

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino - MT

Kelli Cristina Aparecida Munhoz Moreira

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ecologia Aplicada**

**Piracicaba
2011**

Kelli Cristina Aparecida Munhoz Moreira
Licenciada em Física

Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino - MT

Orientador:
Prof. Dr. REYNALDO LUIZ VICTORIA

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Ecologia Aplicada

Piracicaba
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Moreira, Kelli Cristina Aparecida Munhoz
Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino - MT / Kelli Cristina
Aparecida Munhoz Moreira. - - Piracicaba, 2011.
63 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de
Energia Nuclear na Agricultura, 2011.

1. Bacia hidrográfica - Amazônia 2. Biogeoquímica 3. Mato Grosso 4. Rio Cristalino
5. Rio Teles Pires I. Título

CDD 551.483
M838a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Vander pelo amor, sacrifício, pela compreensão das minhas ausências, pelo incentivo nos momentos difíceis e por acreditar em mim.

Aos meus filhos: Lucas Gabriel pelo imenso tempo que passou longe de casa acompanhando sua mãe e trazendo muita alegria e ao Marcos Vinicius que chegou para alegrar e iluminar as nossas vidas.

Aos meus pais, por serem além de avós, também pais dos meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e Nossa Senhora, por essa minha nova chance de viver.

Aos meus pais Estela e Roberto que sempre me acompanharam em todos os momentos, bons e ruins.

Ao meu marido Vander e meus filhos Lucas e Marcos, obrigada por fazerem parte da minha vida.

À minha família, pelo apoio em todos os momentos da minha vida, sem exceção.

Ao Dr. Alex Krusche, pela oportunidade e pela ajuda em todos os momentos deste doutorado.

À Dra. Maria Vitoria Ramos Ballester pelos meus mapas, pelas conversas durante o tempo que estive em Piracicaba e pela disciplina Ecologia de Ecossistemas.

Ao Dr. Reynaldo Victoria por me aceitar como orientanda.

Ao Dr. Nicolau Priante Filho uma sábia pessoa que me apresentou ao mundo da pesquisa.

À UNEMAT por cooperar durante o cumprimento dos créditos das minhas disciplinas do doutorado.

Ao Marco Antonio Camillo de Carvalho pelo auxílio nas análises estatísticas.

A Amanda e ao Thiago pelo auxílio e apoio na escrita. Principalmente não me deixando desanimar e a Ivone e a Elaine pelo apoio moral.

À Solange Aparecida Arrolho da Silva pelas vezes que nos resgatou no campo.

Aos bolsitas que passaram pelo projeto Rosalvo, Higo, Eleandro, Leandro, Vanessa, Dilmar, Cristiane, Elizeu, Wallace, Odair, Vinicius e Reysi, sem os quais esse trabalho não teria sido possível.

A Monica Elisa Bleich por ter me ajudado nas coletas nos momentos que mais precisei.

Ao professor Virgílio Nascimento pela disciplina Metodologia de Radioisótopos, valeu pelo meu doutorado.

Aos colegas de Piracicaba, Nei, Fátima, Xanda, Gustavo, Giovanna e Eliete.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho o meu muito obrigada.

EPÍGRAFE

"Nosso maior desejo na vida
é encontrar alguém
que nos faça fazer
o melhor que pudermos!"

Ralph Waldo

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	17
ANA – Agência Nacional de Águas.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.1 Área de estudo.....	23
2.2 Métodos amostrais e medidas de campo.....	27
2.3 Métodos Analíticos.....	28
2.3.1 Íons Maiores e Nutrientes.....	28
2.3.2 Carbono Orgânico e Inorgânico Dissolvidos.....	29
2.3.3 Sedimentos em suspensão.....	30
2.3.4 Composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) da matéria orgânica particulada.....	30
2.4 Análise estatística.....	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1 Comportamento Hidrológico.....	33
3.2 Parâmetros medidos no campo.....	35
3.2.1 Condutividade Elétrica.....	35
3.2.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	36
3.2.3 Oxigênio Dissolvido.....	37
3.3 Composição Química das Águas.....	38
3.3.1 TZ^+ e TZ^-	38
3.3.2 Diagramas Ternários.....	41
3.3.3 Sazonalidade dos Íons Maiores.....	44
3.4 Carbono Orgânico e Inorgânico Dissolvidos.....	52
3.5 Sedimentos em Suspensão e sua composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$).....	54
4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	61

RESUMO

Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino - MT

A bacia hidrográfica da Amazônia ocupa cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do País. Os recursos hídricos desta região, abundantes e até hoje pouco explorados, constituem um patrimônio nacional para o qual a nação brasileira não pode voltar as costas. Além das mudanças nos usos e coberturas do solos, diversas hidroelétricas tem sua implantação planejadas em vários rios da região, entres os quais o rio Teles Pires, no Mato Grosso. Pouco se sabe sobre as características químicas, variações sazonais das mesmas e sobre a biogeoquímica de muitos dos rios que compõe a bacia Amazônica. Para sanar esta lacuna de nosso conhecimento, estabeleceu-se uma rede de monitoramento contínuo em diversos curso d'água, onde as condições logísticas e de pessoal permitiram, dentro da chamada *Rede Beija-Rio*. Este é um grande esforço multi-institucional para entender o funcionamento da bacia Amazônica. Neste trabalho apresentamos alguns dos aspectos deste estudo particulares aos rios Teles Pires e Cristalino, no estado do Mato Grosso, nas cercanias do município de Alta Floresta. Observou-se que a variabilidade sazonal no regime de precipitação resulta em variações significativas das vazões em ambos os rios, mas com conseqüências na qualidade das águas nem sempre idênticas. Em termos da composição química, o aumento da vazão é acompanhado, no rio Teles Pires de um incremento na quantidade de sais dissolvido, ao passo que no rio Cristalino observa-se o contrário. Este fato, associado a uma predominância de cálcio e à presença de sulfato nas águas do último, indicam uma importância relativamente maior do intemperismo de rochas calcáreas, ao passo que no rio Teles Pires a lixiviação dos solos pela chuva acarreta um predomínio de sódio. Entretanto, no que tange às variações sazonais das concentrações de oxigênio dissolvido, carbono orgânico e inorgânico dissolvidos, sedimentos em suspensão e no pH, ambos os sistemas apresentam respostas idênticas ao aumento da descarga. Tal comportamento tem sido observado em outros rios que compõe a rede Beija-Rio, indicando que, apesar do controle da composição química das águas da bacia Amazônica ter distintas origens, parâmetros mais relacionados com a atividade biótica, como carbono orgânico e oxigênio dissolvido, apresentam padrão único, independentemente da origem química das águas. Pode-se deduzir, mesmo que este não seja enfoque deste trabalho, que a biota que depende destes sistemas (como peixes, por exemplo) esteja adaptada a estas condições específicas. Esta característica fundamental do funcionamento destes sistemas fluviais deve ser melhor compreendida e incorporada aos planos de uso e manejo destes recursos que, apesar de ainda abundantes, podem vir a ser rapidamente esgotados com a adoção de práticas inadequadas e/ou insustentáveis.

Palavras-chave: Rio Teles Pires; Rio Cristalino; Amazônia; Mato Grosso; Biogeoquímica

ABSTRACT

Aspects of the biogeochemistry of Teles Pires and Cristalino rivers - MT

The Amazon basin occupies around 40% of the Brazilian territory and contains more than 60% of the water resources of the country. Abundant and yet little exploited region water resources constitute a national treasure to which the nation can not turn its back. Besides changes in land use/cover, several hydroelectrical plants are planned for rivers in the region, among which the Teles Pires, in Mato Grosso. Little is known about the chemistry and its seasonal variations of many of the rivers in the basin. To supply more information in this regard, a sampling network was established in rivers where logistical and human resources conditions were available, within the so-called *Beija-Rio* network. This is a large multi-institutional effort to understand the functioning of the Amazon basin. In this study we present some aspects of this study particular to rivers Teles Pires and Cristalino, in the state of Mato Grosso, near the city of Alta Floresta. We observed that seasonal changes in precipitation result in significant variations in discharge for both rivers, but with consequences in water quality that are not always identical. Regarding chemical composition discharge increases at the Teles Pires are followed by increases in solute amounts, whereas at the Cristalino the opposite occurs. This fact, associated with the predominance of calcium and with the presence of sulfate in the latter, indicate a relatively more important role of carbonate weathering, whereas at the Teles Pires flushing of soils by rain result in a predominance of sodium. However, in relation to seasonal variations in dissolved oxygen, dissolved organic and inorganic carbon concentrations, suspended sediments and pH, both rivers show identical responses to increased discharges. Such behavior has been observed in several other rivers of the Beija-Rio network, indicating that although the chemical composition of Amazonian rivers might have distinct sources, parameters controlled by biotic processes, such as organic carbon and dissolved oxygen, show common patterns, independently of chemical nature of the waters. Although this is not the focus of this work, we can deduce that life forms that feed on this system (such as fish) are adapted to such environmental conditions. These fundamental characteristics of the functioning of these fluvial systems should be better understood and incorporated into use and management plans for these systems which, although still abundant, might become scarce rapidly as a result of inadequate or unsustainable practices.

Keywords: Teles Pires river; Cristalino river; Amazon; Mato Grosso; Biogeochemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta, bem como o encontro das águas dos rios Teles Pires e Cristalino.....	24
Figura 2 - Bacia do rio Teles Pires em cinza e no alto à esquerda a sua localização dentro do estado do Mato Grosso e sul do estado do Pará	20
Figura 3 - Formação rochosa da bacia do rio Teles Pires	21
Figura 4 - Mapa do uso do solo da bacia do rio Teles Pires.....	22
Figura 5 - Mapa da bacia do rio Cristalino.....	23
Figura 6 - Mapa da geologia da bacia do rio Cristalino	25
Figura 7 - Mapa do uso do solo da bacia do rio Cristalino.....	26
Figura 8 - Variação sazonal da descarga média mensal do rio Teles Pires, na estação denominada Jusante Foz Peixoto de Azevedo, entre Outubro de 1980 e Setembro de 2010 (em cinza) e a comparação com a descarga média no período de coleta, entre Janeiro de 2004 e Setembro de 2010 (em preto). (Fonte: ANA)	34
Figura 9 - Precipitação média de 1978 a 2010 (em cinza) e pluviosidade média no período amostral, de 2004 até 2010 (em preto), na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (Fonte: ANA).....	34
Figura 10 - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período	35
Figura 11: pH dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de Maio de 2004 a Janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período	36
Figura 12 - Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período	38
Figura 13 - Somatório das cargas positivas nos rios Cristalino e Teles Pires, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010	40
Figura 14 - Somatório das cargas negativas nos rios Cristalino e Teles Pires, no período de maio de 2004 a janeiro de 2011	41
Figura 15 - Diagrama ternário elaborado a partir da distribuição dos cátions, nos rios Teles Pires e Cristalino.....	43

Figura 16 - Diagrama ternário elaborado a partir da distribuição dos ânions nos rios Teles Pires e Cristalino	44
Figura 17 - Concentração de cátions, em μM , no rio Cristalino, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010	46
Figura 18 - Concentração de cátions, em μM , no rio Teles Pires, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010	47
Figura 19 - Concentração de ânions, em μM , no rio Cristalino, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010	50
Figura 20 - Concentração de ânions, em μM , no rio Teles Pires. No período de maio de 2004 à janeiro de 2010	51
Figura 21 - Agloremado de folhas no rio Cristalino, no período seco do ano de 2004 ..	53
Figura 22 - Concentração dos sedimentos finos em suspensão, em mg L^{-1} , nos rios Teles Pires e Cristalino. no período de Maio de 2004 à Janeiro de 2010	55
Figura 23 - Concentração dos sedimentos grossos em suspensão, em mg L^{-1} , nos rios Teles Pires e Cristalino, nos período de Maio de 2004 a Janeiro de 2010	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional de Águas

B - Boro

C – Carbono

Ca – Cálcio

CID – Carbono Inorgânico Dissolvido

Cl – Cloro

CO₂ –Dióxido de Carbono

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

HgCl₂ – Cloreto de Mercúrio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

K – Potássio

Mg – Magnésio

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MT – Mato Grosso

N – Nitrogênio

Na – Sódio

pH – Potencial Hidrogeniônico

S – Enxofre

Si – Silica

SO₄ – Sulfato

Sr – Estrôncio

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é foco de grande interesse científico internacional, pois suas dimensões encerram a maior floresta tropical úmida contígua e ainda intacta do planeta e recursos hídricos que correspondem a mais de 20% de todo o volume drenado dos continentes para os oceanos (RICHEY et al., 1990), sendo um dos mais importantes biomas do mundo, devido a sua extensão e grande biodiversidade. Porém, a floresta vem sofrendo desmatamento, principalmente em consequência do rápido desenvolvimento a partir da década de 70, inicialmente devido a incentivos do governo, na forma de planos de integração e distribuição de terras. No período de 1988 a 2010 aproximadamente 385.233 km² foram desmatados apenas no território brasileiro (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2011). Entre os impactos esperados do avanço do desmatamento estão a redução das chuvas, a deterioração da capacidade de infiltração de água no solo e, em consequência, do abastecimento do lençol freático, e o aumento do escoamento superficial. Também são possíveis alterações da qualidade da água decorrentes do uso de agrotóxicos e de práticas agrícolas. Estas mudanças ambientais podem representar um sério risco para a sua sustentabilidade, podendo influenciar a biogeoquímica da água (DOWNING et al., 1999; HERPIN et al., 2002).

Impactos ambientais ocasionados pelo desmatamento podem afetar inúmeros aspectos dos sistemas fluviais, incluindo o aumento da temperatura dos solos, da erosão, e alterações nos balanços hídricos e de nutrientes (LIKENS et al., 1970; VITOUSEK et al., 1979; SWANK; CROSSLEY, 1988). Estas mudanças afetam o aporte de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes aos córregos e grandes rios (HUNSAKER; LEVINE, 1995; SHARPLEY et al., 1995; MEYER et al., 1988; MELACK, 1995).

No caso das pastagens, muito comuns na Amazônia brasileira, ocorre também a compactação dos solos (NOBRE et al., 1991). Essa compactação reduz a taxa de infiltração das águas pluviais, afetando a recarga de água subterrânea. Por sua vez, a diminuição dessa recarga tende a rebaixar o lençol freático e a reduzir a contribuição subterrânea (fluxo de base) para a descarga dos rios (FETTER, 1994). No entanto, outras consequências do desmatamento são mais sutis. Este processo, assim como a

atividade agropecuária, altera a disponibilidade e a proporção de nutrientes nos solos e, desta maneira, a transferência destes até os corpos d'água (BOLIN, COOK, 1983). Estes fatos comprometem o uso múltiplo das águas, em suas diversas facetas, pelas comunidades humanas da região afetada. Fator preocupante é que, no contexto amazônico, e em especial nestas condições de agricultura em larga escala, a produção científica relacionada aos impactos ambientais negativos ainda é incipiente (FEARNSIDE, 2000).

A bacia hidrográfica da Amazônia ocupa cerca de 40% do território brasileiro e possui mais de 60% de toda a disponibilidade hídrica do País. Os recursos hídricos desta região, abundantes e até hoje pouco explorados, constituem um patrimônio nacional para o qual a nação brasileira não pode voltar as costas. Como região de grandes contrastes naturais e humanos, tem na gestão de seus recursos naturais, na qual se inclui a água e o processo de implementação de sua gestão, um grande desafio (BRASIL, 2006).

Em várias escalas do espaço geográfico Amazônico percebem-se questões vinculadas à água. Na escala regional, têm-se problemas vinculados aos regimes dos grandes rios, sua tipologia e disponibilidade hídrica, afetadas por questões relacionadas com a expansão das ações antrópicas como: o desmatamento, a mineração, e a monocultura de grãos, dentre outras (BRASIL, 2006).

Em escala local, os problemas principais envolvem o saneamento, em especial nas áreas urbanas, a questão fundiária, os conflitos em relação aos usos preponderantes da água (irrigação, consumo humano, etc.) e o uso indiscriminado da água subterrânea. Essa pressão antrópica que a região vem sofrendo ainda não compromete a grande abundância de água existente na Amazônia. Porém, as pressões, acontecendo em uma velocidade cada vez maior em um ecossistema sensível e vulnerável, repleto de desafios e esperanças, preenchem o imaginário nacional quanto às suas perspectivas de desenvolvimento e sustentabilidade (BRASIL, 2006).

A região norte do Estado de Mato Grosso tem grande importância, no que diz respeito à questão das mudanças climáticas globais. Apesar de não contar com um parque industrial que contribua significativamente para a adição de gás carbônico na

atmosfera, as queimadas no estado constituem um processo de significativa conversão de carbono sólido vegetal em CO₂. Além disto, e talvez este seja o fator principal, a ocupação humana no estado tem convertido, em grande escala, regiões de floresta em regiões de plantio e criação de gado.

Tal impacto em escala mais ampla pode influenciar as condições termodinâmicas da região. Sabe-se que a floresta amazônica é capaz de reter uma grande quantidade de água no subsolo (pois este é constituído por um emaranhado de raízes). Além disso, a floresta estabelece uma densa cobertura acima do solo com temperaturas amenas, evitando, assim, a evaporação da água do subsolo. Desta forma, além de reter água, a floresta contribui para o resfriamento das camadas de ar próximas ao solo. Já as áreas de pastagem e plantio não se comportam dessa maneira. Assim, a retirada da floresta pode vir a provocar a alteração da temperatura média da região e a diminuição da quantidade de água ali disponível, o que pode contribuir para a extinção de rios e, uma vez que a temperatura média é alterada, para a mudança de toda a dinâmica térmica da região, que, por sua vez, pode resultar em alterações importantes no regime de chuvas e de vento (TURNER et al., 1990).

O Mato Grosso, entretanto, não se destaca apenas pela vocação agrícola e pecuária, tendo ainda grande importância ambiental para o país. Por ser formado por florestas tropicais ao norte e cerrado ao sul, o estado apresenta uma grande área de transição ecológica, o que se reflete em elevada biodiversidade e múltiplos casos de endemismo biológico. E é justamente essa área de transição ecológica que sofre as piores conseqüências do avanço do desmatamento (FERREIRA et al., 2008).

Outro interesse estratégico dessa região está em seu valor hidrológico. Quatro das mais importantes sub-bacias da região amazônica – as dos rios Araguaia, Tapajós, Xingu e Madeira – têm suas cabeceiras situadas no Mato Grosso. Em 2004, a área total historicamente desmatada nessas sub-bacias era de 18% (Araguaia), 14% (Tapajós), 19% (Xingu) e 17% (Madeira).

O Estado de Mato Grosso apresenta uma grande diversidade de recursos não devidamente explorados, o que torna a região Norte/Centro-Oeste um potencial foco de futuras migrações, havendo possibilidade concreta de grande aumento populacional nas próximas décadas, conforme já vem ocorrendo há algum tempo. Segundo dados do

IBGE, de 1960 a 2000 a população passou de 325.000 para 2.502.260 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2000). Tal perspectiva, no entanto, ocorre num contexto de ausência de um claro conhecimento do papel dos ecossistemas da região no que diz respeito à manutenção dos ciclos hidrológico, de nutrientes, de carbono e outros gases, e no equilíbrio climático da Terra.

Como a composição química das águas subterrâneas e fluviais é determinada primariamente pelo intemperismo das rochas que drenam, na maioria dos solos relativamente jovens, como aqueles que ocorrem em ecossistemas temperados ou na região Andina da Amazônia, a dissolução de minerais primários, pelo ácido carbônico proveniente da chuva, libera inicialmente Ca, Mg e K, gerando alcalinidade. Porém, onde as rochas são mais antigas e altamente intemperizadas, com reservatórios de minerais primários exauridos (uma característica comum dos solos tropicais), outros fatores, como o estoque de sais lixiviáveis nos solos, podem ser determinantes desta composição (MARKEWITZ et al., 2001).

Desta forma o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar alguns aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino, ambos localizados no norte do estado de Mato Grosso. Os objetivos específicos foram:

1. Identificar a composição química e seus padrões de variações sazonais nas águas dos rios Teles Pires e Cristalino;
2. Avaliar a distribuição elementar e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) das formas dissolvida e particulada da matéria orgânica nestes rios;

Para tal, foram utilizados os dados da rede *Beija-Rio*, resultantes dos projetos: “*O papel dos sistemas fluviais Amazônicos no balanço regional e global de carbono: evasão de CO₂ e interações entre ambientes terrestre e aquático*” (Processo FAPESP N° 03/13172-2).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia Amazônica, mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupa uma área total de aproximadamente 6×10^6 km², desde suas nascentes na Cordilheira dos Andes, até sua foz no oceano Atlântico, ao norte do Brasil, abrangendo territórios de sete países sul-americanos: Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela. Em território brasileiro, a área da bacia Amazônica é de 3.904.393 km². Situada entre os paralelos 4° N e 20° S e os meridianos 50° W e 78° W, tem sua maior parte (63,88%) localizada em território brasileiro, abrangendo sete Estados: Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima e drena principalmente a região Norte do país (85%), com o restante na região Centro-Oeste, no estado de Mato Grosso (15%) (BRASIL, 2006).

Segundo a ANA, a Bacia Amazônica está subdividida em 10 sub-bacias. A sub-bacia classificada como 17, tem uma área de 287.256 km² (7% do total) e tem como cursos d'água os rios Tapajós, Juruena e Teles Pires (ou São Manuel).

Para a realização deste trabalho tomou-se por referência uma área localizada no extremo norte do estado de Mato Grosso, sendo um ponto de amostragem no rio Teles Pires (55°52'28" O e 9°38'20" S) e outro no rio Cristalino (55°55'53" O e 9°36'16" S) que é um dos afluentes da margem direita do rio Teles Pires, ambos próximos à cidade de Alta Floresta (Figura 1)

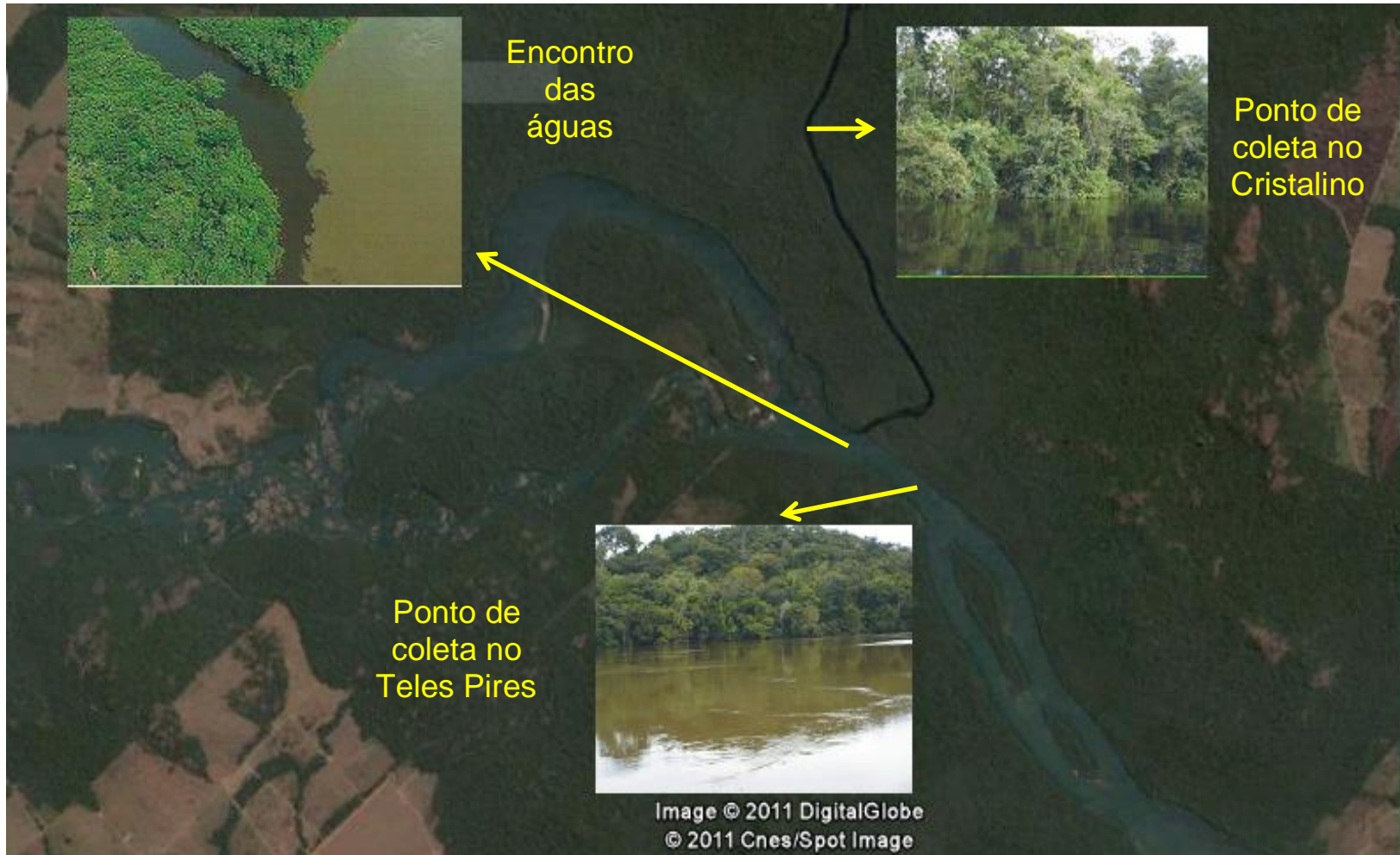


Figura 1 - Localização dos pontos de coleta, bem como o encontro das águas dos rios Teles Pires e Cristalino

A bacia do Rio Teles Pires compreende uma área de 75.993 km² (Figura 2), tem suas nascentes a 800 m de altitude, na Serra Azul, no cerrado matogrossense e suas águas banham dois importantes biomas brasileiros: o cerrado ao sul e a floresta amazônica ao norte, sendo que a maior parte da ocupação desta bacia é por agricultura ou pecuária extensiva. O rio Teles Pires banha os estados de Mato Grosso e Pará, sendo 32 municípios mato-grossenses e 3 paraenses, que utilizam seus recursos hídricos para o abastecimento público, agropecuária, pesca, turismo, lazer e produção industrial, sem um estudo dos impactos que esse uso pode ocasionar. Após percorrer 1431 km, se une com o rio Juruena para juntos formarem o rio Tapajós, que desemboca no baixo Amazonas, próximo à cidade de Santarém. Ao longo do seu curso apresentam como principais afluentes, pela margem esquerda, os rios Verde, Paranaíta, Apiacás e Ximari e, pela margem direita, os rios Paranatinga, Caiapó, Peixoto Azevedo, Cristalino, São Benedito e Cururu-Açu.

O rio Teles Pires é classificado como um rio de águas claras, pois provêm, em parte, dos antiqüíssimos maciços do Brasil Central, os quais em virtude do relevo mais regular, oferecem possibilidades bem menores de erosão, embora a região não seja coberta por densa floresta, mas pela vegetação aberta do cerrado. Nos trechos médio e alto desses rios observam-se muitas corredeiras e quedas d'água, drenando rochas mais lixiviadas que as dos Andes, com águas relativamente transparentes e levemente alcalinas (SIOLI, 1991).

Na bacia do rio Teles Pires são reconhecidas duas grandes ordens litológicas regionais (Figura 3), uma dominante constituída por rochas magmático-metamórficas de graus diversos e outra sedimentar, ambas de idade pré-cambriana:

- Complexo Xingu: esta unidade é o embasamento geológico regional, constituindo-se por rochas orto e parametamórficas. Litologicamente são: granitos, granodioritos, adamelitos, gnaisses, migmatitos, anfibolitos, granulitos, dioritos, leptinitos, kinzigitos, tonalitos, trondjemitos, quartzitos e xistos;

- Grupo Uatamã: representado regionalmente pela formação Iriri, constitui-se por um grupo de vulcanitos de caráter ácido. Litologicamente são riolitos, riodacitos, andesitos, basaltos e rochas piroclásticas.

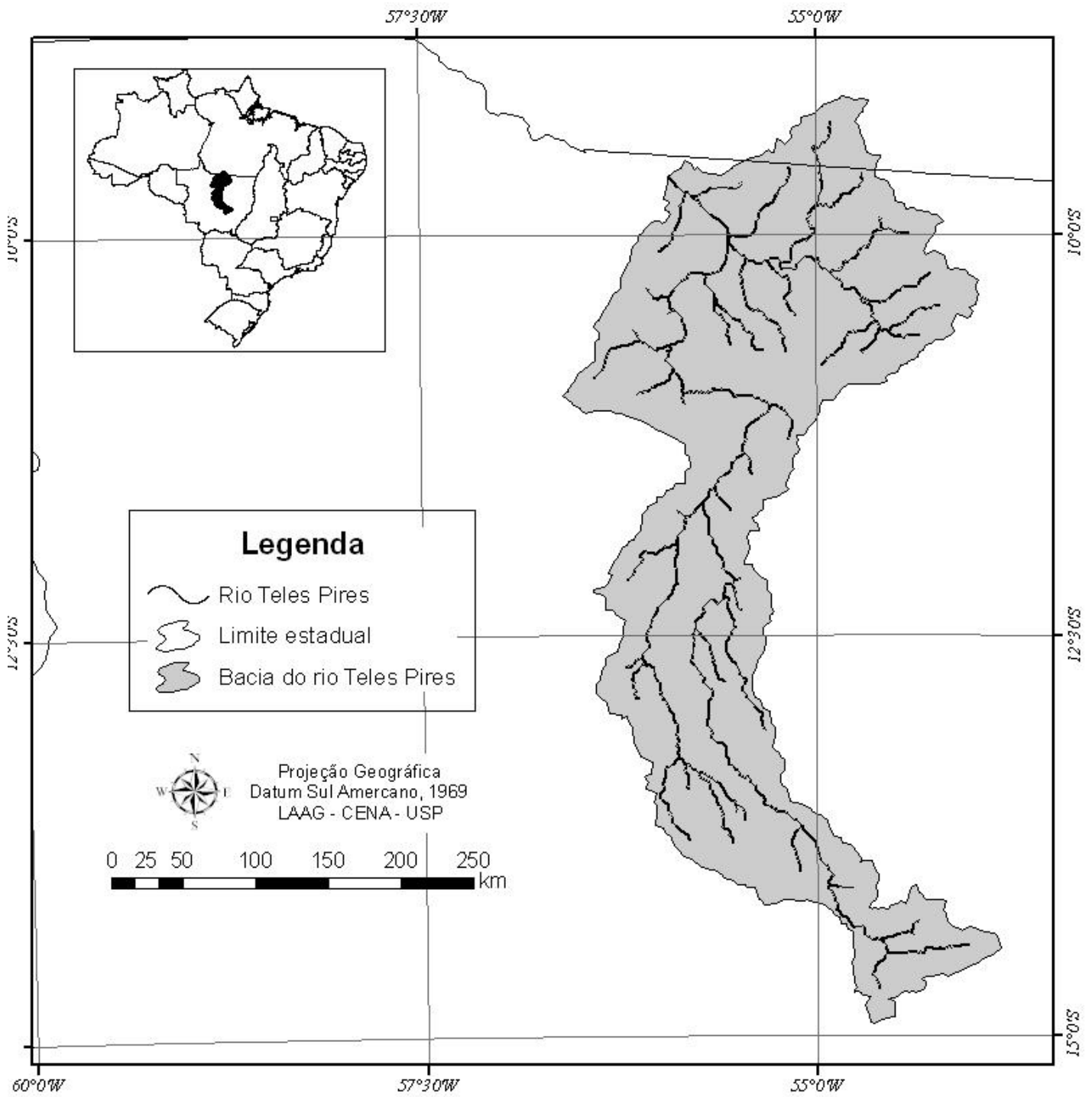


Figura 2 - Bacia do rio Teles Pires em cinza e no alto à esquerda a sua localização dentro do estado do Mato Grosso e sul do estado do Pará

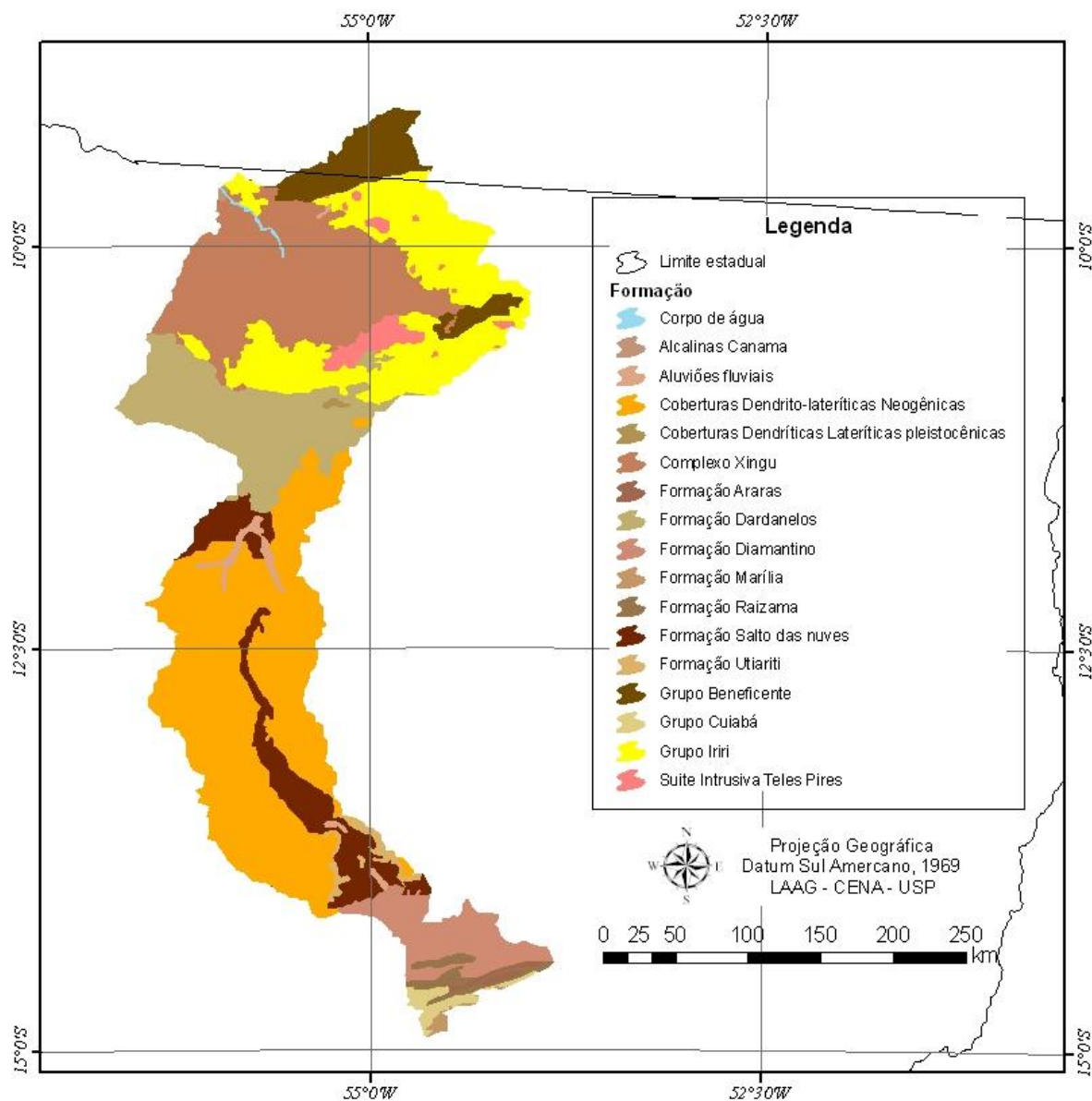


Figura 3 - Formação rochosa da bacia do rio Teles Pires

O tipo de solo predominante nesta bacia é o Latossolo Vermelho Amarelo, mas na área de estudo o solo característico é do tipo podzólico vermelho amarelo distrófico.

A região do estudo é classificada como zona de transição entre a floresta amazônica e o cerrado. Sobre este panorama geral de transição destacam-se as unidades que compõem o mosaico regional, quais sejam, a Floresta Estacional, a Floresta Ombrófila Densa e a Aberta (SILVA et al., 1980). Porém, a maior parte da bacia está sendo usada para as atividades de pecuária extensiva e agricultura (Figura 4).

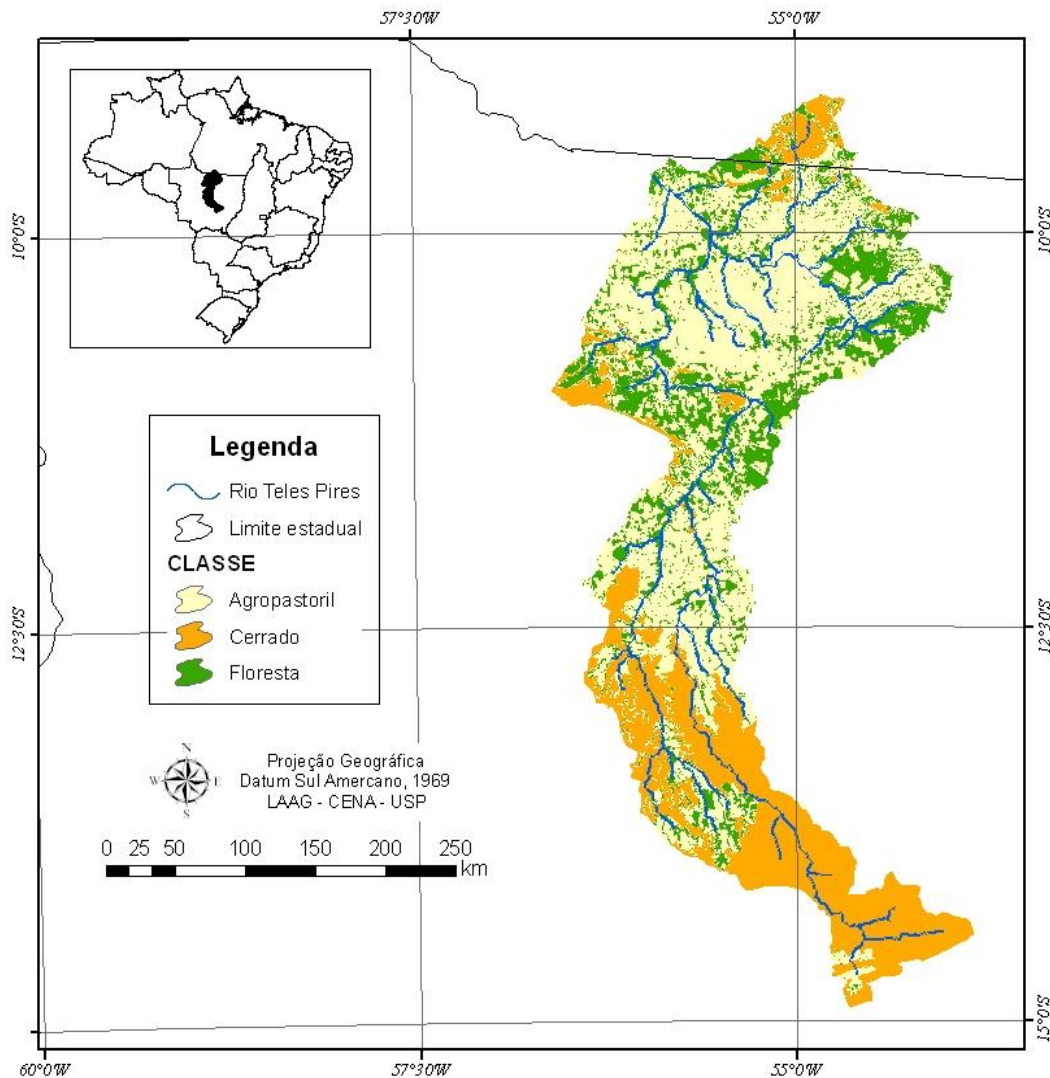


Figura 4 - Mapa do uso do solo da bacia do rio Teles Pires

A bacia do rio Cristalino compreende uma área de 3.306 km² (Figura 5), possui sua nascente na Serra do Cachimbo, no Estado do Pará, sendo que toda área do

entorno da bacia do rio Cristalino está legalmente protegida contra o desmatamento e a ocupação humana (BRASIL, 2002).

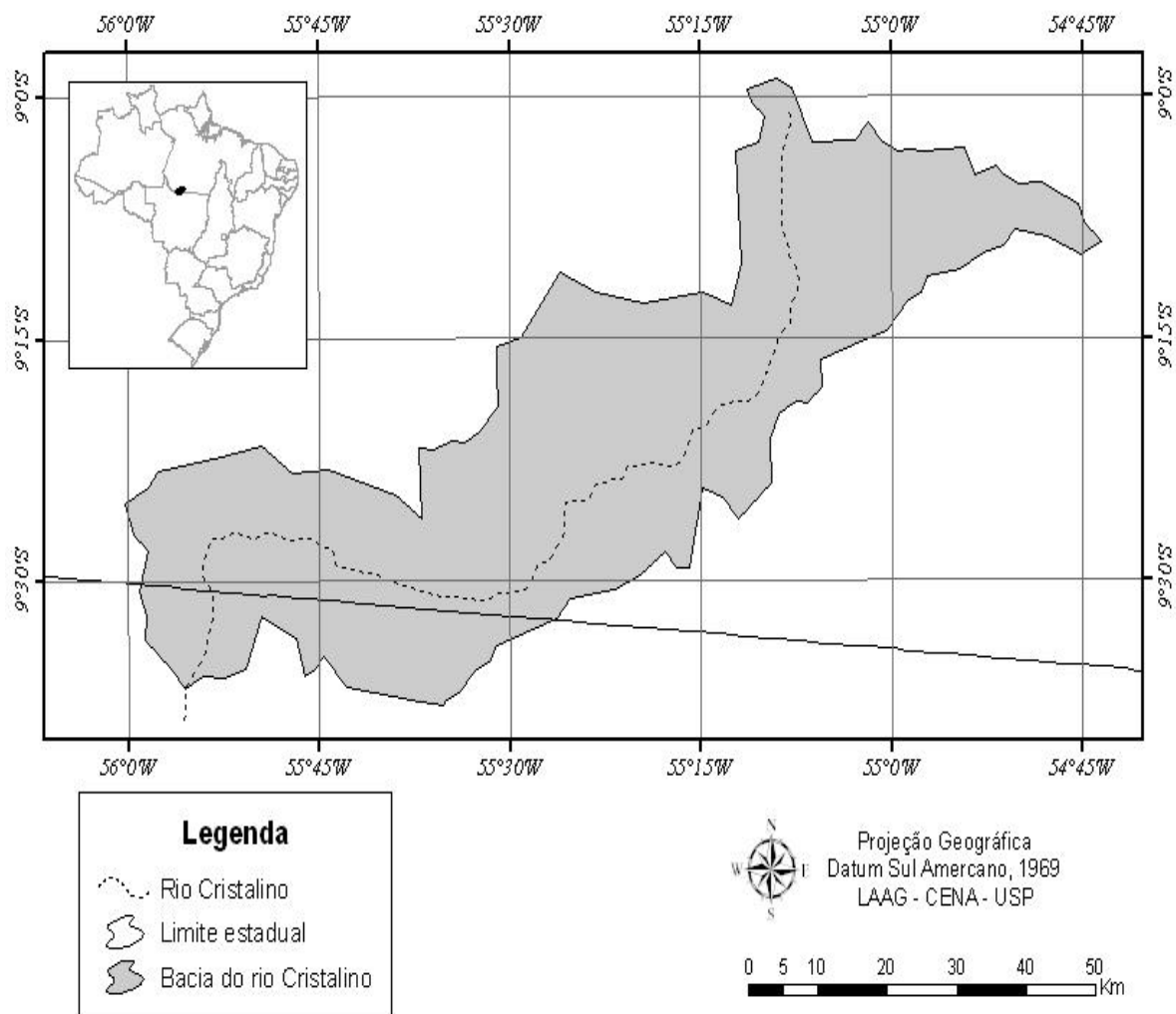


Figura 5 - Mapa da bacia do rio Cristalino

O rio Cristalino está localizado dentro do parque estadual do Cristalino, que possui uma extensão territorial de 187.900 ha e protege esta bacia. Dentro dos limites da bacia do rio Cristalino encontra-se a maior parte das florestas tropicais primárias da região, incluindo extensões ecologicamente viáveis de quase todas as comunidades naturais da Floresta Amazônica (BRASIL, 2002).

O rio Cristalino é um rio de água preta, sendo sua coloração esverdeada devido à grande concentração de ácidos húmicos e fúlvicos. Sua largura média é de 100 metros e sua profundidade média de 5 metros.

Fisicamente, o Rio Cristalino pode ser dividido em três trechos. O primeiro vai de suas nascentes, no Estado do Pará, até a divisa com o Mato Grosso, medindo 27 quilômetros, denominado de “alto Cristalino”, com correnteza forte e muitas corredeiras, cachoeiras e lajes de pedras. No segundo trecho, denominado “médio Cristalino” medindo 92 quilômetros, mudam as características, com correnteza mais lenta, com uma grande quantidade de meandros, lagos e baías; as lajes de pedras são mais escassas e durante as secas surgem pequenas praias, nas cheias em ambas as margens ocorre um alagamento na planície aluvial. O terceiro trecho mede 28 quilômetros sendo denominado “baixo Cristalino”, onde mudam abruptamente suas características, ficando encaixado entre margens rochosas, sem planície aluvial significativa, correnteza mais forte, leito com muitas pedras, e com várias corredeiras (BRASIL, 2002).

Em termos gerais a geologia da bacia do rio Cristalino, de acordo com o MMA, é formada pelo grupo Beneficente, de idade proterozóica, de origem geológica sedimentar e piroclástica, composto em sua seção basal por clásticos grosseiros, depositados em leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados e uma sequência de topo constituída por lamitos avermelhados com intercalações de rochas carbonáticas e arenitos finos micáceos. Litologicamente são Arenitos Quartzosos, Arenitos Feldspáticos, Siltitos, Folhelhos, Argilitos, Calcários e Dolomitos, Conglomerados, Cherts e Tufos (Figura 6).

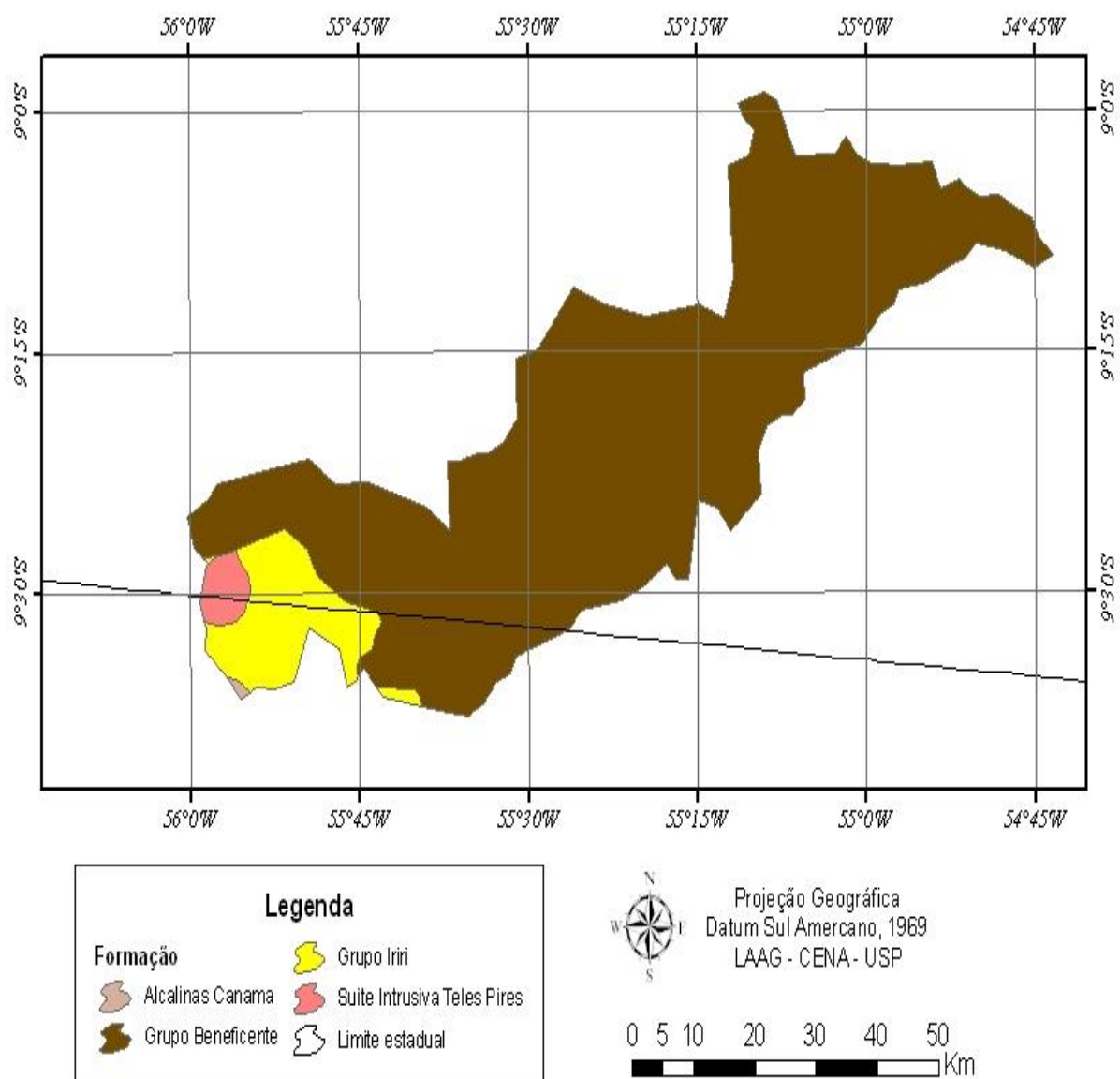


Figura 6 - Mapa da geologia da bacia do rio Cristalino

Em relação ao tipo de solo, na bacia do rio Cristalino predominam as areias quartzosas, com uma pequena parcela de podzóico vermelho amarelo e de afloramentos rochosos.

A vegetação na bacia do rio Cristalino é predominantemente Floresta Ombrófila densa submontana (Figura 7), sendo uma parte de cerrado e uma pequena parte de atividade agropastoril.

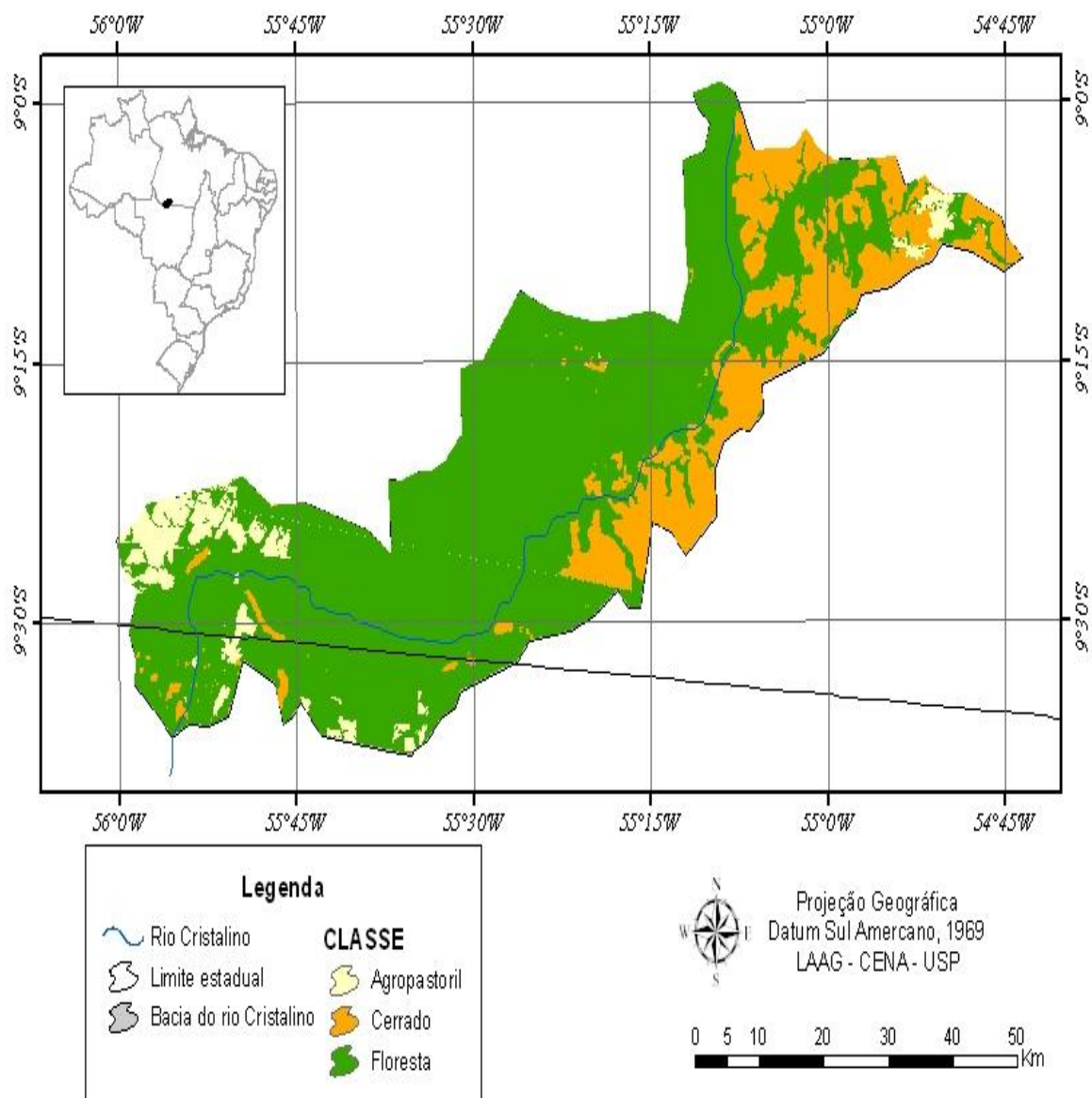


Figura 7 - Mapa do uso do solo da bacia do rio Cristalino

Segundo a classificação de Köppen, a região de Alta Floresta, cidade próxima a estes dois locais de amostragem, apresenta clima quente úmido, que corresponde ao tipo Aw (tropical úmido), com precipitação média anual de 2.264 mm, temperatura média de 26°C, mínima de 25°C e máxima de 33°C. As maiores precipitações ocorrem nos meses de outubro à abril e o período de estiagem se estende de maio à setembro, sendo que nos meses de junho, julho e agosto a precipitação é praticamente igual a zero e os meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro e março.

2.2 Métodos amostrais e medidas de campo

As coletas foram realizadas no período compreendido entre maio de 2004 e janeiro de 2010, com um total de 70 amostragens. Algumas amostragens tiveram intervalos quinzenais, outras mensais e algumas com mais de um mês de intervalo, devido a problemas logísticos.

As amostras foram retiradas de um ponto no meio do canal, a 60% da profundidade total (medida a partir da superfície), com emprego de bomba de imersão, conectada por uma mangueira com sua extremidade superior colocada no fundo de uma proveta de 2 L, posicionada dentro do barco. Após a mesma ter transbordado duas vezes o seu volume, foram retiradas diversas alíquotas de dentro da mesma com seringas plásticas de 60 mL. Este procedimento garantiu que as amostras, divididas como listado abaixo, não tivessem contato com ar atmosférico:

a) uma alíquota de 60 mL filtrada com filtro de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm e armazenada em frasco de polietileno de alta densidade, preservada com thymol (10 mg para 100 mL), para a determinação da concentração de íons:

b) uma alíquota de 60 mL não filtrada ou preservada e armazenada em frasco de polietileno de alta densidade, para determinar a alcalinidade:

c) três alíquotas de 25 mL filtradas com filtro de fibra de vidro (Whatman tipo GF/F), pré-calcinado (500°C por 5 horas), com porosidade nominal de 0,7 μm , acondicionadas em frasco de vidro pré-calcinados, e preservadas com HgCl_2 a uma

concentração final de de Hg de 300 μM , para determinar a concentração do carbono orgânico dissolvido:

d) uma alíquota de 10 L, acondicionada *in natura* em frasco de polietileno e armazenada em caixa de isopor, para determinar a concentração de sedimentos em suspensão e a composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) da fração fina dos mesmos.

Após a retirada das alíquotas foram medidos os seguintes parâmetros físico-químicos: pH e temperatura da água com medidor portátil marca Orion, Modelo 290 A, oxigênio dissolvido com o medidor portátil marca YSI, modelo 58 e a condutividade elétrica com um condutímetro marca Amber Science, Modelo 2052.

Ao longo da amostragem, uma estação meteorológica portátil digital da marca Kestrel foi utilizada para medir temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Ao mesmo tempo, uma rede de fitoplâncton foi colocada na água no início da amostragem, permanecendo submersa durante todos os outros procedimentos. Ao final destes, a rede foi retirada e o material esvaziado e armazenado em frasco de polietileno para análise da composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) da fração grossa dos sedimentos em suspensão.

2.3 Métodos Analíticos

2.3.1 Íons Maiores e Nutrientes

As concentrações dos cátions cálcio, sódio, magnésio, potássio e amônio, e dos ânions cloreto, sulfato, nitrito e nitrato foram determinadas através da técnica de cromatografia líquida com supressão de íons, empregando um equipamento Dionex DX-500.

O método consiste na injeção da amostra em uma fase móvel, passando por uma coluna de troca iônica (fase estacionária), com sua detecção sendo obtida por condutividade elétrica. As colunas analíticas empregadas para ânions e cátions foram, respectivamente, IonPac AS14HC (4 mm) e CS12A (4 mm) (DIONEX, 2000). As

concentrações foram calculadas por comparação com padrões externos preparados diariamente. Juntamente com cada lote de amostras (total de 80) analisou-se uma amostra certificada, TROIS-94 (National Water Research Institute, Canada), para avaliar o funcionamento do equipamento. Quando os valores obtidos nesta análise diferiram em mais do que 5% daqueles esperados pelo laudo, as análises foram refeitas.

2.3.2 Carbono Orgânico e Inorgânico Dissolvidos

Para determinar as concentrações de carbono orgânico (COD) e inorgânico dissolvidos (CID) foi utilizado um equipamento da marca Shimadzu, modelo TOC-VCPH (Total Organic Carbon Analyser), com detecção na forma de CO_2 em um analisador de gases não dispersivos com absorvância no comprimento de onda infravermelho. O equipamento possui duas vias de análise, sendo uma para a fração orgânica e outra para a inorgânica, como segue:

- a) **Análise da fração orgânica** - uma alíquota da amostra foi previamente acidificada até pH 1,0, borbulhada com ar sintético para retirar a fração inorgânica do carbono (convertida a CO_2 pela acidificação), e então injetada no equipamento, onde foi queimada a 680°C . O gás produzido pela queima foi então carregado por um fluxo de ar sintético, passando por uma coluna de resfriamento, um desumidificador eletrônico, um removedor de gases halogenados e uma membrana de filtro, até chegar ao detector, onde o CO_2 produzido pela queima é quantificado. As concentrações são determinadas em comparação a padrões externos.
- b) **Análise da fração inorgânica** - no caso do carbono inorgânico dissolvido não há pré-acidificação ou queima. A amostra é injetada diretamente dentro de um recipiente com ácido, onde os carbonatos passam à forma de CO_2 , que é carregado para o detector seguindo o mesmo procedimento citado anteriormente para o COD. As concentrações são determinadas conforme descrito acima.

2.3.3 Sedimentos em suspensão

As concentrações de sedimentos em suspensão foram determinadas por gravimetria. Filtros de acetato de celulose com porosidade de 0,45 μm foram secos em estufa a 60° C (usualmente por 72 h), pesados em balança com precisão de 5 dígitos, utilizados para a filtração das frações grossa e fina dos sedimentos em suspensão, e depois secos e pesados novamente.

Inicialmente, os 10 litros de amostra *in natura* são peneirados em uma peneira de mesh de 63 μm , para separar os sedimentos grossos em suspensão (>63 μm). O conteúdo retido na mesma é inteiramente lavado para o suporte de filtro contendo dois filtros de acetato de celulose sobrepostos (ambos são pesados, mas o de baixo é apenas para o controle de alterações na pesagem). A partir da amostra já peneirada (<63 μm e > 0,45 μm) são então retiradas alíquotas de 0,5 a 1,5 L (em função da análise visual da quantidade de material sendo retido no filtro durante a filtração) e filtradas, em triplicatas, da mesma maneira descrita acima. O material retido nesta etapa é denominado de sedimento fino em suspensão.

Nesta etapa, também utiliza-se o restante da amostra já peneirada para filtrar o máximo possível (até que o filtro entupa) em filtros de quartzo com porosidade nominal de 0,7 μm , a fim de reter nos mesmos material suficiente para as análises elementar e isotópica dos sedimentos finos em suspensão.

2.3.4 Composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) da matéria orgânica particulada

A análise das concentrações de carbono e nitrogênio e das razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) destes elementos no material orgânico presente nos sedimentos em suspensão é feita em equipamento Finnigan Delta Plus acoplado a um analisador elementar Fisons. As amostras são inseridas no forno do analisador elementar, queimadas a uma temperatura de 720° C e carreadas para colunas cromatográficas

para que os produtos gasosos sejam separados antes da quantificação no espectrômetro de massas.

Ambas as frações fina e grossa são secas em estufa, maceradas, homogeneizadas, pesadas e acondicionadas em cápsulas de estanho antes da inserção no equipamento. No caso dos filtros contendo o material fino, é necessária a pesagem prévia do filtro para a correção das massas, uma vez que apenas pedaços dos mesmos são retirados para análise. As concentrações e composições isotópicas são obtidas por comparação com padrões externos certificados.

2.4 Análise estatística

Para auxiliar na interpretação e discussão dos resultados obtidos foi realizado o teste F, a fim de identificar diferenças estatísticas significativas entre as médias das concentrações de íons e parâmetros físico-químicos dos pontos estudados. Os índices de confiança considerados foram: valores de $p < 0,01$ correspondem à diferenças altamente significativas; $p < 0,05$ à diferenças significativas e; $p > 0,05$ indica variáveis que não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comportamento Hidrológico

O regime hidrológico da região consiste basicamente de quatro estações: cheia (de Janeiro a Abril), vazante (de Abril a Junho), seca (de Julho a Outubro) e enchente (de Novembro a Janeiro). Essa variação sazonal da descarga no rio Teles Pires é característica das regiões ao sul da Amazônia, como por exemplo, o rio Ji-Paraná, observado por Victoria (2005).

A vazão média do rio Teles Pires, de acordo com dados obtidos entre 1980 e 2010 (ANA) é de aproximadamente $2.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Na Figura 8 podemos ver uma comparação entre estes valores históricos e aqueles observados nos anos deste trabalho. Entretanto, os dados de vazão não estão disponíveis para todas as estações em todos os anos deste estudo. Para a estação de cheia, dispõe-se de dados para os anos de 2004, 2005, 2008, 2009 e 2010 e na vazante os dados são para os anos de 2004, 2005, 2008 e 2010. A única estação que tem dados em todos os anos de coleta é a enchente. Observando a Figura 7, verifica-se que, com exceção do ano de 2009, nos demais os valores de vazão estão sempre acima da média. Um dos fatores ao qual este fato pode estar relacionado é uma pluviosidade acima da média nos meses de fevereiro a partir do ano de 2004, como pode ser observado na Figura 9, que ilustra a pluviosidade média de 1978 até 2010 e a pluviosidade de 2004 até 2010 que é o período das coletas, na mesma estação onde foram obtidos os dados de vazão.

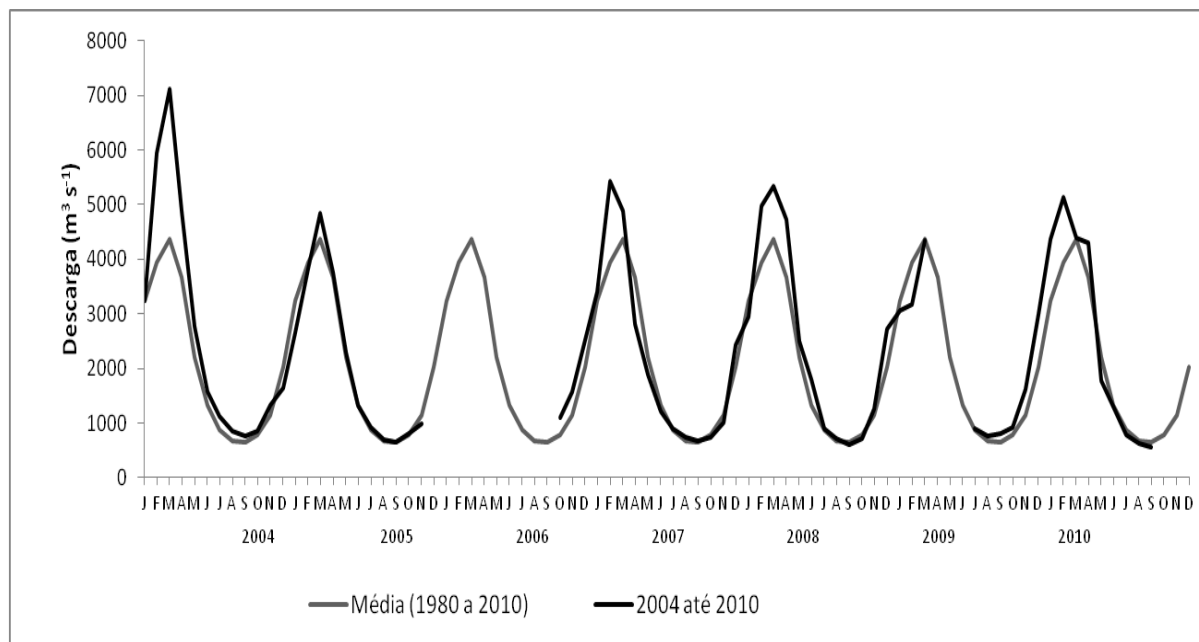


Figura 8 - Variação sazonal da descarga média mensal do rio Teles Pires, na estação denominada Jusante Foz Peixoto de Azevedo, entre Outubro de 1980 e Setembro de 2010 (em cinza) e a comparação com a descarga média no período de coleta, entre Janeiro de 2004 e Setembro de 2010 (em preto). (Fonte: ANA)

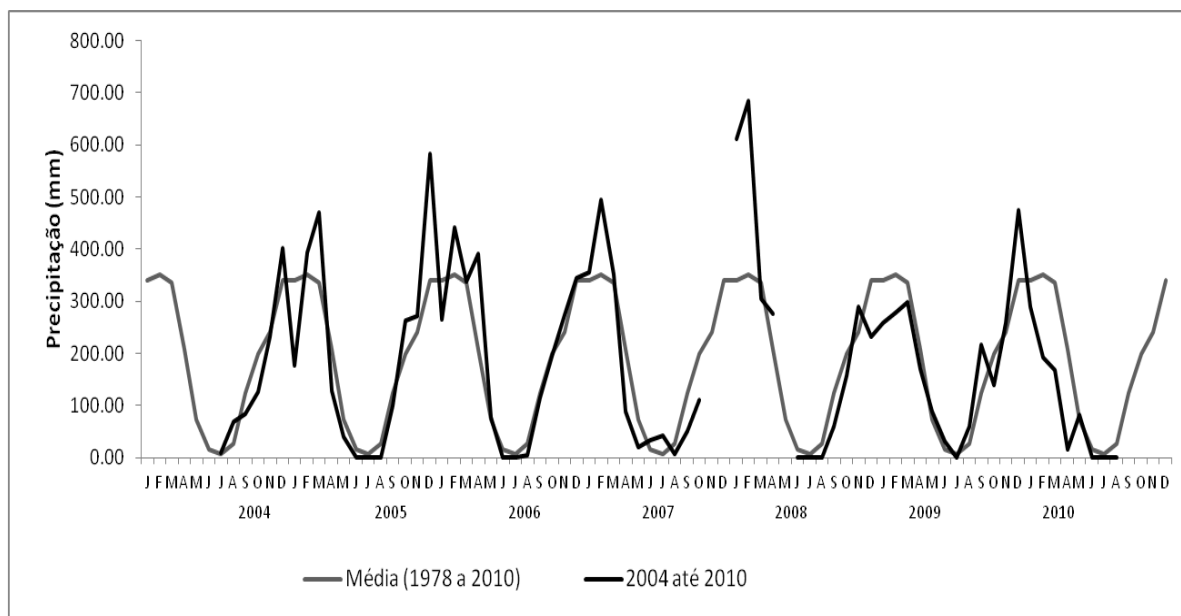


Figura 9 - Precipitação média de 1978 a 2010 (em cinza) e pluviosidade média no período amostral, de 2004 até 2010 (em preto), na estação Jusante Foz Peixoto de Azevedo (Fonte: ANA)

3.2 Parâmetros medidos no campo

3.2.1 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica média das águas de ambos os rios foi relativamente muito baixa, igual a $11,5 \pm 2,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Teles Pires e $24,5 \pm 9,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Cristalino (Figura 10), sendo que ambos os rios apresentam variações sazonais da mesma, mas de maneiras distintas. No rio Teles Pires os maiores valores da condutividade elétrica são no período chuvoso, enquanto que no rio Cristalino os maiores valores da condutividade elétrica são no período de seca. Os menores valores em ambos os rios são os mesmos, tanto o rio Teles Pires quanto o rio Cristalino apresentaram um valor mínimo igual $7 \mu\text{S cm}^{-1}$, porém o valor máximo no rio Cristalino foi de $39 \mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que no rio Teles Pires o maior valor foi $17 \mu\text{S cm}^{-1}$. Estatisticamente os rios são significativamente diferentes entre si para este parâmetro ($p < 0,01$).

O rio Cristalino apresenta o comportamento semelhante ao dos rios Rolim de Moura, Urupá e Jarú no estado de Rondônia, estudados por Leite (2004), nos quais a condutividade elétrica apresenta um padrão inverso à descarga, isto é diminui com o aumento da mesma. O rio Teles Pires, ao contrário, apresenta maiores concentrações de solutos e condutividade elétrica nos períodos de maiores descargas, de forma similar ao relatado pelo mesmo autor para o rio Comemoração naquele mesmo estado. No caso do Cristalino, este padrão sazonal está de acordo com o modelo clássico da química de rios, no qual se prevê aumento das concentrações de íons maiores no período de menor descarga, em função do maior tempo de residência das águas em contato com as rochas do substrato. Por outro lado, o padrão observado para o rio Teles Pires se assemelha aos resultados obtidos por Markewitz et al. (2001) para uma região no Nordeste da Amazônia (Paragominas). Segundo estes autores, o fato do rio drenar terrenos muito intemperizados não favorece aumento da carga iônica com o aumento do contato com rochas já depauperadas em sais. Em vez disto, o estoque de íons nestas bacias se encontraria nos solos e a lixiviação dos mesmos no período chuvoso seria a responsável pelo aumento das suas concentrações nas águas dos rios.

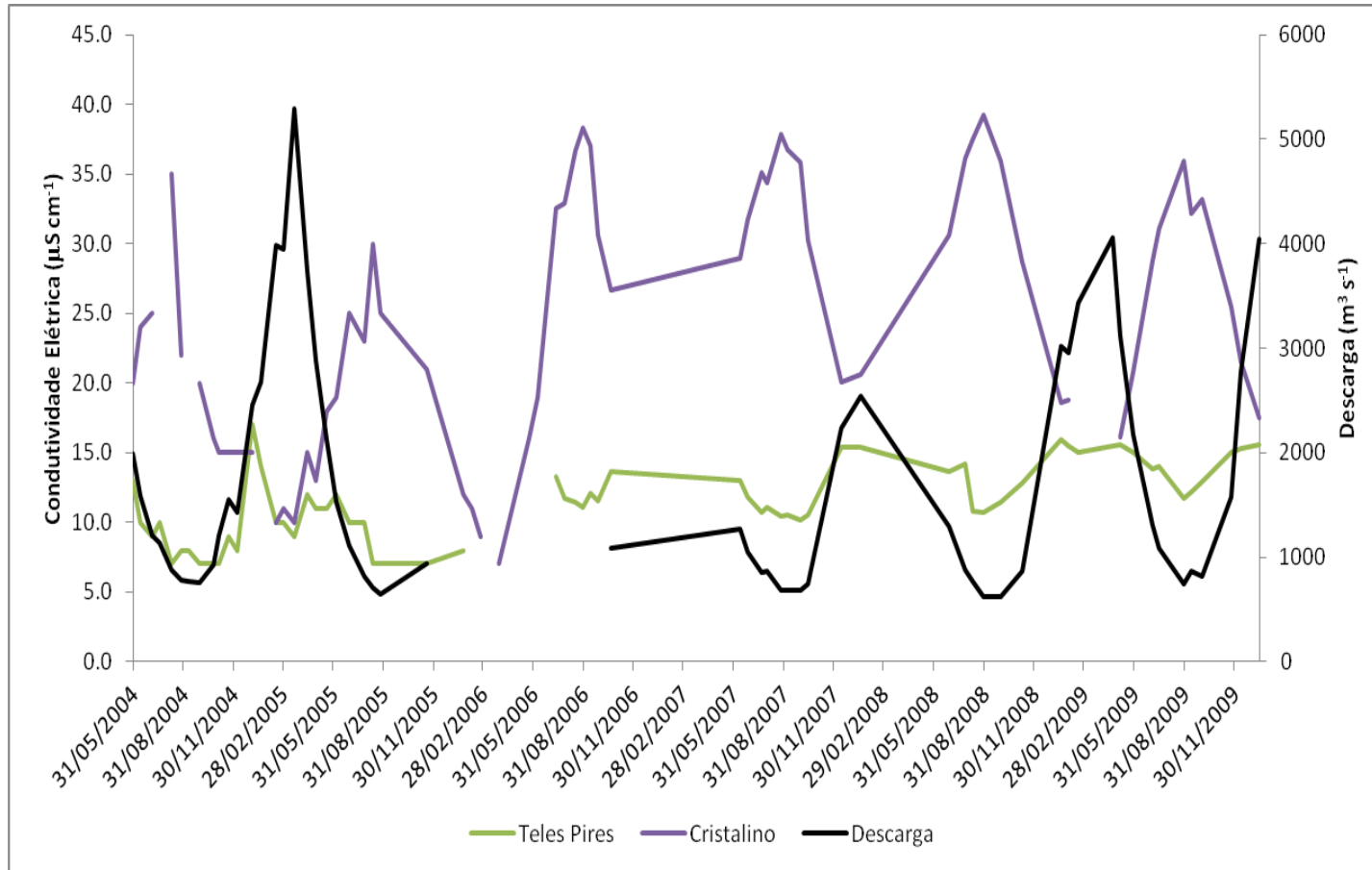


Figura 10 - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período

3.2.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Em termos de pH as águas do rio Teles Pires apresentaram valores médios de $6,10 \pm 0,3$ e as do Cristalino de $6,17 \pm 0,5$. Apesar destes valores serem muito similares, o Cristalino apresenta valores um pouco maiores do que o rio Teles Pires na época da seca ($6,57 \pm 0,2$ no rio Cristalino e $6,38 \pm 0,1$ no rio Teles Pires). Porém, na época de chuva os valores de pH do rio Cristalino são menores do que o rio Teles Pires, fato este que leva os dois a terem médias estatisticamente iguais (Figura 11).

No rio Cristalino os valores de pH oscilaram entre 5,06 e 6,99, enquanto que no rio Teles Pires os valores oscilaram entre 5,41 e 6,8, com ambos os rios próximos da neutralidade no período de seca e mais ácidos no período chuvoso, provavelmente em função do arraste de ácidos húmicos e fúlvicos dos solos para o rio pelas águas da chuva.

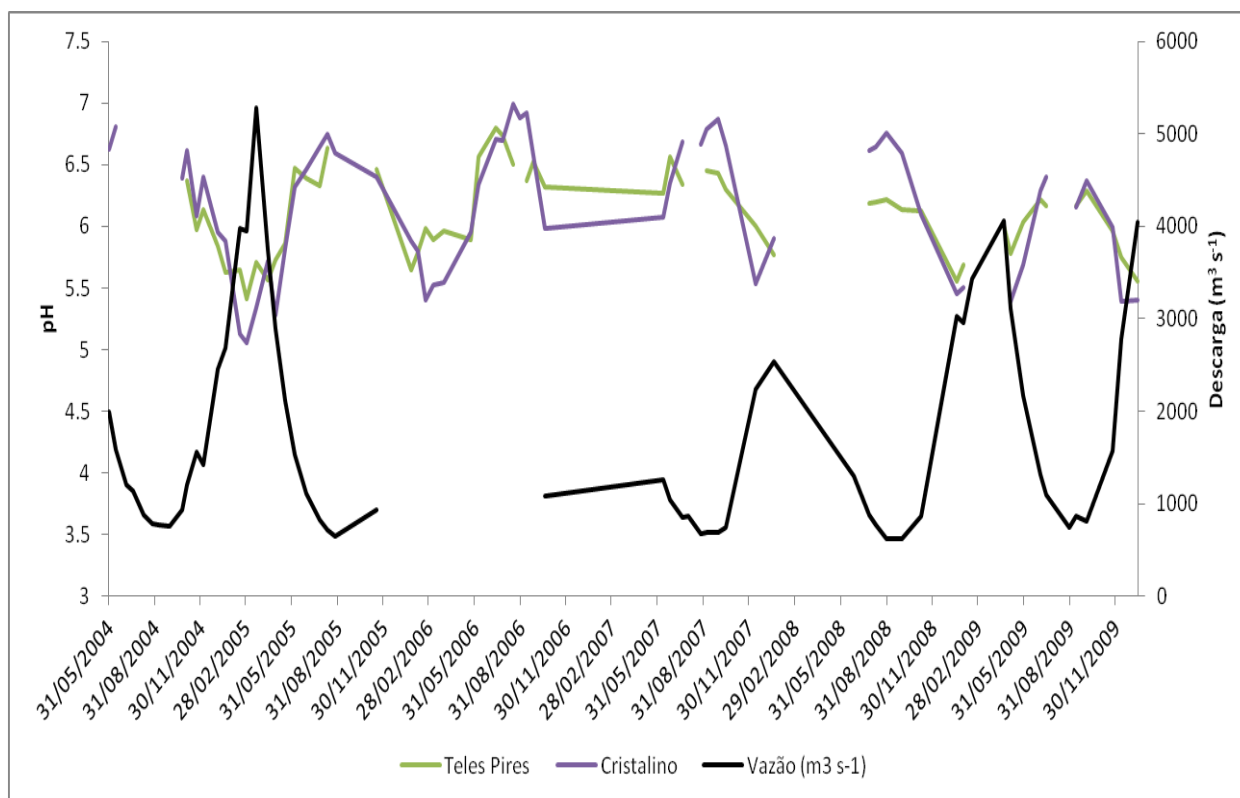


Figura 11 - pH dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de Maio de 2004 a Janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período

3.2.3 Oxigênio Dissolvido

A concentração média de oxigênio dissolvido foi de $6,84 \pm 0,9$ mg L⁻¹ no rio Teles Pires e $6,46 \pm 0,9$ mg L⁻¹ no rio Cristalino (Figura 12), sendo que os valores para o rio Cristalino tanto no período de seca quanto no período de chuva foram um pouco abaixo do que os valores do rio Teles Pires, sendo estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Ambos os rios apresentaram a mesma sazonalidade, com valores maiores no período de seca e menores no período chuvoso. Tal oscilação pode ser devida ao aumento da matéria orgânica em decomposição no período chuvoso e eventual consumo de oxigênio nas áreas alagadas, situação semelhante a encontrada por Silva (2007) no rio Cristalino, com valores que oscilaram entre 4,19 e 7,2 mg L⁻¹. No rio Teles Pires os valores oscilaram entre 4,55 e 10,55 mg L⁻¹ enquanto que no rio Cristalino os valores oscilaram entre 4,38 e 9,4 mg L⁻¹. Segundo Krusche et al. (2011, artigo não publicado) a diminuição da concentração do oxigênio dissolvido no período chuvoso pode estar também relacionado ao fato da chuva lixiviar os solos, levando ácidos húmicos e fúlvicos e mesmo água do solo mais pobre em oxigênio e mais ácidas para os rios.

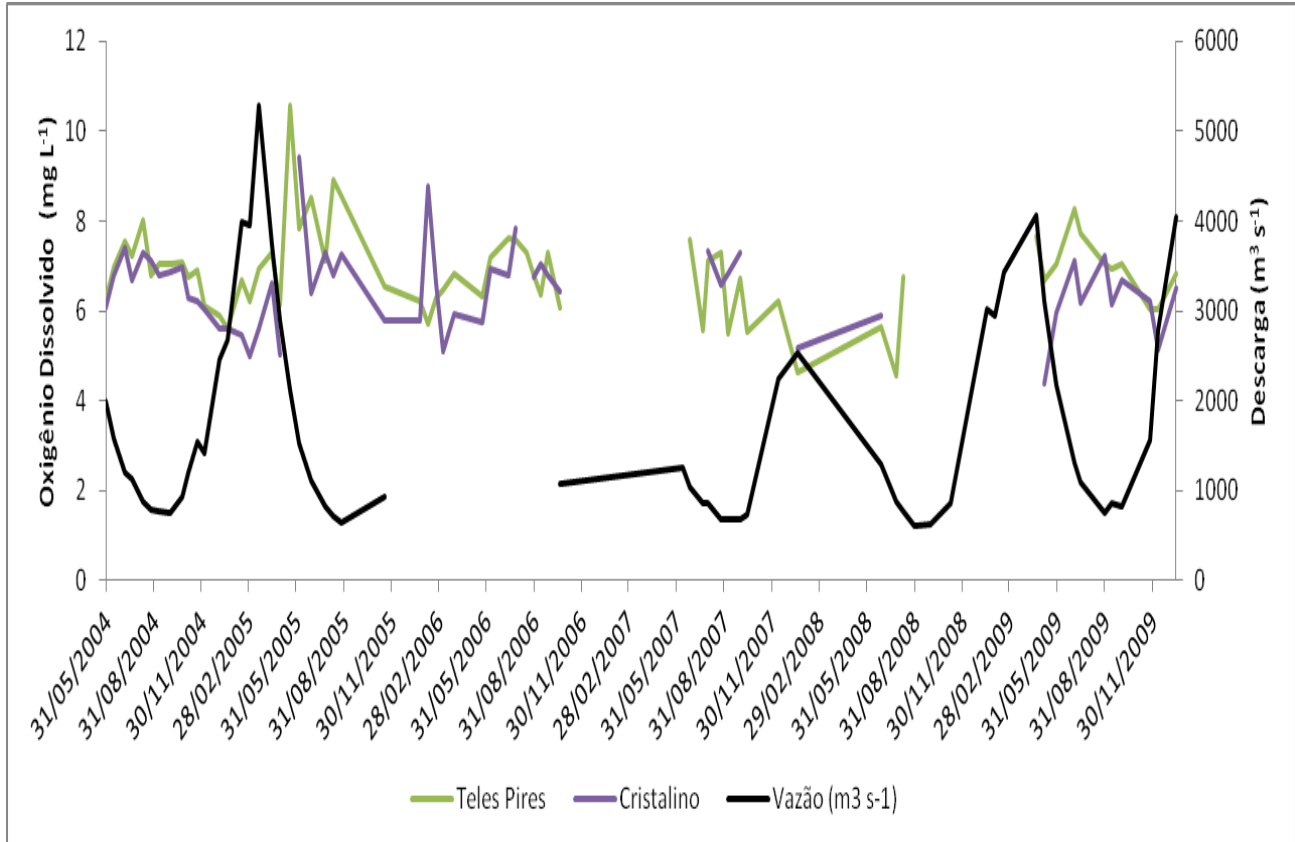


Figura 12 - Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}) dos rios Teles Pires e Cristalino, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010, em função da descarga no mesmo período

3.3 Composição Química das Águas

3.3.1 TZ^+ e TZ^-

Stallard e Edmond (1983) utilizaram critérios geoquímicos para distinguir os rios da bacia Amazônica. Com base no somatório dos íons maiores de cargas positivas (TZ^+) presentes nestas águas, estes autores propuseram quatro grandes categorias:

1) rios com águas com $0 < \text{TZ}^+ < 200 \mu\text{eq. L}^{-1}$, drenam materiais mais intensamente intemperizados;

2) rios com águas com $200 < \text{TZ}^+ < 450 \mu\text{eq. L}^{-1}$, drenam terrenos ricos em silicatos;

3) rios que apresentam águas com $450 < TZ^+ < 3000 \mu\text{eq. L}^{-1}$, drenam terrenos dominados por carbonatos e têm concentrações elevadas de Ca, Mg e SO_4 e;

4) rios que apresentam águas com $TZ^+ > 3000 \mu\text{eq L}^{-1}$ drenam maciços evaporitos. Estes rios são ricos em Na e Cl.

Na terceira e quarta categorias, os rios tendem ter o equivalente a 1:1 nas razões Na:Cl e $(\text{Ca} + \text{Mg}):(\text{alcalinidade} + \text{SO}_4)$, causadas, respectivamente, pelo intemperismo de carbonatos e evaporitos.

As concentrações relativas elevadas de certas espécies iônicas foram relacionadas por estes autores à geologia da bacia de drenagem, através das seguintes associações: Ca, Mg, Sr, Bicarbonato e SO_4 com rochas carbonáticas e gesso; K, B e Na com rochas ílíticas; Si com rochas bentonitas e zonas termais; Na e Cl com evaporitos e Fe e B, com substrato glauconítico (STALLARD; EDMOND, 1983).

Ao aplicarmos essa classificação às águas dos rios estudados, observamos que o rio Cristalino se enquadra no grupo 2, apresentando valor médio de TZ^+ de $220 \mu\text{Eq.L}^{-1}$, característica de rios que drenam terrenos ricos em silicatos e o rio Teles Pires se enquadra no grupo 1 apresentando valor médio de TZ^+ de $98 \mu\text{Eq.L}^{-1}$, característica de rios que drenam materiais mais intensamente intemperizados, com rios pobres em sais. Entretanto, conforme discutiremos abaixo, considerando a predominância relativa dos cátions maiores e o padrão sazonal apresentado pelo rio Cristalino, torna-se evidente que o mesmo drena terreno com contribuição de rochas calcáreas.

O rio Cristalino apresenta TZ^+ média de $220 \pm 75,6 \mu\text{eq L}^{-1}$, com valores que oscilaram entre 77 e $348 \mu\text{eq L}^{-1}$ (Figura 13) com maiores valores na estação seca e menores na estação chuvosa. Já o rio Teles Pires apresentou uma média de $98 \pm 26,2 \mu\text{eq L}^{-1}$, com valores que oscilaram entre 45 e $158 \mu\text{eq L}^{-1}$, como um padrão sazonal inverso ao do rio Cristalino, pois os maiores valores no rio Teles Pires são no período chuvoso, sendo a mesma tendência seguida pela condutividade elétrica.

Em relação ao somatório das cargas negativas o rio Cristalino apresenta uma média de $255 \mu\text{eq L}^{-1}$. Da mesma forma que o somatório das cargas positivas, as cargas negativas também apresentaram os maiores valores no período seco, com um valor máximo de $407 \mu\text{eq L}^{-1}$ e um valor mínimo de $105 \mu\text{eq L}^{-1}$, no período chuvoso. O rio Teles Pires apresenta uma média de $130 \mu\text{eq L}^{-1}$, com a mesma tendência das

cargas positivas, menores valores no período seco 87 $\mu\text{eq L}^{-1}$ (valor mínimo) e maiores valores no período chuvoso, 207 $\mu\text{eq L}^{-1}$ (valor máximo) (Figura 14).

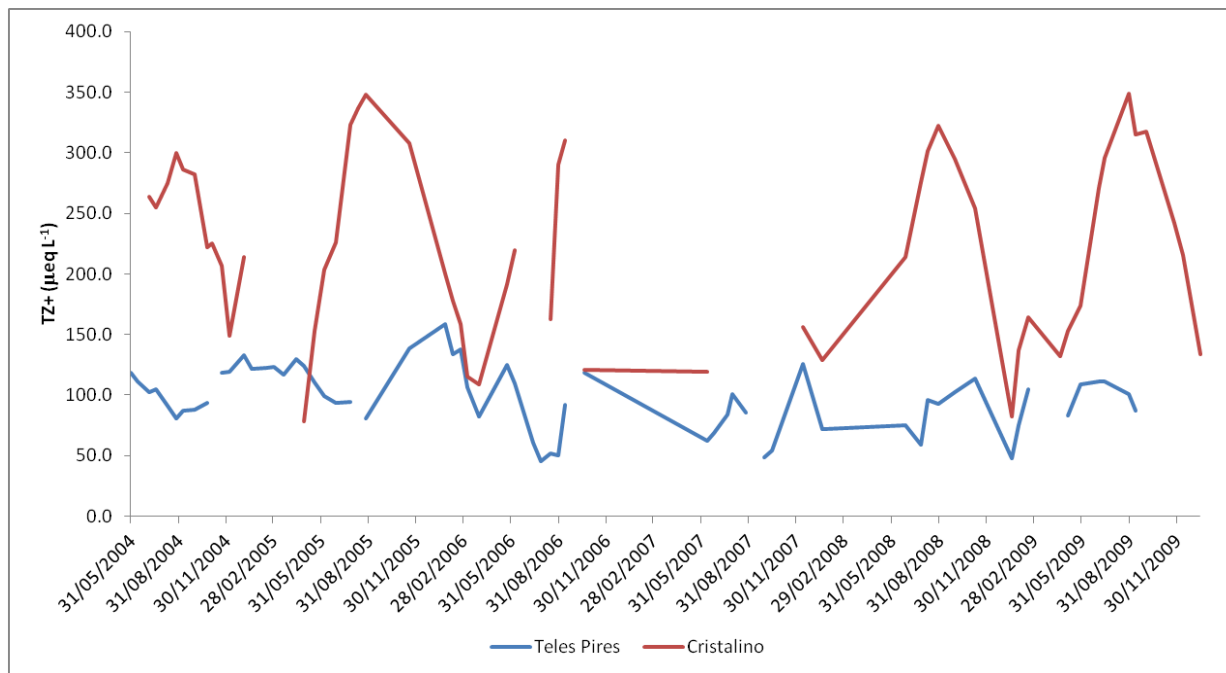


Figura 13 - Somatório das cargas positivas nos rios Cristalino e Teles Pires, no período de maio de 2004 a janeiro de 2010

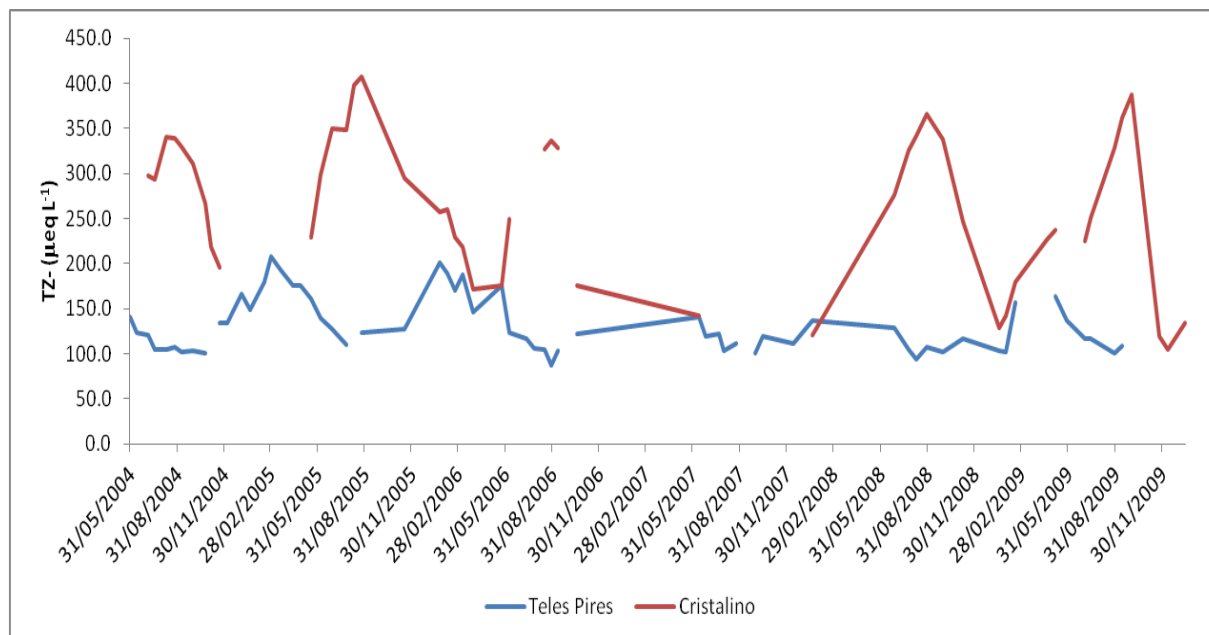


Figura 14 - Somatório das cargas negativas nos rios Cristalino e Teles Pires, no período de maio de 2004 a janeiro de 2011

3.3.2 Diagramas Ternários

Para determinar as possíveis origens geoquímicas das águas do rio Teles Pires e Cristalino, foram utilizados diagramas ternários, gerados a partir da proporção relativa das concentrações de cada um dos íons maiores (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^{2-} , CO_3^{2-} , Cl^- e SO_4^{2-}), sendo úteis para: a) demonstrar os “tipos” de águas de maneira visualmente clara, e, b) testar se a composição química das mesmas resulta de fontes distintas (DREVER, 1997).

O rio Cristalino apresenta uma predominância de Ca e Mg, indicando o intemperismo de carbonatos destes elementos, ao passo que o rio Teles Pires apresenta uma dominância de Na e K, indicando intemperismo de aluminossilicatos destes elementos (Figura 15). Portanto, apesar da quantidade de cargas positivas colocar o rio Cristalino no grupo dos rios que drenam aluminossilicatos, segundo Stallard e Edmond (1983), percebe-se que tal classificação não deve ser utilizada de forma

generalizada. Neste caso, apesar da carga iônica reduzida, as evidências apontam para a drenagem de rochas calcáreas.

Em relação à distribuição dos ânions, há uma predominância do bicarbonato (Figura 16), em ambos os rios, sendo que o rio Cristalino apresenta uma concentração aproximadamente cinco vezes superior à do Teles Pires. Além da predominância de carbonatos, nota-se uma pequena contribuição do cloreto, que pode indicar também a contribuição da precipitação na composição química destas águas.

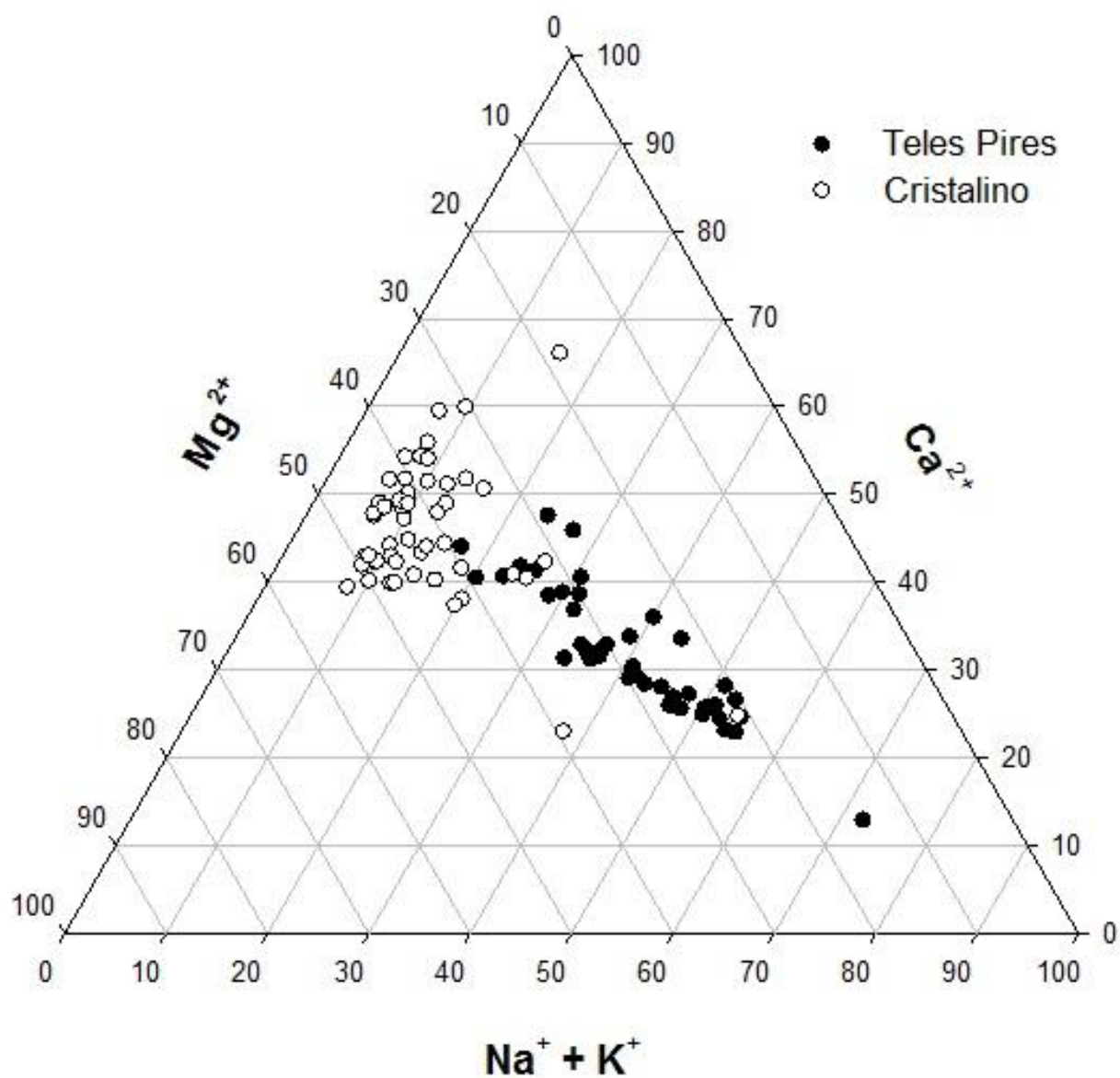


Figura 15 - Diagrama ternário elaborado a partir da distribuição dos cátions, nos rios Teles Pires e Cristalino

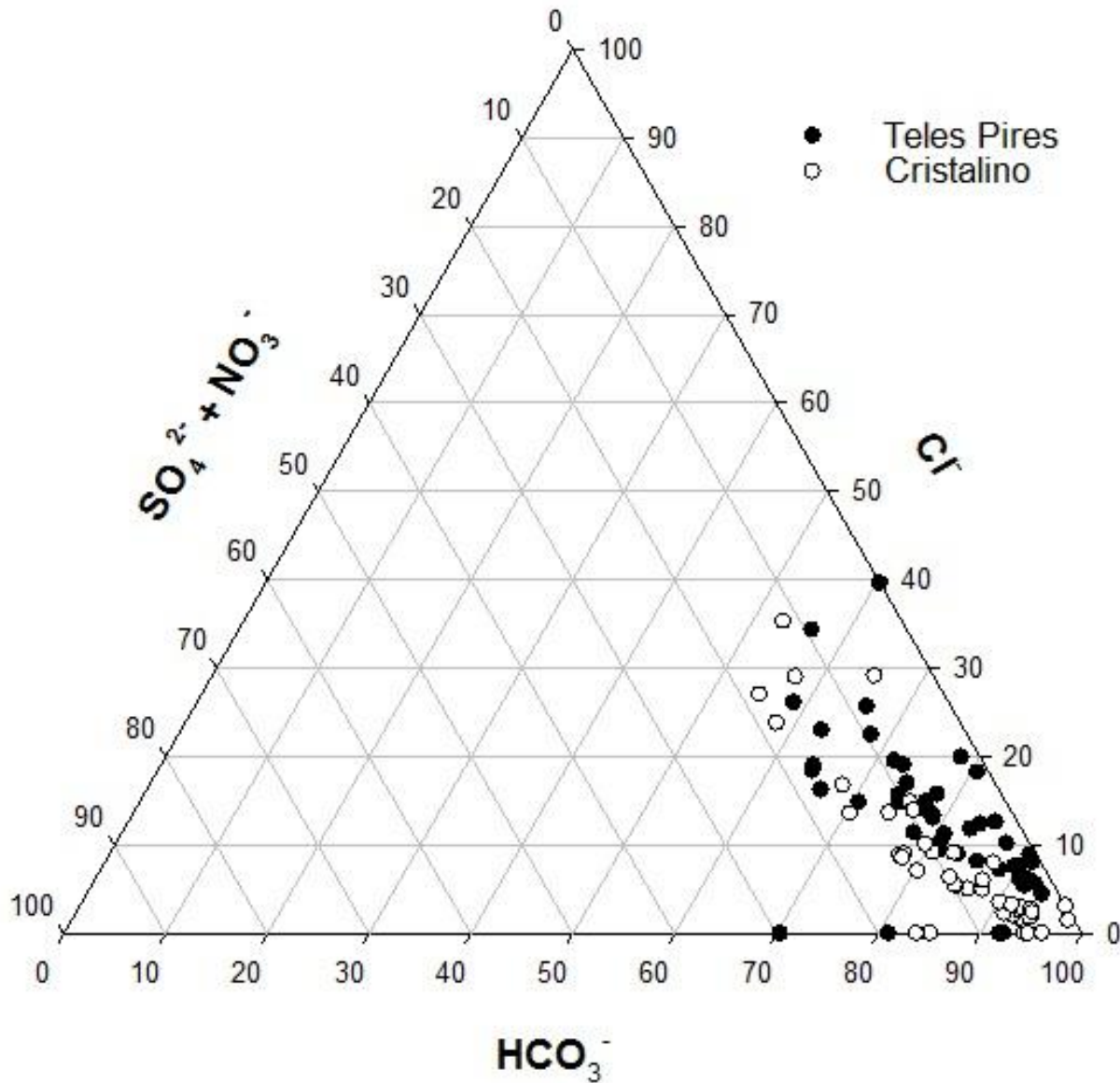


Figura 16 - Diagrama ternário elaborado a partir da distribuição dos ânions nos rios Teles Pires e Cristalino

3.3.3 Sazonalidade dos Íons Maiores

Ao analisar a distribuição dos cátions, observamos que o rio Cristalino apresenta a mesma tendência, tanto na média de todos os dados, como na média da estação seca e da chuvosa, na seqüência $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$, sendo que o K^+ e o Na^+ têm

pouca oscilação entre uma estação e outra e o Ca^{2+} e o Mg^{2+} apresentam valores maiores no período seco e menores valores no período chuvoso (Tabela 1, Figura 17). A diferença entre a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação a de K^+ e Na^+ é mais acentuada no período seco, chegando a ser 3 vezes maior. No período chuvoso a diferença entre estas concentrações diminui, como seria esperado para um rio que drena rochas menos intemperizadas e cuja química é controlada pelo intemperismo das rochas (GIBBS, 1970)

Por outro lado, o rio Teles Pires apresenta distintas razões entre os cátions conforme as estações (Tabela 1, Figura 18). Na média geral apresenta a tendência $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, preponderante também no período chuvoso. No entanto, no período seco a tendência é $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Ca^{2+} e Mg^{2+} não sofrem variações nos seus valores entre as estações, enquanto Na^+ e K^+ tem seus valores dobrados no período chuvoso. Segundo Carvalho et al. (2011, artigo não publicado) os solos da região tem teor de K^+ classificado entre médio e alto, o que poderia explicar um aumento das concentrações neste rio, em função do carreamento pela água da chuva.

Tabela 1 - Distribuição dos cátions nos rios Teles Pires e Cristalino, em μM

Rio/Estação	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
Teles Pires (média)	17	15	23	18
Teles Pires (seca)	17	15	18	12
Teles Pires (chuva)	18	15	29	24
Cristalino (média)	54	47	11	13
Cristalino (seca)	63	58	10	13
Cristalino (chuva)	40	37	13	14

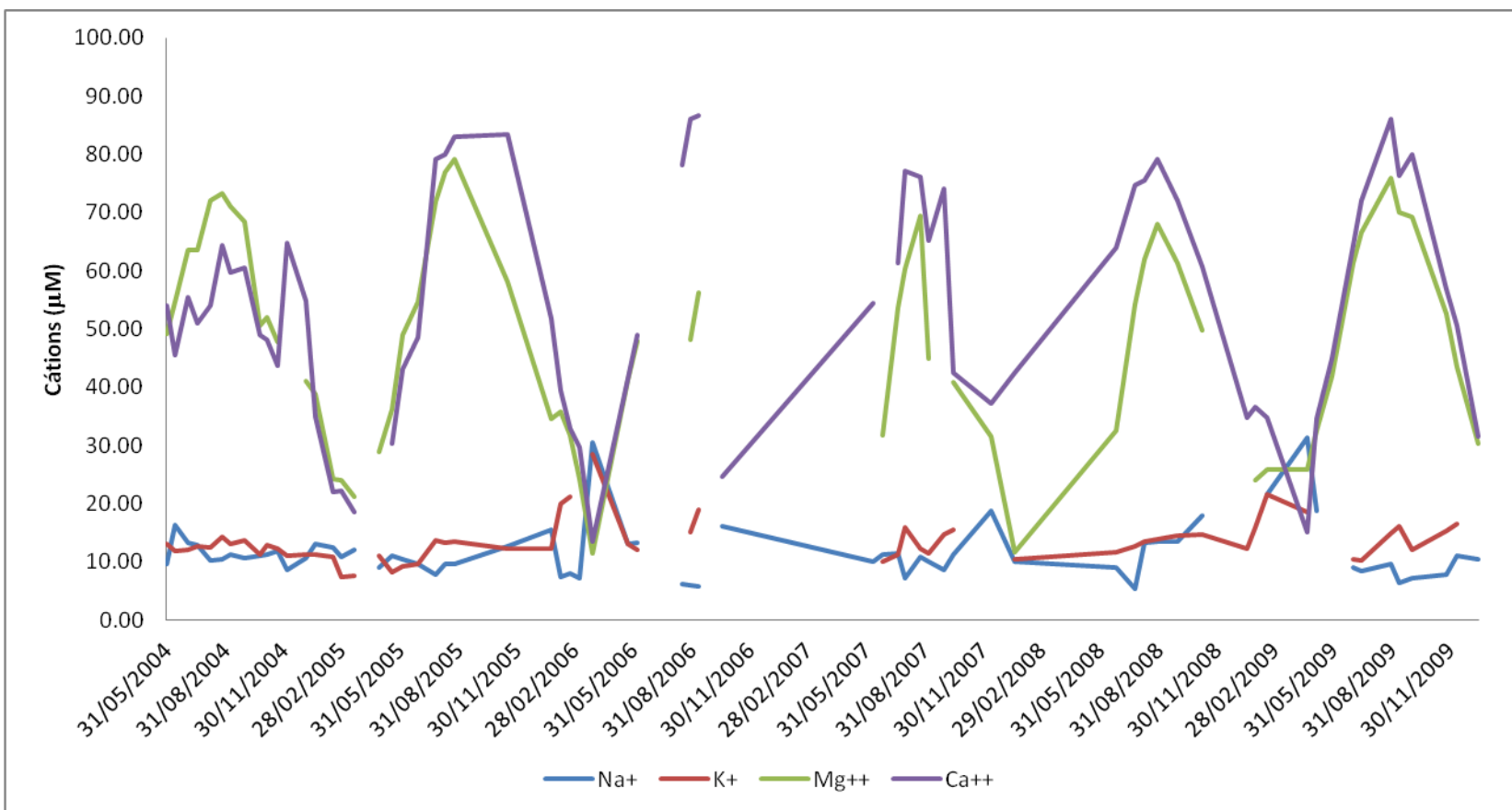


Figura 17 - Concentração de cátions, em µM, no rio Cristalino, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010

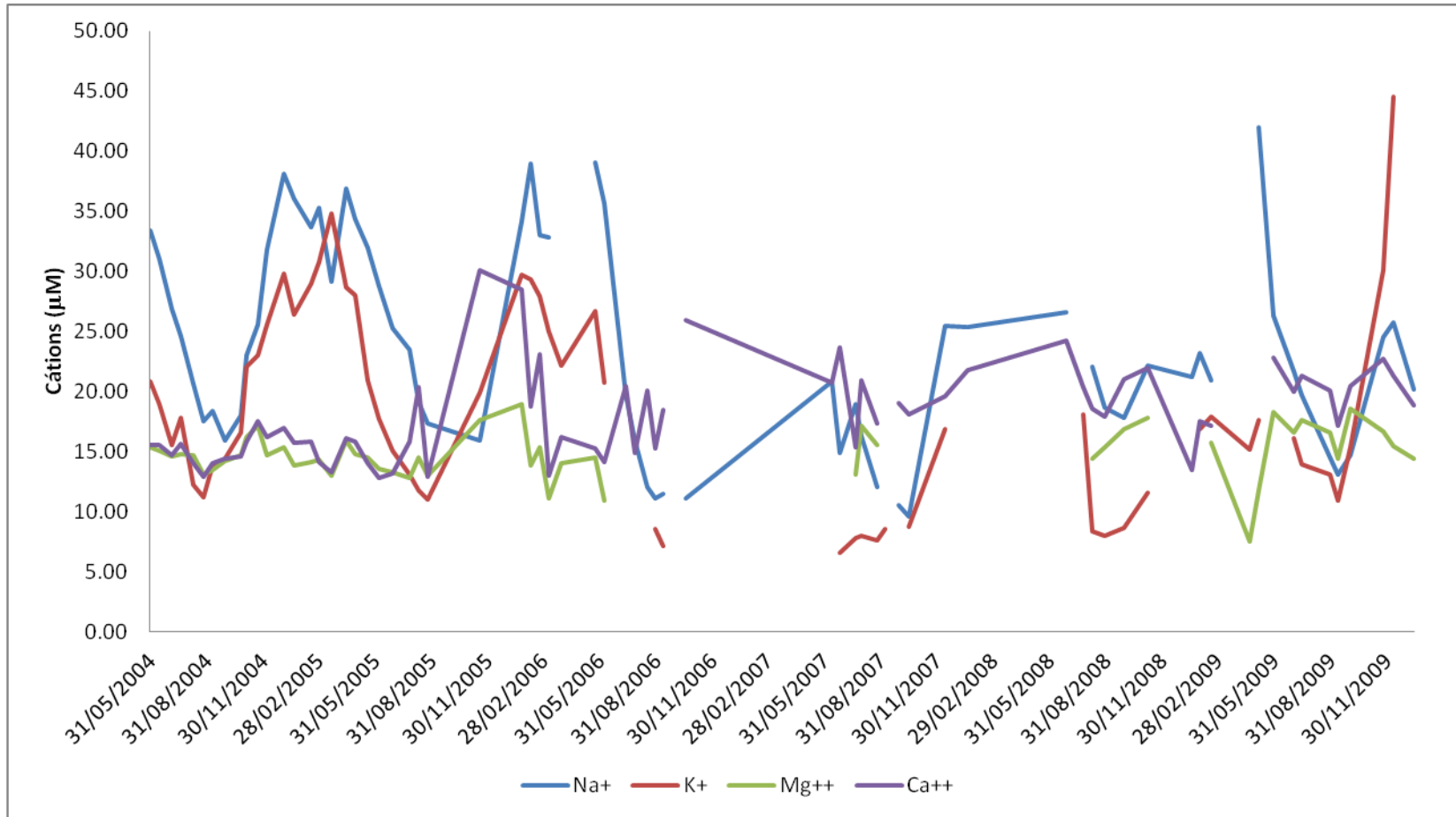


Figura 18 - Concentração de cátions, em µM, no rio Teles Pires, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010

Quando consideramos as maiores concentrações de Na^+ em relação ao Ca^{2+} no rio Teles Pires, podemos classificá-lo, de acordo com o modelo proposto por Gibbs (1970), como controlado por precipitação atmosférica, em função do carreamento de sais pelas águas que percolam os solos e chegam até os rios, uma vez que o rio Teles Pires apresenta solos arenosos.

Nenhum dos dois rios seguem a tendência mundial proposta por Wetzel (1981), $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, o que demonstra que a análise do comportamento químico de um sistema fluvial deve ser avaliada de forma individualizada.

A razão $\frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{Ca}}$ pode ser utilizada para verificar a predominância de mecanismos de intemperismo rochoso ou de aportes atmosféricos aos corpos d'água (DREVER, 1997). Quando a razão se aproxima de 1 a chuva é a principal fonte de sais para as água dos rios, e quando a razão diminui o mecanismo regulador é o intemperismo das rochas pela água subterrânea. O rio Teles Pires apresentou uma razão média de 0,55 e o rio Cristalino 0,20, corroborando a hipótese de que o mecanismo regulador da composição química da água do rio Teles Pires é a água da chuva e do rio Cristalino é o intemperismo de rochas carbonatadas.

Em relação à distribuição dos ânions, há uma predominância do bicarbonato (Tabela 2, Figuras 19 e 20), em ambos os rios, sendo que o rio Cristalino apresenta uma concentração duas vezes maior do que o rio Teles Pires, devido à presença de rochas carbonatadas. No rio Teles Pires, em relação à média o bicarbonato tem valores bem próximos tanto na estação seca quanto na chuvosa, porém no rio Cristalino na estação seca a concentração do bicarbonato é 3 vezes maior do que na estação chuvosa, provavelmente porque na estação seca a água está mais em contato com seu leito rochoso, liberando bicarbonato e na estação chuvosa esse bicarbonato acaba diluído devido ao maior volume de água.

As concentrações de carbonato estão próximos de zero, em ambos os rios.

A concentração de sulfato no rio Cristalino é quatro vezes maior do que o rio Teles Pires, na média geral de todos os dados. Quando separados por estações, na estação seca esse valor chega a 5 vezes mais, caindo para 2,5 vezes maior no período de chuva, outro indicativo de que o intemperismo de rochas carbonatadas, intensificado no período seco, libera cálcio e sulfato para estas águas.

Tabela 2 - Distribuição dos ânions nos rios Teles Pires e Cristalino, em μM

Rio	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
Teles Pires (média)	7,26	49,10	0,97
Cristalino (média)	7,11	118,46	3,95
Teles Pires (seca)	6,40	55,95	0,90
Cristalino (seca)	6,49	166,26	4,78
Teles Pires (chuva)	8,29	40,19	1,06
Cristalino (chuva)	7,87	53,58	2,88

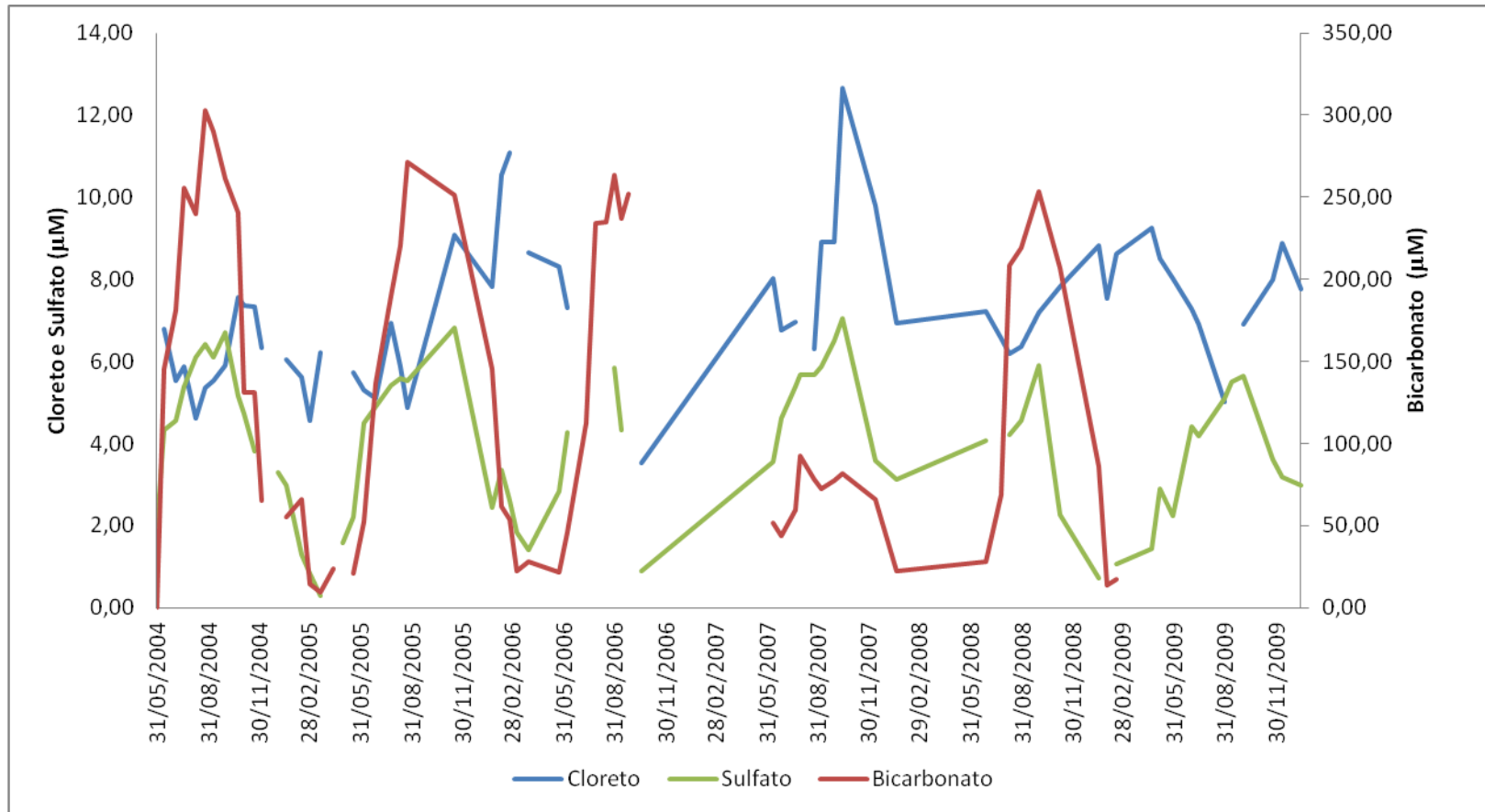


Figura 19 - Concentração de ânions, em μM , no rio Cristalino, de Maio de 2004 à Janeiro de 2010

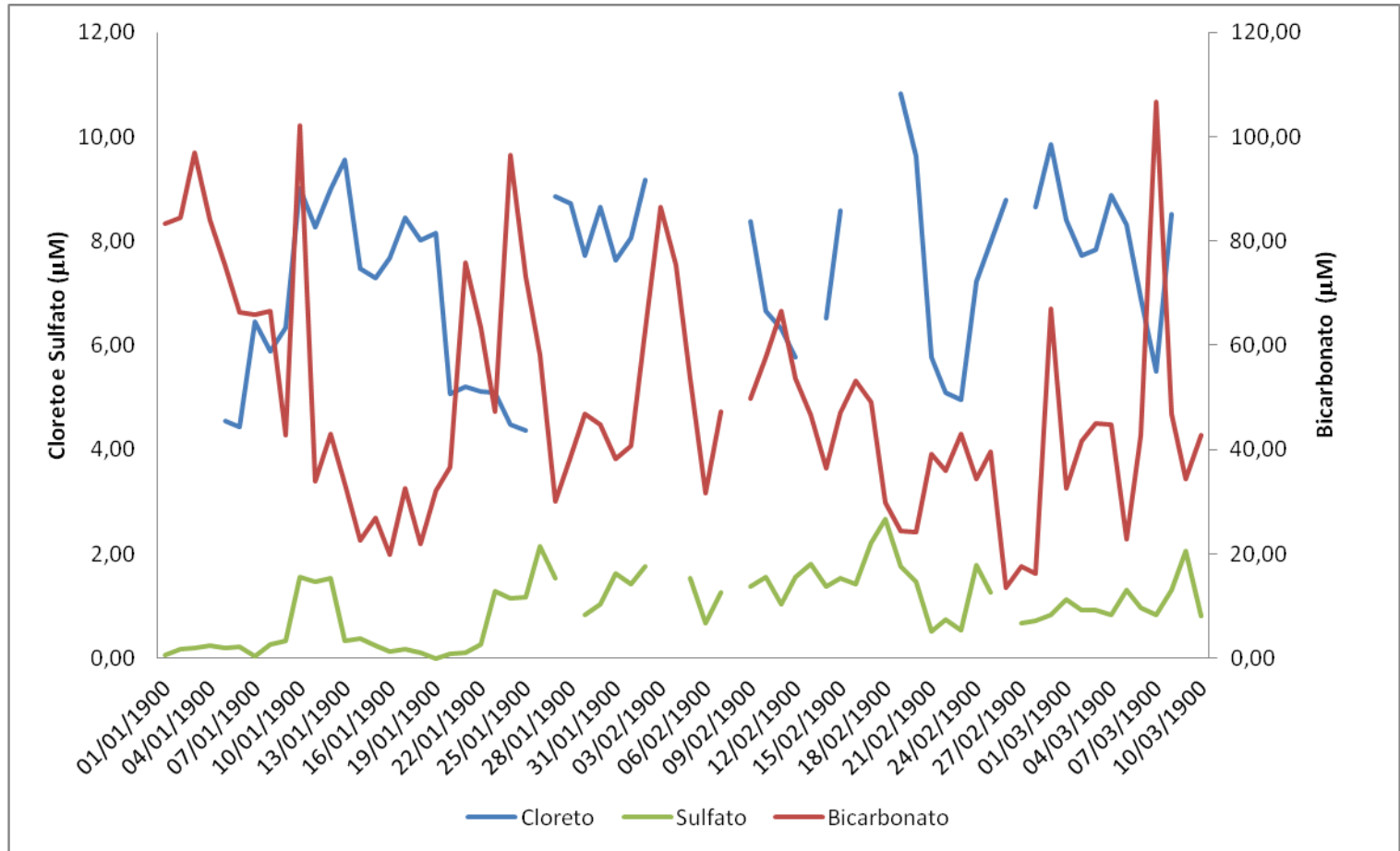


Figura 20 - Concentração de ânions, em μM , no rio Teles Pires. No período de maio de 2004 à janeiro de 2010

3.4 Carbono Orgânico e Inorgânico Dissolvidos

O carbono orgânico dissolvido (Tabela 3) apresenta uma variação grande entre as estações. Em ambos os rios no período chuvoso o valor do COD foi maior do que no período seco; o rio Teles Pires teve um valor 2,3 vezes maior no período chuvoso em relação ao período de seca, enquanto que no rio Cristalino esse valor foi 2,8 vezes maior. O rio Cristalino apresentou valores de COD superiores aos do rio Teles Pires durante todo o período de estudo. Esta diferença pode estar relacionada a maior disponibilidade de nutrientes, que propicia um crescimento mais intenso de algas aderidas às superfícies rochosas ao longo do rio (Figura 20), bem como a uma produtividade maior de liteira nas florestas

O aumento de COD no período chuvoso também pode estar relacionado a um aumento na matéria orgânica proveniente da bacia, que nesse período é carregada da superfície dos solos para a água. Neste período também se observa diferença estatisticamente significativa entre os rios ($p < 0,01$), com valores maiores no rio Cristalino. Como a maior parte desta bacia encontra-se preservada, é possível que a produção de liteira seja mais elevada que na bacia do Teles Pires, resultando em maiores aportes de carbono proveniente da decomposição nos solos.



Figura 21 - Aglomeração de folhas no rio Cristalino, no período seco do ano de 2004

As concentrações de carbono inorgânico dissolvido (Tabela 3) seguem a mesma tendência do COD, sendo as diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$), com valores superiores no rio Cristalino. Porém sazonalmente, ocorre uma inversão, com rio Teles Pires apresentando valores maiores no período de chuva e o Cristalino no período de seca. Isto corrobora a hipótese de uma produção primária aumentada dentro do canal durante o período em que há mais nutrientes e maior penetração de luz (menos sedimentos em suspensão) neste último.

Tabela 3 - Concentração de carbono inorgânico dissolvido e carbono orgânico dissolvido, nos rios Teles Pires e Cristalino, em mg L^{-1}

Rio	CID (Médio)	CID (Seca)	CID (Chuva)	COD (Médio)	COD (Seca)	COD (Chuva)
Teles Pires	5,10	4,36	5,98	2,57	1,66	3,70
Cristalino	10,24	11,57	8,04	4,45	2,45	6,91

3.5 Sedimentos em Suspensão e sua composição elementar (C:N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$)

Praticamente todo o transporte de material particulado em ambos os rios se dá na forma de sedimentos finos, mas em concentrações bastante distintas. O rio Teles Pires apresenta uma média de $9,51 \pm 5,36 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto no rio Cristalino este valor é de $4,23 \pm 1,31 \text{ mg L}^{-1}$, sendo estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,01$). Já em relação aos sedimentos grossos, estes valores são de, respectivamente $0,35 \pm 0,21 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,74 \pm 0,40 \text{ mg L}^{-1}$ (diferença significativa para $p < 0,01$).

Sazonalmente, ambos os rios apresentaram a mesma tendência (Figuras 21 e 22), com aumento da concentração dos sedimentos finos em suspensão durante o período de maiores vazões e padrões não muito claros ao longo do ano nas concentrações de sedimentos grossos em suspensão. O aumento da concentração dos sedimentos com o aumento da vazão, que é uma característica comum a outros rios, pode ser explicado pelo aumento da erosão neste período.

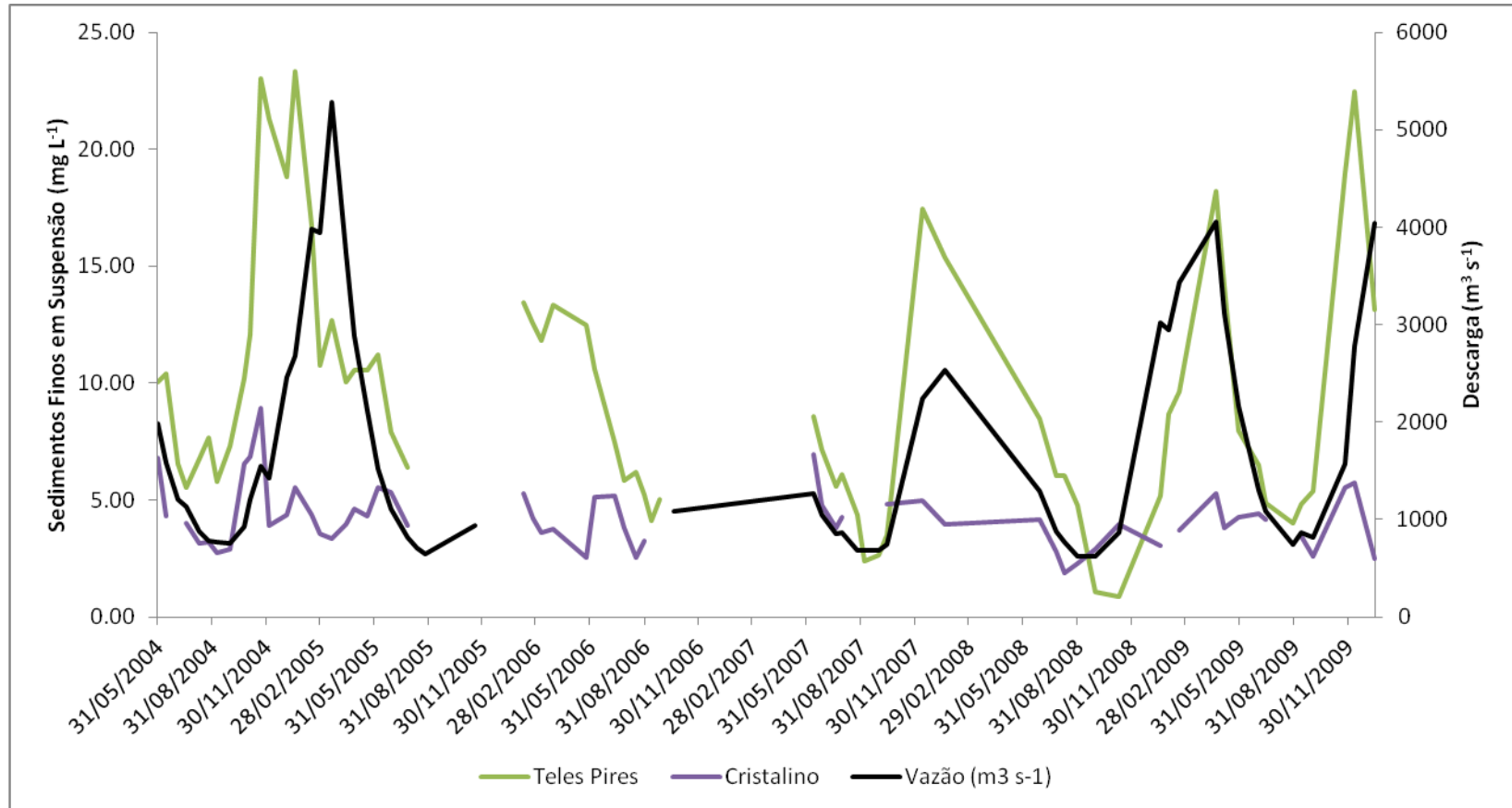


Figura 22 - Concentração dos sedimentos finos em suspensão, em mg L⁻¹, nos rios Teles Pires e Cristalino, no período de Maio de 2004 à Janeiro de 2010

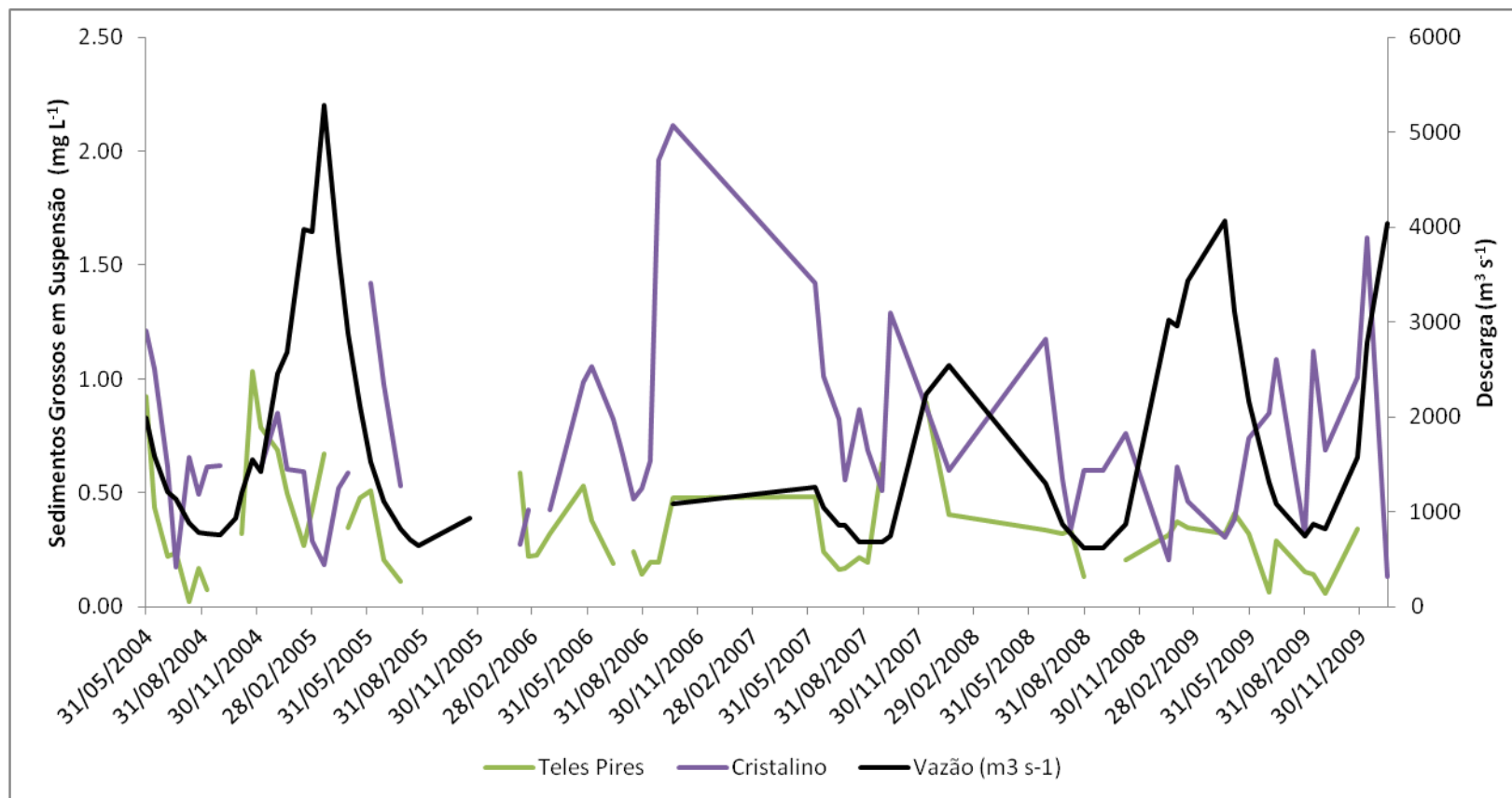


Figura 23 - Concentração dos sedimentos grossos em suspensão, em mg L⁻¹, nos rios Teles Pires e Cristalino, nos período de Maio de 2004 a Janeiro de 2010

Além de um padrão sazonal similar, os sedimentos finos em suspensão também apresentam razões entre as concentrações de carbono e nitrogênio semelhantes, com médias de 8,71 no rio Teles Pires e 10,17 no Cristalino. No caso da fração grossa estes valores foram de 15,61 e 18,17, respectivamente. A composição isotópica da fração grossa variou entre -27,9 e -30,7 no rio Teles Pires e entre -28,4 e -30,2 no Cristalino, enquanto a fração fina apresentou valores, respectivamente, de -24,7 a -31,1 e de -27 a -29,2. Apesar de nos dois últimos anos não ser possível observar padrões sazonais na fração grossa, nos anos de 2004 a 2006 no rio Teles Pires observam-se maiores valores para a razão C:N no período mais chuvoso, mas a composição isotópica do carbono tem padrão bimodal, com valores menos negativos tanto nos extremos dos períodos mais secos quanto nos dos mais chuvosos. Isto indica uma alternância das fontes do carbono particulado em transporte neste rio ao longo do ano e sugere a necessidade de melhores caracterizações do mesmo para a compreensão do ciclo deste elemento no rio Teles Pires.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O rio Cristalino tem como mecanismo regulador das suas águas o intemperismo das rochas, uma vez que tem uma predominância de cálcio e magnésio em suas águas, com padrão da condutividade elétrica inverso à descarga;
- O rio Teles Pires tem como mecanismo regulador das suas águas a entrada da água da chuva e o carreamento de sais pelas águas que percolam os solos, apresentando uma predominância de sódio e potássio, com aumento considerável no período chuvoso desses íons e a condutividade elétrica apresenta o mesmo padrão da descarga;
- Tanto o rio Cristalino quanto o rio Teles Pires apresentaram um predominância de bicarbonato, porém os valores do rio Cristalino foram em média duas vezes maior do que os valores no rio Teles Pires, sendo que o rio Cristalino apresenta variações consideráveis entre o período chuvoso e seco;
- Analisando o pH e o oxigênio dissolvido ambos os rios apresentaram valores menores no período de maior descarga, provavelmente devido a um aumento da matéria orgânica carregada pela água da chuva;
- Para o carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido e sedimentos em suspensão, todos apresentaram o mesmo padrão da descarga, com maiores valores no período chuvoso.

REFERÊNCIAS

BOLIN, B.; COOK, R.B. (Eds.). **The major biogeochemical cycles and their interactions**. Chichester: John Wiley, 1983. p. 223-245.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, 2006. 124 p.

_____. Secretaria de Coordenação da Amazônia. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Cristalino**. Brasília: PROECOTUR, 2002. 130 p.

DOWNING, J.A.; MCCLAIN, M.; TWILLEY, R.; MELACK, J.M.; ELSER, J.; RABALAIS, N.N.; LEWIS, W.M.; TURNER, R.E.; CORREDOR, J.; SOTO, D.; YANEZ-ARANCIBIA, A.; KOPASKA, J.A. HOWARTH, R. W. The impact of accelerating land-use change on the N-cycle of tropical aquatic ecosystems: Current conditions and projected changes. **Biogeochemistry**, Amsterdam, v. 46, n. 1/3, p. 109-148, 1999.

DREVER, J.J. **The geochemistry of natural waters**. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1997. 436 p.

FEARNSIDE, P.M. Global warming and tropical land use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition, and soils in forest conversion, shifting cultivation, and secondary vegetation. **Climatic Change, Amsterdam**, v. 46, p. 115-158, 2000.

FERREIRA, D.A.C.; NOGUERA, S.P.; CARNEIRO FILHO, A.; SOARES-FILHO, B. Mato, grosso até quando? **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 248, p. 26-31, 2008.

FETTER, C.W. **Applied hydrogeology**. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1994. 691p.

GIBBS, R.J. Mechanisms controlling world water chemistry. **Science**, Washington, v. 170, n. 3962, p. 1088-1090, 1970.

HERPIN, U.; CERRI, C.C.; CARVALHO, M. C. S.; MARKERT, B.; ENZWEILER, J.; FRIESE, K.; BREULMANN, G. Biogeochemical dynamics following land use from forest and pasture in a humid tropical area (Rondonia, Brazil): a multi-element approach by means of XRF-spectroscopy. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 286, n. 1/3, p. 97-109, Mar. 2002.

HUNSAKER, C.T.; LEVINE, D.A. Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. **BioScience**, Berkeley, v. 45, p. 193-203, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse preliminar do senso demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2000. 8 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Planilha de dados do PRODES**. 2010. Acesso em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/sisprodes2000_2010.htm>. Acesso em: 24 out. 2011.

LEITE, N.K. **A biogeoquímica do rio Ji-Paraná**. 2004. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; JOHNSON, N.M.; FISHER, D.W.; PIERCE, R.S. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. **Ecological Monographs**, New York, v. 40, p. 23-47, 1970.

MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E.A.; FIGUEIREDO, R.D.O.; VICTORIA, R.L.; KRUSCHE, A.V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature**, London, v. 410, n. 6830, p. 802-805, 2001.

MELACK, J.M. Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems. In: TIESSSEN, H. (Ed.). **Phosphorus in the global environment**. New York: J. Wiley, 1995. p. 245-254.

MEYER, J.L.; MCDOWELL, W.H.; BOTT, T.L.; ELWOOD, J.W.; ISHIZAKE, H.; MELACK, J.M.; PECKARSKY, B.L.; PETERSON, B.J.; RUBLEE, P.A. Elemental dynamics in streams. **Journal of the North American Benthological Society**, Washington, v. 7, p. 410-432, 1988.

NOBRE, C.A.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, Maryland, v. 4, p. 957-988, 1991.

RICHEY, J.E.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H.; QUAY, P.D.; VICTORIA, R.; MARTINELLI, L.; FORSBERG, B.R. Biogeochemistry of carbon in the Amazon river. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990.

SHARPLEY, A.N.; HEDLEY, M.J.; SIBBESEN, E.; HILLBRICHT-ILKOWSKA, A.; HOUSE, W.A.; RYSKOWSKI, L. Phosphorus transfers from terrestrial to aquatic systems. In: TIESSSEN, H. (Ed.). **Phosphorus in the global environment**. New York: John Wiley, 1995. p. 171-200.

SILVA, S.A.A. **Dieta natural de *Brycon* sp. n. "Cristalino" – matrinxã no Parque Estadual Cristalino, região norte de Mato Grosso**. 2007. 75 p. Tese (Doutorado em Aqüicultura) – Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

SILVA, G.H. **Folha SC.21 – Juruena: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1980. 456 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 20).

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. 3. ed. Petrópolis: Ed. Vozes, 1991. 72 p.

STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon: the influence of geology and weathering environment on the dissolved-load. **Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres**, 88(NC14): 9671-9688. 1983.

SWANK, W.T.; GROSSLEY, D.A. **Forest hydrology and ecology at Coweeta**. New York: Springer-Verlag, 1988. 512 p. (Ecological Studies, 66).

TURNER, B.L.; CLARCK, W.C.; KATES, R.W.; RICHARDS, J.S.; MATHEWS, J.T.;MYER, W.B. **The earth as transformed by human action**. New York: Cambridge University Press, 1990. 713 p.

VICTORIA, R.L. **O papel dos sistemas fluviais amazônicos no balanço regional e global de carbono: evasão de CO₂ e interações entre os ambientes terrestres e aquáticos**: relatório parcial submetido à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. São Paulo: FAPESP, 2005. 91 p.

VITOUSEK, P.M.; GOSZ, J.R.; GRIER, C.C.; MELILLO, J.M.; REINERS, W. A.; TODD, R.L. Nitrate losses from disturbed ecosystems. **Science**, Washington, v. 204, p. 469-474, 1979.

WETZEL, R.A. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1981. 677 p