	42,12	0,04	
RS2	1,428	25,41	0,06	1,143	17,29	0,07	
IM1	1,56	41,20	0,04	0,69	14,41	0,05	
IM2	6,11	30,82	0,20	21,0	28,1	0,75	
IM3	9,45	35,51	0,27	14,73	54,76	0,27	

No período de seca a variação foi de 0,01 a 0,75, sendo o menor valor encontrado no rio Arapiuns e o maior no ponto IM2 do igarapé do Mindu. Os rios de água clara Tapajós e Xingu que apresentaram altos valores da relação DBO/DQO de 0,54 e 0,69, respectivamente, não

apresentam indícios de poluição, pois os valores de DBO se encontram dentro do recomendável (≤ 5 mg L^{-1}).

A taxa de 0,4 a 0,8 implica numa grande quantidade de fração orgânica biodegradável (WARITH, 2002), que indica o recebimento de efluentes domésticos no corpo hídrico, fato observado nos pontos IM2 e IM3 no período de cheia com valores de 0,20 a 0,27, respectivamente e no seco 0,75 e 0,27.

5.3 Diferenciação quanto às características físicas e químicas

Os coeficientes de variação para o conjuntos de todos os parâmetros estudados foram altos confirmando a heterogeneidade da bacia Amazônica conforme descrito por autores clássicos como SIOLI (1953) e JUNK (1983). Os parâmetros físicos: condutividade elétrica e turbidez apresentaram coeficientes de variação acima de 90% tanto no período de seca quanto na cheia, já os indicadores de matéria orgânica apresentaram coeficientes de variação acima de 40% nos dois períodos hidrológicos avaliados (Tabelas 2 e 3).

Tabela 4. Média, desvio padrão e coeficiente de variação de alguns parâmetros analisados entre todos os pontos de coleta no período de cheia.

	CE	Cor	Turbidez	рН	COD	DBO	DQO	OD
X^*	52,83	58,69	22,01	6,50	5,28	1,80	26,84	4,92
DP^{**}	69,97	43,31	34,38	1,07	2,91	2,46	12,47	1,97
CV (%)***	132,43	73,81	156,24	16,50	55,12	136,84	46,46	40,13

média; **desvio padrão; ***coeficiente de variação.

Tabela 5. Média, desvio padrão e coeficiente de variação de alguns parâmetros analisados entre todos os pontos de coleta no período de seca.

	CE	Cor	Turbidez	рН	COD	DBO	DQO	OD
X^*	66,50	148,43	25,54	6,45	4,17	3,09	19,48	5,87
DP^{**}	94,45	119,47	43,47	0,95	3,41	5,89	17,54	2,15
CV (%)***	142,02	80,48	170,18	14,76	81,96	190,50	90,04	36,59

* média; ** desvio padrão; *** coeficiente de variação.

As características heterogêneas da malha hidrográfica Amazônica com propriedades físicas e químicas diferenciadas entre seus rios é evidenciada através da análise de Cluster que agrupou os corpos de água conforme suas características levando em consideração as concentrações de COD e OD, a DBO e DQO, e de sólidos suspensos e ainda quanto as variações de condutividade elétrica, cor, turbidez, temperatura e pH (Figura 28).

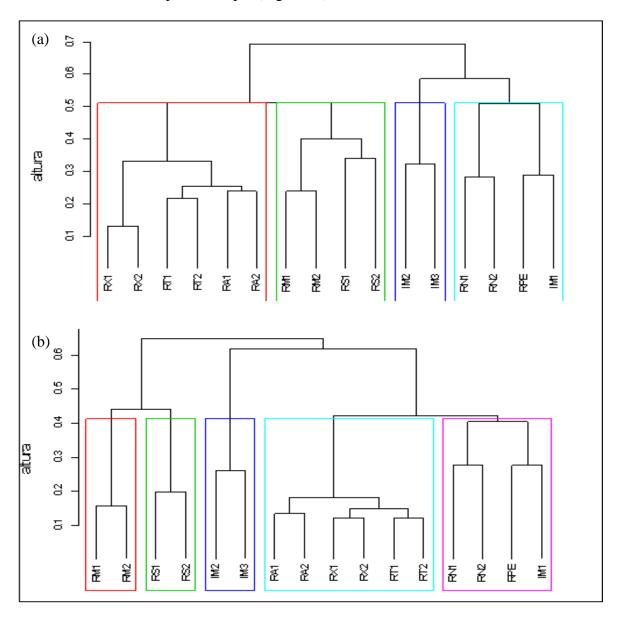


Figura 28. Análise de Cluster para os pontos estudados de acordo com as variáveis: COD, OD, cor, turbidez, temperatura, DBO, DQO, pH e condutividade elétrica e série de sólidos nos períodos de (a) cheia e (b) seca.

O agrupamento mostrou uma distribuição dos ambientes estudados conforme descritos classicamente na literatura. Os pontos do rio Negro apresentaram características semelhantes ao do rio Preto da Eva já que ambos são classificados como rios de águas pretas (SIOLI 1953); o ponto IM1 referente à nascente do igarapé do Mindu, inserido neste grupo, é um igarapé pertencente a micro bacia do Igarapé do São Raimundo, tributário do rio Negro. Os rios Tapajós, Xingu e Arapiuns formaram um outro grupo pois estes são classificados em rios de água clara. Formando o grupo de rios água branca a análise demonstra os rios Madeira e Solimões. Formouse ainda outro grupo com os pontos IM2 e IM3 referentes ao igarapé do Mindu que apresentam alto grau de poluição, pois se encontram em áreas de grande ocupação urbana e são constantemente destinos de esgotos industriais e principalmente domésticos.

5.4 Relações entre o oxigênio dissolvido e os indicadores de MO

Na época de cheia os maiores valores de carbono orgânico dissolvido (COD) encontrados são os do rio Negro com uma média de 11,7 mg L⁻¹ e de DQO, 50,01 mgO₂ L⁻¹, onde encontraram-se também os menores valores de OD com uma média de 3,48 mg L⁻¹ (Figura 29).

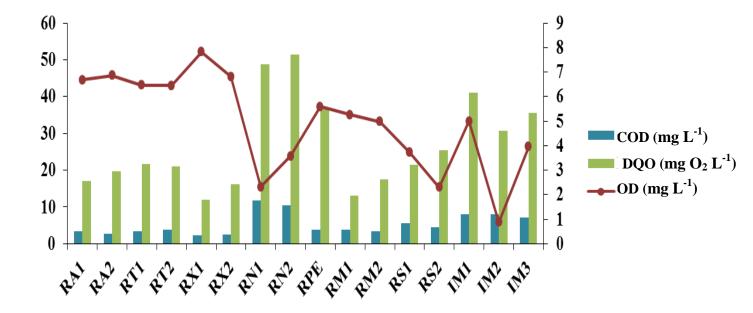


Figura 29. Concentrações de carbono orgânico dissolvido, DQO e oxigênio dissolvido nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de cheia de 2010.

Os rios de água clara, Arapiuns, Tapajós e Xingu, foram os que apresentaram menores concentrações dos indicadores de matéria orgânica tanto em relação à DQO, com média de 17,89 mgO₂ L⁻¹; quanto em relação ao COD com uma média de 2,98 mg L⁻¹ apresentando comportamento inverso do encontrado no Rio Negro, já que estes rios apresentaram as maiores concentrações de OD com valores em torno de 6,54 mg L⁻¹.

Os rios de água branca apresentaram um comportamento intermediário em relação aos demais rios estudados, pois apresentaram médias de COD de 4,36 mg L^{-1} e DQO de 19,40 mgO₂ L^{-1} , enquanto que a concentração média de OD foi de 4,07 mg L^{-1} .

Nos pontos referentes ao igarapé do Mindu não nota-se muita diferença entre as concentrações de COD, que foram de 7,94 mg L⁻¹, 7,92 mg L⁻¹, e 7,20 mg L⁻¹, para os pontos

IM1, IM2 e IM3, respectivamente; e DQO que no ponto IM1 foi de 41,20 mg L⁻¹, no IM2 foi de 30,82 mg L⁻¹ e no IM3 foi de 35,51 mg L⁻¹. No entanto, nas concentrações de oxigênio houve uma notável variação nos pontos avaliados com médias de 5,00 mg L⁻¹ no ponto IM1, 0,88 mg L⁻¹ no ponto IM2 e 3,95 mg L⁻¹ no ponto IM3. O ponto IM1 trata-se de uma nascente do igarapé do Mindu e está localizado em área protegida por fragmento de floresta por isso está de acordo com características naturais de igarapés de água preta, já os pontos IM2 e IM3 possuem maior quantidade de matéria orgânica biodegradável, sendo esta proveniente principalmente de esgotos que são lançados diretamente nestes pontos contribuindo para a diminuição das concentrações de oxigênio.

Usando a análise estatística verificou-se uma correlação negativa entre as concentrações de COD e OD com um coeficiente de -0,74 ao nível de 95 % de confiança (Figura 30) e entre DQO e OD com coeficiente de -0,58 com 95% de confiança (Figura 31) no período de cheia, mostrando a interdependência desses parâmetros neste período.

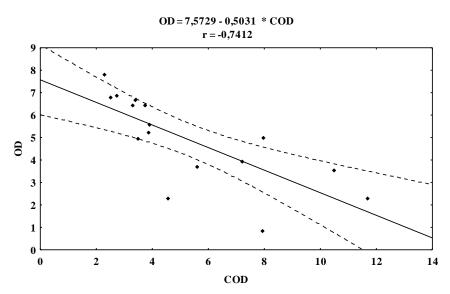


Figura 30. Correlação entre carbono orgânico dissolvido (COD) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010.

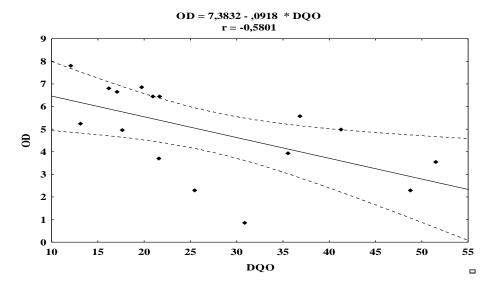


Figura 31. Correlação entre demanda química de oxigênio (DQO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010.

No período de seca os maiores valores de COD e DQO foram encontrados no igarapé do Mindu com médias de 8,32 mg L⁻¹ e 32,42 mg L⁻¹ onde consequentemente encontraram-se as menores concentrações de OD com valor médio de 2,31 mg L⁻¹ (Figura 32).

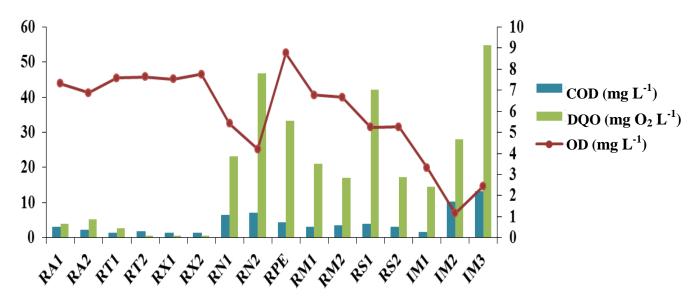


Figura 32. Concentrações de carbono orgânico dissolvido, DQO e oxigênio dissolvido nos pontos estudados (RA1 e RA2- Rio Arapiuns; RT1 e RT2 – Rio Tapajós; RX1 e RX2 – Rio Xingu; RN1 e RN2 – Rio Negro; RPE – Rio Preto da Eva; RM1 e RM2 – Rio Madeira; RS1 e RS2 – Rio Solimões; IM1, IM2 e IM3 – Igarapé do Mindu) no período de seca de 2010.

Nos rios de água preta observou-se diminuição da concentração de COD em relação ao período de cheia com valor médio de 8,68 mg L⁻¹ e assim observou-se um aumento das concentrações de OD com média de 6,12 mg L⁻¹. A concentração média de DQO neste período para os rios de água preta foram de 34,40 mg L⁻¹.

Os rios de água clara permanecem com as menores concentrações de COD (1,82 mg L^{-1}) e DQO (2,29 mg $O_2 L^{-1}$), neste período, e as maiores de OD (7,45 mg L^{-1}).

Os rios de água branca, neste período, apresentaram valor intermediário entre os demais tipos de rios estudados, comportamento também identificado no período de cheia com concentrações de COD, DQO e OD de 3,30 mg L⁻¹, 24,38 mg O₂ L⁻¹ e 5,99 mg L⁻¹, respectivamente.

A correlação significativa negativa evidencia a interdependência dos parâmetros OD e COD com coeficiente de -0,74 ao nível de 95% de confiança (Figura 33) e entre OD e DQO com coeficiente de -0,59 (p≤0,05) (Figura 34) na época de seca. Comprovando a tendência contrária entre as concentrações dos indicadores de matéria orgânica (COD e DQO) e OD nos dois períodos avaliados e demonstrando que as concentrações de matéria orgânica controlam os níveis de oxigênio na coluna d'água, nos diferentes ambientes aquáticos.

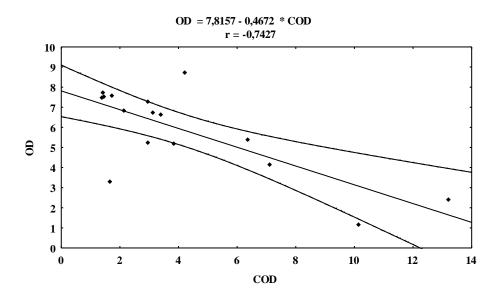


Figura 33. Correlação entre carbono orgânico dissolvido (COD) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010.

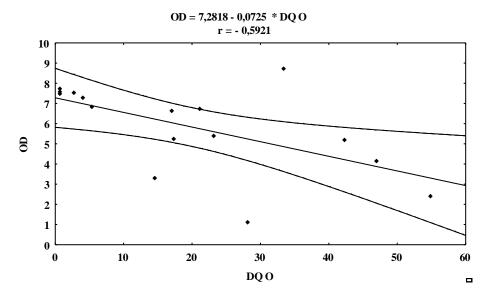


Figura 34. Correlação entre demanda química de oxigênio (DQO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) não apresentou correlação significativa no período de cheia r^2 = -0,40 (Figura 35), já na seca o coeficiente encontrado foi de -0,75 (Figura 36) a um nível de 95% de confiança, demonstrando que a demanda de decomposição pelos

microrganismos também controlam os níveis de oxigênio nos ambientes aquáticos. Segundo AMADO *et al* (2006) o COD é mais disponível para as bactérias quando ele se origina a partir de algas, e mais disponível para as reações fotoquímicas quando se origina na floresta, que na região Amazônica é mais comum na época de cheia devido ao pulso de inundação, por isso o consumo da DBO foi maior na seca.

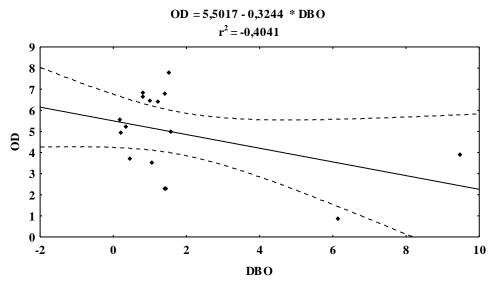


Figura 35. Correlação entre demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de cheia de 2010.

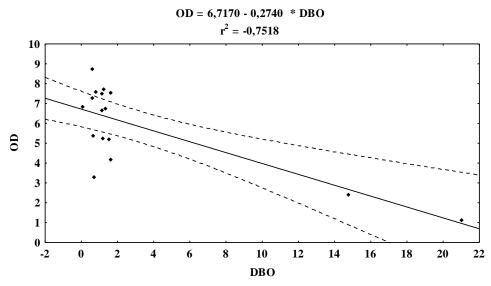


Figura 36. Correlação entre demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido

(OD) (P≤0,05) nos pontos estudados no período de seca de 2010.

5.5 Correlação entre indicadores de MO

No período de cheia dos rios a matéria orgânica é principalmente de origem alóctone (SUHETT *et al*, 2006), devido ao processo de inundação dos rios da região Amazônica e por isso contém grandes quantidade de ácidos orgânicos (LEENHEER, 1980). Por esse motivo a análise estatística evidencia a correlação significativa entre o pH e o COD ($r^2 = -0.52$; $p \le 0.05$) e pH e DQO ($r^2 = -0.71$; $p \le 0.05$) neste período (Tabela 6), já no período de seca não nota-se correlação significativa entre estes parâmetros (Tabela 7).

Tabela 6. Matriz de correlação entre os parâmetros indicadores de matéria orgânica no período de cheia dos rios.

	рН	COD	DBO	DQO
pН	1,00	-0,52	0,22	-0,71
COD		1,00	0,33	0,89
DBO			1,00	0,24
DQO				1,00

^{*}As correlações marcadas são significativas (P≤0,05) de acordo com o programa STATISTICA 6.0.

Tabela 7. Matriz de correlação entre os parâmetros indicadores de matéria orgânica no período de seca dos rios.

	pН	COD	DBO	DQO
рН	1,00	0,004	0,28	-0,21
COD		1,00	0,81	0,79
DBO			1,00	0,44
DQO				1,00

^{*}As correlações marcadas são significativas (P≤0,05) de acordo com o programa STATISTICA 6.0.

A análise estatística evidencia uma correlação significativa positiva entre os indicadores de MO, DQO e COD com coeficientes de 0,89 (p≤0,05) na cheia e 0,79 na seca, de acordo com o programa *STATISTICA 6.0*. Os valores de DQO são mais elevados devido à reação de maior energia envolvida, pois se trata de uma oxidação que ocorre em meio ácido e a determinação de COD limita-se à fração orgânica, pois a na DQO certos constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no seu resultado.

O parâmetro DBO não apresentou correlação com os demais no período de cheia, no entanto isso se deve principalmente aos baixos valores encontrados, pois na Amazônia a maior parte da matéria orgânica é constituída de biopolímeros que devido ao seu alto peso molecular possuem alta resistência à decomposição microbiana (AMORIM *et al*, 2009). Já na época de seca dos rios apresentou correlação significativa positiva com o COD ($r^2 = 0.81$; $p \le 0.05$) e com a DQO ($r^2 = 0.79$; $p \le 0.05$).

6. CONCLUSÕES

Os resultados demostram que os valores de pH, condutividade elétrica, cor, turbidez e sólidos em suspensão estão em conformidade com a literatura, tanto em relação aos rios quanto aos diferentes tipos de água, confirmando a heterogeneidade da Bacia Amazônica e demonstrando preservação em relação às características naturais dos rios estudados. Com exceção da cor os parâmetros analisados não apresentam diferença significativa entre os períodos hidrológicos de cheia e seca a 95% de confiança segundo o teste estatístico ANOVA. Já segundo o teste t, os parâmetros que apresentaram diferença significativa foram o COD e a DQO.

Os rios de água preta apresentaram os parâmetros pH, cor e oxigênio dissolvido fora dos valores de referência estabelecidos na resolução CONAMA 357/05, mesmo sendo pontos sem influência antropogênica, portanto esses valores são influenciados por processos naturais, principalmente devido à presença marcante de matéria orgânica natural da degradação de vegetação Os rios de água branca apresentaram os valores de cor e turbidez fora da faixa de referência, porém nesses rios há um grande aporte de sólidos que não são de origem de despejos e sim devido sua formação geológica, pelo carreamento de sólidos provenientes dos Andes., o que contribui para o aumento no nível desses parâmetros.

O igarapé do Mindu situado na zona metropolitana de Manaus demonstra estado de preservação quanto às características naturais em sua nascente, IM1, nos dois períodos avaliados, pois seus valores assemelham-se aos do Rio Negro seu principal tributário, avaliação confirmada pela análise de Cluster que associou este ponto com os rios de água preta. É notado forte impacto nos outros pontos deste igarapé, IM2 e IM3, resultado esperado já que estes se situam em áreas fortemente ocupadas por residências e são destinos de despejos proveniente destas e também industriais.

Notaram-se correlações negativas entre os indicadores de matéria orgânica e oxigênio dissolvido, evidenciando que as concentrações de MO controlam os níveis de OD tanto em ambiente natural quanto impactado. Pois quando foi determinado maior presença de MO nos pontos estudados o oxigênio apresentou-se em menores concentrações

Os resultados evidenciam a correlação entre os indicadores de MO (COD, DQO, DBO e pH), observando a exceção da DBO pois apresentaram baixos valores de correlação com os demais parâmetros, principalmente na época de cheia, no entanto isso comprova a maior presença de MO não biodegradável nos ambientes naturais. A avaliação da DBO foi importante para mostrar que os valores baixos de OD nos ambientes naturais podem ocorrer pela grande presença de matéria orgânica, mesmo não sendo a MO de fácil assimilação biológica, como a proveniente dos esgotos domésticos.

A relação DBO/DQO ajudou na apresentação da diferenciação da MO entre os diferentes ambientes aquáticos estudados. Os valores acima de 0,2 obtidos nos pontos de ambiente poluído indicaram maior presença de MO biodegradável. Nos demais pontos em ambiente natural, os valores foram de abaixo de 0,1 apresentando maior presença de MO não biodegradável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Água. NBR 10664/89. Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico - Método de ensaio. **1989**.

ALCÂNTARA, E.; STECH, J. L.; BARBOSA, C.; NOVO, E.; SHIMABUKURO, Y. Integração de dados de alta frequência temporal e imagens MODIS/TERRA para o estudo da turbidez na planície de Curai. *XII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*. Florianópolis, Brasil. p. 6549-6556. **2007**.

ALMEIDA, M. G.; REZENDE, C. E.; SOUZA, C. M. M. Variação temporal, transporte e partição de Hg e carbono orgânico nas frações particulada e dissolvida da coluna d'água da bacia inferior do rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil. *Geochimica Brasiliensis*. v. 21. p. 111-128, **2007**.

AMADO, A. M.; FARJALLA, V. F.; ESTEVES, F. A.; BOZELLI, R. L.; ROLAND, F.; ENRICH-PRAST, A. Complementary pathways of dissolved organic carbon removal pathways in clear-water Amazonian ecosystems: photochemical degradation and bacterial uptake. *Federation of European Microbiological Societies*. v. 56. p. 8-17, **2006**.

AMON, R.M.W; BENNER, R. Photochemical and microbial consuption of dissolved organis carbon and dissolved oxygen in the Amazon river sytem. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.60, p. 1783-1792, **1996**.

AMORIM, M. A.; MOTERIRA-TURCQ, P. A.; TURCQ, B. J.; CORDEIRO, R. C. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na várzea do lago grande de Curai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*. v. 39. p. 165-172, **2009**.

ANA - Agência Nacional de Águas. Disponível em:http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>Acessado em: 25/10/2011.

ANSA-ASSARE, O.D.; MARR, I.L.; CRESSER, M.S. Evaluation of modelled and measured patterns of dissolved oxygen in a freshwater lake as an indicator of the presence of biodegradable organic pollution. *Pergamon.* v.99. p. 1079-1087, **2000**.

APHA - American Public Health Association; American Water Work Associatin – AWWA; Water Pollution Control Federation – WPCF. Standar Methods of the Experimination of Water

and Wasterwater. ed. New York, p.1268, 2005.

APRILE, F. M.; DARWICH, A.J. Regime térmico e a dinâmica do oxigênio em um lago meromítico de águas pretas da região Amazônica. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. v. 13. p. 37-43, **2009**.

APRILE, F.M.; MERA, P.A.S. Fitoplâncton e fitoperifíton de um rio de águas pretas da Amazônia periférica do norte, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. v. 11. p. 1-14, **2007**.

BAIRD, C. Química Ambiental. Porto Alegre. Ed. Bookman, p.622, 2002.

BAI. V, R.; BOUWMEESTER, R.; MOHAN, S. Fuzzy logic water quality index and importance of quality parameters. *Air, soil, and water research.* v.2. p. 51-59, **2009**.

BILLOTA, G. S.; BRAZIER, R. E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*. v. 42. p. 2849-2861, **2008**.

BOUILLON, S.; CONNOLLY, R. M.; LEE, S. Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: recent insights from stable isotope studies. *Journal of sea research*. v. 59. p. 44-58, **2008**.

CAMPOS, Z. E. S. Parâmetros físicos-químicos em igarapés de água clara e preta ao longo da rodovia BR- 174 entre Manaus e Presidente Fiqueiredo-AM. **1994**. Dissertação (mestrado em química na área de Geologia Ambiental)-Instituto de Geociências. Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

CAMPOS, A. B. S. P. Geoquímica das águas da várzea do Lago grande de Curaí e análise da influência do Rio Amazonas. **2005**. Dissertação (mestrado em Geociências) — Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília.

CARLSSON, L.; PERSSON, J.; HAKANSON, L. A management model to predict seasonal variability in oxygen concentration and oxygen consumption in thermally stratified coastal waters. *Ecological Modelling*. V. 119, p. 117-134, **1999**.

CETESB – Companhia Amabiental do estado de São Paulo, *Secretaria do meio* ambiente. **2010** Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#condutividade

CLETO FILHO, S. E. N.; WALKER, I. Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um igarapé da cidade de Manaus/AM — Amazônia central. *Acta Amazônica*. v. 31(1), p. 69-89, **2001**.

CONAMA Nº 357/2005 - "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."- Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU: 18/03/2005.

CUNHA, C. L. N.; FERREIRA, A. P. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. *Caderno de saúde pública do rio de janeiro*. v. 22(8). p. 1715-1725, **2006**.

CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, D. Hidroquímica dos rios da Amazônia. *Centro cultural dos povos da Amazônia*. 147p. **2006**.

DARWICH, A. J. Processos de decomposição de Echinochloa Polystachya (H. B. K.) Hitchocock (Graminae = Poaceae), capim semi-aquático da várzea Amazônica. Tese apresentada ao programa de pós-graduação em biologia tropical e recursos naturais do convênio INPA/UFAM. **1995**.

DEGENS, ET. Riverine Carbon, an overview. Mitt. Geol. v. 52. p.1-12, 1982.

DEVOL, A. H.; FORSBERG, B. R.; RICHEY, J. E.; PIMENTEL, T. P. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimões) River: a multiyear time series. *Global biogeochemical cycles*, v. 9, p. 307-328, **1995**.

ESTEVES, A.F. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, p.602,1998.

FILIZOLA, N.P. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira. **1997**. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília.

FILIZOLA, N.P.; GUYOT, J. L. BOAVENTURA, G. Fluxo de sedimentos em suspensão na Amazônia – uma análise a partir da base de dados da ANNEL, *Manaus - Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins*, Manaus, Brasil. **1999**.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FREITAS, M. A. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. *Caminhos da Amazônia uma perspectiva interdisciplinar*. p. 33-53, **2002**.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*.v.28, p. 3-27, **1998**.

FORSBERG, M. C. S.; FORSBERG, B. R.; ZEIDEMANN, V. K. Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon basin. *Ambio*. v.28. p. 519-521, **1999**.

GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C. J.; NÉGREL. Chemical and physical denudation in the Amazon river. *Chemical Geology*. v. 142. p. 141-173, **1997**.

GALVÃO, R. C. F.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; BERNARDI, J. V. E.; BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. Variação sazonal de elementos-traço associados aos sólidos em suspensão no alto rio Madeira, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*. v. 23. p. 67-78, **2009**.

GIBBS, R.J. The geochemistry of the Amazon River system: part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of America Bulletin*, v. 78, p. 1203-1232, **1967**.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHSTNTAD, M. A. M. Methods for chemical analysis of fresh waters. Boston: Blackwell, **1978**.

GOMES, T. L. Avaliação quali-quantitativa do percolado gerado no aterro controlado de Santa Maria – RS. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), **2005**.

HAANDEL, A. V.; CAVALCANTI, P. F. F. Geração e composição de lodo em sistemas de tratamento esgotos sanitários. *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.* 1ª ed. p. 3-27, **2001**.

HEDGES, J.I.; CLARK, W.A; QUAY, P.D.; Richey, J.E.; Devol, A.; Santos, U. Composition and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, v.3, p. 717-738, **1986**.

HEDGES, J. I.; COWIE, G. L.; RICHEY, J. E.; QUAY, P. D.; BENNER, R.; STROM, M.. Origins and processing or organic matter in the Amazon river indicate by carbohydrates and amino acids. *Limnology and oceanography*, v. 39, p. 743-762, **1994**.

HIBAM-Dinâmica hidrológica e Geoquímica da bacia Amazônica. *Campanha de medições nos rios Amazonas, Negro, Solimões, Trombetas e na várzea do lago Grande Curai.* 20p, **2005**.

HORBE, A. M. C.; GOMES I. L. F.; MIRANDA, S. F.; SILVA, M. S. R. Contribuição à hidroquímica de drenagens no Município de Manaus – AM. *Acta Amazônica*. v. 35(2), p. 119-124, **2005**.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Clima da Amazônia. Disponível em : http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html Acessado em 22/06 /2011. **1996**.

JUNK, W. J. Áreas inundáveis – Um desafio para Limnologia. *Acta Amazonica*. v. 10. p. 775-795, **1980**.

JUNK, W. J.; SALATI, E. Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia. Ed. Brasiliense. 45-98, **1983**.

JUNK, W.J. The Central Amazonian Floodplain: Ecology of a Pulsing Systems. Ed.Springer, p.525, **1997**.

JUNK, W. J. The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management. *Backhuys Publishers*. p. 75-94, **2000**.

KRISTENSEN, E.; BOUILLON, S.; DITTMAR, T.; MARCHAND, C. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic botany*, v.89, p. 201-219, **2008**.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE,

N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M. A.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEIL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica*. v. 35. p. 197-205, **2005**.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes – Parte II. *Panorama da aquicultura*. v. 8 (46). p.35-41, **1998**.

KUCHLER, I. L.; MIEKELEY, N.; FORSBERG, V. R. A contribution to the chemical characterization of rivers in the rio Negro Basin, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 11 (3). p. 286-292, **2000**.

LACERDA, L. D. Variação sazonal de elementos-traço associados aos sólidos em suspensão no alto rio Madeira, Amazônia Ocidental. v. 23 (1). p. 67-78, **2009**.

LAGES, S.A.; MIRANDA, S.A.F.; PINTO, A.G.F. Qualidade da Água do Rio Negro na Orla de Manaus (AM). In: *Anais da XIV Jornada de iniciação Científica*. PIBIC/INPA/CNPq. **2005**.

Lages, A.S.; Silva, M.S.R.; Pinto, A.G.N. Diagnóstico da Qualidade de Vida de Moradores de Dois Bairros da Zona Norte de Manaus, em Função do Consumo da Água. In: XV Jornada de Iniciação Científica. PIBIC/CNPq/INPA. 2006.

LAMPERT, W.; SOMMER, U. *Limnoecology: The eology of lakes and streams*. Oxford Univ. Press. New York. p. 52-70, **1997**.

LARAQUE, A.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N. Mixing processes in the Amazon river at the confluences of the Negro and Solimões rivers, encontro das águas, Manaus, Brazil. *Hydrological processes*. v. 23. p. 3131-3140, **2009**.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*. v. 70. p. 187-206, **2005**.

LEENHEER, J. A. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon river basin. *Acta Amazonica*. v. 10 (3). p. 513-526, **1980**.

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

LIBÂNIO, M.; LIBÂNIO, P. A. C.; COSTA, B. M. P. Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento. *Revista brasileira de recursos hídricos*. v. 5. p.41-55, **2000**.

LOPES, M. J. N.; SILVA, M. S. R.; SAMPAIO, R. T. M.; BELMONT, E. L. L.; SANTOS-NETO, C. R. Avaliação preliminarda qualidade da água de bacias hidrográficas de Manaus utilizando o método BMWP adaptado. *Revista saúde e biologia*. v. 3. p. 1-9, **2008**.

MACKNIGTH, D.; THURMAN, E. M.; WERSHAW, R. L. Biogeochemistry of aquatic humic substances in thoreau's bog, concord, Massachusetts. *Ecological Society of America*. V. 66. P.1339-1352, **1985**.

MARTINELLI, L. A.; DEVOL, A. H. FORSBERG, B. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; RIBEIRO, M. N. Descarga de sólidos dissolvidos totais do rio Amazonas e seus principais tributários. *Geochim. Brasil.* v. 3. p. 141-148, **1989**.

MARTINELLI, L. A.; SILVA, A. M.; CAMARGO, P. B.; MORETTI, L. R.; TOMAZELLI, A. C.; SILVA, D. M. L.; FISCHER, E. G.; SONODA, K. C.; SALOMÃO, M. S. M. B. Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do estado de São Paulo. *Biota neotropical*. v. 2. p. 1-18, **2002**.

MAYORGA, E.; AUFDENKAMPE, A. Processing of bioactive elements in the Amazon River system. In: Ecohydrology of south American Rivers and wetlands. Miami Florida Internacional University, p. 1-20, **2001**.

MEADE, R.H. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. *Quaternary International*, volume 21, p. 29-39, **1994**.

MEADE, R.H.; DUNNE, T.; RICHEY, J.E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil, *Science*, v. 228, p.488-490, **1985**.

MEADE, R.H.; NORDIN, C.F.; CURTIS, W.F. Suspended-sediment and velocity data, Amazon River and its tributaries, *Geological Survey*, **1979**.

MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. *Caminhos de geografia*, v.5, p.40-47, **2005**.

MELO, M. L.; MOURA, H. A. Migrações para Manaus. Recife. Ed. Massangana. 505p. 1990.

MELO, S. Fitoplâncton de um lago de inundação (Lago Catalão, Amazonas - Brasil): estrutura da comunidade, flutuações espaciais e temporais. Dissertação apresentada ao programa de pósgraduação em biologia tropical e recurso naturais INPA/UFAM. **2008**.

MEYERS, P.; ISHIWATARY, R. Lacustrine organic geochemistry – an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*. v.20, p. 867-900, **1993**.

MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of exemples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, v. 34, p.261-289, **2003.**

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia — Rio tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. *Revista ambiente e água*. v. 4. p. 75-92, **2009**.

MAGALHÃES, J. C. M. Laudo pericirial sobre derrubada de obra civil e desmonte de aterro construído em área de preservação permanente – Às margens do Igarapé do Mindu – Manaus, AM. *IBAPE – XII COBREAP – concresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias, Belo Horizonte/ MG*. p.20, **2003**.

MOREIRA-TURCQ, P.; JOUANNEAU, J. M.; TURCQ, B.; SEYLER, P.; Weber, O.; Guyot, J. L. Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in the low Amazon region: insights into sedimentation rates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.214, p. 27-40, **2004**.

MORTATTI, J.; FURLAN, J. A.; PROBST, J.L.; TARDY, Y. . Caracterizacao Climatica Global Em Funcao da Drenagem Continental Nos Ultimos 100 Anos. *Geochimica brasiliensis*, v. 9, n. 1, p. 1-11, **1995**.

MORTATTI, J.; OLIVEIRA, H.; BIBIAN, J. P. R.; LOPES, R. A.; BONASSI, J. A.; PROBST,

J. L. Origem do carbono inorgânico dissolvido no rio Tietê (São Paulo): Reações de equilíbrio e variabilidade temporal. *Geochimica Brasiliensis*, v. 20, n. 3, p. 267-277, **2006**.

NOBRE, C.A.; NOBRE, A.D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. Estudos Avançados, v.16, p. 81-90, **2002.**

OLIVEIRA, T.C.S. Diagnóstico da Qualidade da Água — Meio Físico. *Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Rodovia BR 319*. Universidade Federal do Amazonas. Manaus — Amazonas. **2008**.

OLIVEIRA, F. M.; ARAÚJO, R. L.; CARVALHO, J. S.; COSTA, S. S. Determinação da variação no microclima de Manaus-AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. *Acta Amazonica*. v. 38. p. 687-700, **2008**.

OMS – Organização Mundial de Saúde. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2^a ed. 60p, Disponível em:http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/wqa/en/index.html> Accessado em: 20/9/2011.

PASCOALOTO, D. Características ambientais de cinco igarapés de terra-firme em reservas florestais no estado do Amazonas e sua relação com Batrachospermum cayennense (Batrachospermaceae, Rhodophyta). *Acta amazônica*, v. 3, p.597-606, **2001.**

PICCOLO, A.; STEVENSON, F. J. Infrared spectra of Cu²⁺ Pb²⁺ and Ca²⁺ complexes of soil humic substances. *Geoderma*. v. 27, 3, p. 195-208, **1982**.

PINTO, A.G.N. Geoquímica dos sedimentos do rio negro na orla de Manaus/Am. **2004**. Dissertação (Mestrado em geociências na área de geologia ambiental) — Instituto de Ciências exatas. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.; MOURA, C. A. V. Hidroquímica do rio Solimões entre Manacapuru e Alvarães — Amazonas — Brasil. *Acta Amazonica*. v. 39 (4). p. 943-952, **2009**.

RAMOS, J. F. F.; TANCREDI, A.. C. Geoquímica de águas e sedimentos do baixo rio Tapajós e afluentes: Resultados preliminares. *IV Simpósio de Geologia da AmazôniaI*, Belém, p. 279-281, **1994**.

RASTOGI, S.; RATHEE, P.; SAXENA, T. K.; MEHRA, N. K.; KUMAR, R. BOD analysis of industrial effluents: 5 days to 5 min. *Physics, chemistry and materials science*. v. 3. p. 191-194, **2003**.

RODRIGUES, P.M.SM. Estudos sobre a matéria orgânica dissolvida na Albufeira do caldeirão. Tese de doutorado apresentada à faculdade de Ciências da Universidade do Porto. **2007**.

RAYMONT, J. E. G. Plankton and productivity in the oceans-Zooplankton. New York. Ed. Pergamon Press, **1983.**

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D. Biogeochemistry of carbon in the Amazon river. *Limnology and oceanography*, v. 35, p. 352-372, **1990**.

RIMA-Relatório de impactos ambientais. Revitalização do Igarapé do Mindu. p. 86. 2008.

RIXEN, T.; BAUM, A.; SEPRYANI, H.; POHLMANN, T.; JOSE, C.; SAMIAJI, J. Dissolved oxigen and its response to eutrophication in a tropical black water river. *Journal of Environmental Management*. v.91, p. 1730-1737, **2010**.

RODRIGUES, D. O.; SILVA, S. L. R.; SILVA, M. S. R. Avaliação ecotoxicológica preliminar das águas das bacias hidrográficas dos rios Tarumã, São Raimundo e Educandos. *Acta Amazônica*, v. 39, p.935-942, **2009**.

SANTOS, U. M.; RIBEIRO, M. N. G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. *Acta Amazonica*. v. 18. p. 145-172, **1988**.

SANTOS, U. M.; SANTOS, A.; BRINKMANN, W. L. F. A composição química do Rio Preto da Eva – Amazônia. Estudo preliminar. *Ciência e cultura*, v. 23(5), p. 643-646, **1971**.

SEYLER, P.T.; BOAVENTURA, G.R. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin. *Hidrologycal Processes*. v. 17. p. 1345-1361, **2003**.

SHANCHEZ-BOTERO, J. I.; FARIAS, M. L.; PIEDADE, M. T.; GARCEZ, D. S. Ictiofauna

associada às macrófitas aquáticas *Eichhornia auzerea* (SW.) Kunth. e *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. no lago Camaleão, Amazôniia central, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. v.25(2). p. 369-375, **2003**.

SHÁNCHEZ-BOTERO, J. J.; GARCEZ, D. S.; LOBÓN-CERVJÁ, J. Oxigênio dissolvido e temperatura em lagos da região de Ati Paraná-Solimões, Amazônia Central, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.13, p. 45-51, **2001**.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do rio Purus. *Acta Amazônica*, v.38, p.733-742, **2008**.

SILVA, R. O.; FERREIRA, M. R. C. Projeto de desenvolvimento comunitário: fortalecimento da economia agroflorestal e extrativista das comunidades na Gleba Nova Olinda I. Belém-PA. 93p. **2009**.

SIOLI, H. Schistosomiasis and Limnology in the Amazon Region. American Journal of Tropical *Medicine and Hygiene*. v. 2, p.699-707, **1953**.

SIOLI, H.; KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. *Boletim geográfico*. v.79. p. 23-39. **1962**.

SPERLING, M. V. Introdução a qualidade das água e ao tratamento de esgoto. Belo Horizonte. Ed. DESA/UFMG, p. 452, **2005a**.

SPERLING, V.M. princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo horizonte: DESA/UFMG, p. 211, **2005b**.

SPERLING, V. M. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios. Dissertação (mestrado em química na área de química inorgânica)-Instituto de Química. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. **2007a**.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal Of Geophysical Research*. v. 88. p. 9671-9688, **1983**.

STROHSCHOEN, A.A.G.; PÉRICO, E.; LIMA, D.F.B; REMPEL, C. Estudo preliminar da

qualidade da água dos rios Forqueta e Forquetinha, Rio grande do sul. *Revista brasileira de biociências*. v. 7(4). p. 372-375, **2009**.

SUHETT, A. L.; AMADO, A. M.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; FARJALLA, V. F. O papel da foto-degradação do carbono orgânico dissolvido (COD) nos ecossistemas aquáticos. v.10 (2). p.186-204, **2006**.

TAKIYAMA, L.R. Qualidade da água. Instituto de pesquisas científicas e tecnológicas do Estado do Pará. **2007**.

TAPAJÓS, R.; AGUIAR, D.; JUNIOR, M.; MACHADO, W.; FURTADO, A.; FIGUEIRA, A.; MAURO, J.; SILVA, R. Fluxo de CO₂ proveniente do rio Tapajós. VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia. p. 183-186, **2011**.

TUNDISI, J. G.; FORSBERG, B. R.; DEVOL, A. H.; ZARET, T. M.; TUNDISI, T. M.; SANTOS, A.; RIBEIRO, J. S.; HARDY, E. R. Mixing patterns in amazon lakes. *Hidrobiologia*. v. 108. p. 3-15, **1984**.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*.1^a ed. São Paulo – SP, oficina de textos. 631p. **2008**.

VIEIRA, I.; DARWICH, A.J. Sinecologia da ictiofauna de Curuá-Una, Amazônia: características hidroquímicas, climáticas, vegetação e peixes. *Acta Limnologica Brasiliensia*. v. 11. p. 41-64. **1999**.

WARITH, M. Bioreactor landfills: experimental and field results. *Waste management*. v. 22. p. 7-17, **2002**.

WISSMAR, R. C.; RICHEY, J. E.; STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Metabolismo do plâncton e ciclo do carbono no rio Amazonas, seus tributários e águas de várzea, Peru-Brasil, maio-junho. v. 10. p. 823-834, **1980**.

ANEXO I

Tabela 8. Resultados de pH, condutividade elétrica (CE), cor, turbidez e sólidos em suspensão (SS) nos períodos de cheia e seca de 2010 e os respectivos valores de recomendação segundo a resolução CONAMA357/05.

Amostras	Localização	рН		CE (μS cm ⁻¹)		Cor (mg Pt L ⁻¹)		Turbidez (NTU)		SS (mg L ⁻¹)	
		Cheia	Seca	Cheia	Seca	Cheia	Seca	Cheia	Seca	Cheia	seca
RA1	Rio Arapiuns	6,79±1,20	6,41±0,08	8,90±0,67	9,40±0,70	11,45±0,06	201,96±0,07	0,78±0,09	1,04±0,34	1,20±0,05	6,8±0,04
RA2	Rio Arapiuns	7,13±0,47	6,33±0,98	9,63±0,02	10,03±0,93	21,69±0,40	187,00±0,05	1,04±0,10	1,04±0,03	$0,80\pm0,02$	$0,4\pm0,06$
RT1	D: 75 '/	6,74±0,98	6,94±0,79	13,56±0,03	15,80±1,07	33,66±0,89	179,52±0,06	1,30±0,02	1,04±0,01	3,60±0,01	6,4±0,09
RT2	Rio Tapajós	6,76±0,05	6,84±0,03	13,57±0,89	16,70±0,90	39,64±0,09	142,12±0,78	4,16±0,83	1,04±0,21	5,60±0,87	3,2±0,01
RX1	D. 77.	7,10±0,08	6,88±0,25	23,00±0,21	16,590,07	0,75±0,03	127,16±0,07	1,82±0,17	0,78±0,56	-	3,6±0,32
RX2	Rio Xingu	7,00±0,06	6,87±0,65	23,30±0,17	15,82±0,03	1,50±0,23	201,96±0,10	3,12±0,49	1,30±0,31	-	2,8±0,04
RN1	D: N	4,59±0,87	5,72±0,56	14,08±0,73	10,40±0,07	144,4±0,70	109,9±0,09	1,82±0,74	13,78±0,86	2,80±0,11	11,6±0,32
RN2	Rio Negro	5,85±0,67	4,57±0,46	12,70±0,56	10,00±0,05	137,6±0,12	228,1±0,87	2,86±0,02	1,47±0,57	1,4±0,76	2,0±0,35
RPE	Rio Preto da Eva	4,37±0,35	5,03±0,78	7,05±0,33	9,02±0,09	53,86±0,23	57,60±0,78	4,42±0,03	6,24±0,63	2,5±0,31	4,4±0,01
RM1	D: M 1:	7,33±0,67	7,90±0,56	47,75±0,01	56,53±0,01	49,37±0,43	115,2±0,24	102,9±0,04	124,8±0,47	98,2±0,92	123,0±0,07
RM2	Rio Madeira	7,07±0,60	6,9±0,98	47,86±0,09	56,48±0,41	64,33±0,42	139,1±0,34	101,9±0,55	127,4±0,03	19,2±0,54	120,0±0,91
RS1	D: 01. ~	6,61±0,68	7,01±0,34	83,80±0,03	144,1±0,92	62,84±0,15	34,41±0,56	16,90±0,63	50,01±0,09	46,0±0,31	58,8±0,05
RS2	Rio Solimões	7,78±0,87	6,89±0,03	80,70±0,20	98,76±0,09	102,48±0,05	68,32±0,87	50,70±0,06	49,4±0,67	83,8±0,04	60,18±0,79
IM1		4,53±0,51	4,70±0,51	17,65±0,89	19,11±0,87	70,31±0,98	22,44±0,09	2,60±0,09	0,26±0,04	2,0±0,53	1,5±0,12
IM2	Igarapé do Mindu	7,10±0,09	7,10±0,04	226,8±0,12	275,8±0,57	53,11±0,21	56,85±0,92	25,13±0,01	39,52±0,31	26,5±0,34	41,0±0,23
IM3		7,21±0,03	7,12±0,07	217,0±0,61	299,5±0,69	92,01±0,54	47,87±0,78	30,59±0,01	14,04±0,09	24,67±0,65	11,0±0,62
CON	JAMA 357/05	6,0	a 9,0		-	Máx	. 75,0	Máx	. 100		-

Tabela 9. Resultados dos indicadores de matéria orgânica carbono orgânico dissolvido (COD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) e as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nos períodos de cheia e seca de 2010 e os respectivos valores de recomendação segundo a resolução CONAMA357/05.

Amostros	Localização	CC)D	DBO		D(QO	OD	
Amostras	Localização	(mg	L^{-1})	(mg	(mg L^{-1})		L^{-1})	(mg L^{-1})	
		Cheia	Seca	Cheia	Seca	Cheia	seca	Cheia	Seca
RA1	D:	3,37±0,55	2,92±1,12	0,78±0,01	$0,59\pm0,09$	17,02±0,09	$3,93\pm0,02$	6,68±0,09	7,31±0,37
RA2	Rio Arapiuns	$2,71\pm0,14$	$2,10\pm0,07$	$0,79\pm0,06$	$0,05\pm0,01$	19,64±0,032	$5,24\pm0,09$	$6,87\pm0,02$	6,88±0,19
RT1	Die Teneide	$3,29\pm0,12$	1,42±0,18	0,99±0,09	1,58±0,003	21,61±0,08	$2,62\pm0,18$	6,47±0,01	7,57±0,04
RT2	Rio Tapajós	3,73±0,21	1,70±0,41	1,20±0,01	0,79±0,01	20,93±0,45	1,65±0,01	6,45±0,08	7,63±0,09
RX1	Die Wiesen	2,26±0,49	1,38±0,30	1,51±0,4	1,09±0,18	12,00±0,32	1,65±0,03	7,83±0,04	7,52±0,48
RX2	Rio Xingu	2,50±0,68	1,39±0,39	$1,40\pm0,11$	$1,18\pm0,04$	16,14±0,01	1,65±0,07	6,82±0,01	7,76±0,36
RN1	Rio Negro	11,67±0,47	6,33±0,27	1,39±0,09	0,62±0,09	48,71±0,07	23,10±0,09	2,31±0,19	5,41±0,23
RN2		10,47±0,49	7,09±0,19	1,03±0,08	1,59±0,03	51,48±0,01	46,83±0,12	3,57±0,03	4,19±0,05
RPE	Rio Preto da Eva	3,890,02	4,18±0,13	$0,15\pm0,01$	$0,55\pm0,07$	36,79±0,20	33,29±0,04	5,59±0,01	8,75±0,42
RM1	Rio Madeira	3,86±0,78	3,09±0,78	0,32±0,17	1,30±0,02	13,03±0,08	21,06±0,09	5,26±0,19	6,77±0,09
RM2	Rio Madeira	$3,47\pm0,11$	3,36±0,84	$0,20\pm0,02$	1,11±0,39	17,59±0,51	16,99±0,02	4,99±0,42	6,67±0,01
RS1	Rio Solimões	5,59±0,35	3,82±0,31	$0,44\pm0,01$	$1,49\pm0,18$	21,57±0,06	42,12±0,07	3,73±0,32	5,25±0,09
RS2	Rio Sonmoes	4,53±0,37	2,94±0,30	$1,43\pm0,17$	1,143±0,21	$25,41\pm0,87$	17,29±0,03	2,30±0,04	5,26±0,12
IM1		7,94±0,09	1,65±0,15	1,56±0,04	0,69±0,04	41,20±0,05	14,41±0,38	5,00±0,67	3,32±0,38
IM2	Igarapé do Mindu	$7,92\pm0,34$	10,13±0,7	6,11±0,03	21,0±0,03	30,816±0,05	28,10±0,98	0,88±0,09	1,17±0,03
IM3		$7,20\pm0,76$	13,19±0,54	9,45±0,08	14,730,09	35,506±0,66	54,76±0,31±	3,95±0,49	2,45±0,05
CON	AMA 357/05	-	-	<u> </u>	5,00	-	-	≥5	,00