

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS DA  
AMAZÔNIA

NATÁLIA DE QUEIROZ TEIXEIRA

FLUXO DE MATÉRIA IÔNICA DISSOLVIDA NOS RIOS DA AMAZÔNIA  
BRASILEIRA: UMA ANÁLISE A PARTIR DA BASE DE DADOS DO OBSERVATÓRIO  
ORE-HYBAM

MANAUS

2012

NATÁLIA DE QUEIROZ TEIXEIRA

FLUXO DE MATÉRIA IÔNICA DISSOLVIDA NOS RIOS DA AMAZÔNIA  
BRASILEIRA: UMA ANÁLISE A PARTIR DA BASE DE DADOS DO OBSERVATÓRIO  
ORE-HYBAM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia, área de concentração Engenharia de Recursos naturais.

Orientador: Profa. Dra. Tereza Cristina Souza de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Naziano Pantoja Filizola Júnior

MANAUS

2012

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

T266f

Teixeira, Natália de Queiroz

Fluxo de matéria iônica dissolvida nos rios da Amazônia brasileira: uma análise a partir da base de dados do observatório Ore-Hybam / Natália de Queiroz Teixeira. - Manaus: UFAM, 2012.

128 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Tereza Cristina Souza de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Naziano Pantoja Filizola Júnior

1. Geoquímica 2. Matéria iônica – Bacia Amazônica 3. Fluxos hídricos – Variações sazonais I. Oliveira, Tereza Cristina Souza de (Orient.) II. Filizola Júnior, Naziano Pantoja (co-orient.) III. Universidade Federal do Amazonas IV. Título

CDU 556.114(811.3)(043.3)

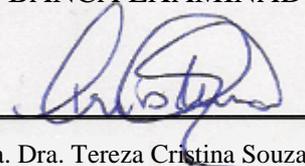
NATÁLIA DE QUEIROZ TEIXEIRA

FLUXO DE MATÉRIA IÔNICA DISSOLVIDA NOS RIOS DA AMAZÔNIA  
BRASILEIRA: UMA ANÁLISE A PARTIR DA BASE DE DADOS DO OBSERVATÓRIO  
ORE-HYBAM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia, área de concentração Engenharia de Recursos naturais.

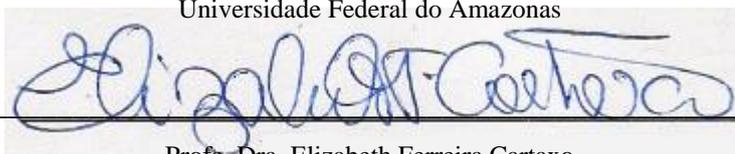
Aprovada em: 26 de outubro de 2012.

BANCA EXAMINADORA



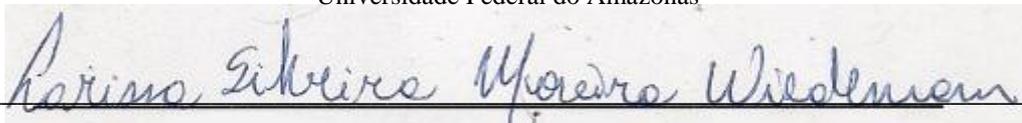
---

Prof. Dra. Tereza Cristina Souza de Oliveira  
Universidade Federal do Amazonas



---

Prof. Dra. Elizabeth Ferreira Cartaxo  
Universidade Federal do Amazonas



---

Prof. Dra. Larissa Silveira Moreira Wiedemann  
Universidade Federal do Amazonas

MANAUS

2012

*Dedico esta dissertação a minha mãe Rai, meu padrasto Júlio e Vinicius Soares que estiveram ao meu lado me encorajando nas horas difíceis, me estimulando a não desistir a dar este grande passo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por dar força e determinação a continuar, além de permitir que tudo isso fosse possível.

Ao Professor Dr. Naziano Filizola pela orientação no início do trabalho e que mesmo após todos os problemas, esteve disposto ajudar a concluir a dissertação. Muito obrigada.

A Professora Dra. Tereza Cristina por aceitar o desafio de dar continuidade na orientação deste trabalho. Muito obrigada pelas ideias, dedicação, correções, revisões e exigência.

A Luana Monteiro por ajudar no manuseio do programa de estatística Action.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia pela oportunidade de aprendizado e crescimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Programa Ore-Hybam por disponibilizar gratuitamente seus dados, sendo assim possível a realização deste trabalho.

As professoras Dra. Elizabeth Cartaxo e Dra. Larissa Wiedemann, pela participação na banca de defesa da dissertação e pelas sugestões construtivas.

A meus familiares, amigos e todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desta dissertação.

## RESUMO

A Bacia Amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo, ocupa uma área total de 6.110.000 km<sup>2</sup>. Seu principal curso de água é o rio Amazonas que apresenta contribuição de sedimentos de origem Andina, grande quantidade de afluentes, canais sob a influência dos regimes hidrológicos de enchente, cheia, vazante e seca. Tais ambientes aquáticos apresentam características diferenciadas quanto à presença de constituintes dissolvidos, sendo estes influenciados pela cota e vazão dos rios. Os constituintes dissolvidos, transportados pelos rios, provem da ação da água da chuva, pelo escoamento superficial e da interação da água subterrânea com os solos e rochas. Sua composição química resulta da dissolução e de reações químicas entre sólidos, líquidos e gases, com os quais a água entra em contato durante o ciclo hidrológico, podendo ser alterada pelo uso da terra. Com o objetivo de estudar o balanço do fluxo da matéria iônica dissolvida, especificamente os íons: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> e Si transportados pela Bacia Amazônica, o presente estudo utilizou o banco de dados da base do Programa Ore-Hybam (Controles geodinâmico, hidrológico e biogeoquímico da erosão/alteração e da transferência de matérias na Bacia Amazônica). Este programa tem a finalidade de disponibilizar a comunidade científica, dados confiáveis das variações sazonais dos fluxos hídricos, sedimentares e geoquímicos da Bacia Amazônica. Os dados utilizados para esse trabalho foram da série histórica de 1995 a 2010 em nove estações de coleta distribuídas pela Bacia Amazônica, nos rios Negro, Branco, Solimões/Amazonas, Purus, Madeira e Tapajós. A reunião desses dados originou uma nova base denominada base definitiva. Da base definitiva se calculou a quantidade de dados, concentração média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação interanuais e mensais das cotas, vazões e íons, com auxílio do Programa Excel. Trataram-se também esses dados por análises estatísticas com auxílio do Software Action 2.3, sendo estas, Cluster para observar o comportamento semelhante por agrupamento de dados e Pearson para mostrar as correlações entre a composição iônica. Calculou-se o fluxo dos íons nas estações, onde foram obtidas as médias interanuais e médias mensais, observando as fases do ciclo hidrológico, obtendo-se a ordem decrescente de fluxo (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Si > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Na<sup>+</sup> > Cl<sup>-</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup>). A partir do cálculo do fluxo, calculou-se o balanço do fluxo, através da equação do balanço de massa (QSa+QSb+...+QSn+Σ=QSx), interanual e mensal em MN + FVA+ M (SR+CC) = OB, observando-se que o rio Solimões é o maior contribuinte de fluxo de matéria iônica dissolvida para a estação de Óbidos e de seus tributários, o rio Madeira é o maior contribuinte.

Palavras-chave: Bacia Amazônica. Matéria iônica dissolvida. Ore-Hybam.

## ABSTRACT

The Amazon Basin is the largest drainage basin in the world, occupying a total area of 6.110.000 km<sup>2</sup>. Its main watercourse is the River Amazon featuring sediment contribution of Andean origin, lot of tributaries, channels under the influence of the hydrologic regimes of flood, full, ebb and dry. Such aquatic environments present unique characteristics regarding the presence of dissolved constituents, these being influenced by dimension and flow of rivers. The dissolved constituents, transported by rivers, stems from the action of rainwater by runoff, and groundwater interaction with soils and rocks. Its chemical composition is the result of dissolution and chemical reactions between solids, liquids and gases, with which the water comes into contact during the hydrological cycle, and may be altered by land use. With the goal of studying the flow balance of matter dissolved ion, specifically ions: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> and Si carried by the Amazon basin, this study used the base database of the Ore-Hybam Program (geodynamic controls, hydrological and biogeochemical of erosion/alteration and transfer of materials in the Amazon basin). This program is designed to provide the scientific community trusted data of seasonal variations of water flows and sedimentary geochemistry of the Amazon Basin. The data used for this study were of historical series from 1995 to 2010 in nine collection stations distributed by the Amazon basin, in the rivers Negro, Branco, Solimões/Amazonas, Purus, Madeira and Tapajos. The gathering of this data has given rise to a new basis called definitive basis. Definitive base if calculated the amount of data, average, peak, and minimum concentration, standard deviation and coefficient of inter-annual variation quotas, and monthly flows and ions, with the aid of the Excel Program. Also tried these data for statistical analysis with the aid of the Software Action 2.3, these being, Cluster to observe similar behavior for data collation and Pearson to show correlations between the Ionic composition. It has been estimated the flow of ions in the stations where the interannual and monthly averages, observing the phases of the hydrological cycle, with the descending stream (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Si > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Na<sup>+</sup> > Cl<sup>-</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup>). From the calculation of the stream, it has been estimated the flow balance, using equation of mass balance (+ QSa Qsb + ... + QSn + Σ = Qsx series), monthly and year-to-year in MN + FVA + M (SR + CC) = OB, observing that the Solimões River is the main contributor of ion dissolved matter stream to Óbidos and of its tributaries, the river Madeira is the main contributor.

Keywords: Amazon basin. Ion dissolved matter. Ore-Hybam.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura geral da Bacia Amazônica.....	21
Figura 2: Geomorfologia da Bacia Amazônica.....	22
Figura 3: Vegetação da Bacia Amazônica.....	25
Figura 4: Solo da Bacia Amazônica.....	26
Figura 5: Parâmetros Ore-Hybam.....	39
Figura 6: Instrumento utilizado para medir Cota (H).....	39
Figura 7: Perfilador Acústico Doppler de Corrente (ADCP).....	40
Figura 8: Análise de matéria iônica dissolvida.....	41
Figura 9: Localização das estações da área de estudo.....	42
Figura 10: Metodologia geral dos processo e análise dos dados da base de dados mista (base definitiva).....	45
Figura 11: (A) - Quantidades totais de todos os elementos estudados (cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, sulfato e silício) existentes em cada estação citada. (B) - Quantidades totais de cada elemento estudado em cada estação.....	47
Figura 12: Concentração máxima e mínima mensais das cotas e vazões calculadas a partir da base de dados no período de 1995 a 2010.....	50
Figura 13: Média interanual mensal dos elementos cálcio, magnésio sódio e potássio calculado a partir da base definitiva.....	55
Figura 14: Média interanual mensal dos elementos bicarbonato, cloreto, sulfato e silício calculado a partir da base definitiva.....	56
Figura 15: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – Ca <sup>2+</sup> .....	58
Figura 16: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – Mg <sup>2+</sup> .....	60
Figura 17: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 - Na <sup>+</sup> .....	62
Figura 18: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 - K <sup>+</sup> .....	64
Figura 19: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	66

Figura 20: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – Cl <sup>-</sup> .....	68
Figura 21: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> .....	70
Figura 22: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – Si.....	72
Figura 23: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 - Ca <sup>2+</sup> .....	74
Figura 24: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – Mg <sup>2+</sup> .....	75
Figura 25: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – Na <sup>+</sup> .....	76
Figura 26: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 –K <sup>+</sup> .....	77
Figura 27: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	79
Figura 28: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – Cl <sup>-</sup> .....	80
Figura 29: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> .....	81
Figura 30: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – Si.....	82
Figura 31: Análise estatística calculada a partir das médias das concentrações da cota no período de 1995 a 2010 - (Cluster – cota e vazão).....	84
Figura 32: Análise estatística calculada a partir das médias das concentrações dos íons	

no período de 1995 a 2010 – (Cluster – Ca, Mg, Na).....	86
Figura 33: Análise estatística - Cluster calculado a partir das médias das concentrações dos íons no período de 1995 a 2010 – Clusters (HCO, Cl, SO <sub>4</sub> , Si).....	87
Figura 34: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (bicarbonato e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.....	89
Figura 35: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (cloreto e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.....	91
Figura 36: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (sulfato e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.....	92
Figura 37: média do balanço do fluxo de massa nos rios em ton.dia <sup>-1</sup> .....	94
Figura 38: média do balanço do fluxo de massa por elemento em ton.dia <sup>-1</sup> .....	95
Figura 39: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios calculados a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010 - cálcio e magnésio.....	97
Figura 40: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010 - sódio e potássio.....	98
Figura 41: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010– bicarbonato e cloreto.....	99
Figura 42 Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010:– sulfato e silício.....	100
Figura 43: Esquema para escolha das estações no cálculo do balanço de massa.....	101
Figura 44: Porcentagem da estimativa de fluxo de matéria dissolvida e vazão calculada a partir da a média global interanual (ton.dia-1 e (ton.ano1) no período de 1995 a 2010 e das estações de MN (rio Solimões) M (Negro) e FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas).....	103
Figura 45: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).....	105
Figura 46: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).....	106

Figura 47: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).....	107
Figura 48: Balanço de massa mensal de matéria iônica dissolvida no período de 1995 a 2010.....	109
Figura 49: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia <sup>-1</sup> ) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro) ,FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Cálcio e Magnésio.....	125
Figura 50: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia <sup>-1</sup> ) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro) ,FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Sódio e Potássio.....	126
Figura 51: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia <sup>-1</sup> ) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro) ,FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Bicarbonato e Cloreto.....	127
Figura 52: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia <sup>-1</sup> ) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> ) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro), FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Sulfato e Silício.....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fonte de dados e georreferenciamento das estações em estudo.....	43
Tabela 2: Valores interanuais calculados de cota em metros (m) a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010.....	48
Tabela 3: Valores interanuais calculados de vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010.....	49
Tabela 4: Valores interanuais de cálcio, magnésio, sódio e potássio calculados a partir da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	52
Tabela 5: Valores interanuais de bicarbonato, cloreto, sulfato e silício calculados a partir da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	53
Tabela 6: Coeficiente de variação para o elemento cálcio, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	57
Tabela 7: Coeficiente de variação para o elemento magnésio, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	59
Tabela 8: Coeficiente de variação para o elemento sódio, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	61
Tabela 9: Coeficiente de variação para o elemento potássio, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	63
Tabela 10: Coeficiente de variação para o elemento bicarbonato, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	65
Tabela 11: Coeficiente de variação para o elemento cloreto, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	67
Tabela 12: Coeficiente de variação para o elemento sulfato, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	69
Tabela 13 Coeficiente de variação para o elemento silício, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.....	71
Tabela 14: Média interanual $\text{ton} \cdot \text{dia}^{-1}$ do fluxo de matéria dissolvida em suas respectivas estações, calculadas a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010...	93
Tabela 15: Ordem decrescente de fluxo de matéria dissolvida nas estações.....	94
Tabela 16: Porcentagem mensal de íons ( $\text{MN} + \text{FVA} + \text{M} = \text{OB}$ ) no período de 1995 a 2010.....	104
Tabela 17: Porcentagem mensal de carga líquida ( $\text{MN} + \text{FVA} + \text{M} = \text{OB}$ ) no período de	

1995 a 2010.....	104
Tabela 18: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - cálcio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L <sup>-1</sup> . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q*concentração do elemento*0,0864) em ton.dia <sup>-1</sup> . QS2 = fluxo do elemento em ton.ano <sup>-1</sup> (Q*concentração do elemento*0,0864) *365.....	117
Tabela 19: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - magnésio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L <sup>-1</sup> . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q*concentração do elemento*0,0864) em ton.dia <sup>-1</sup> . QS2 = fluxo do elemento em ton.ano <sup>-1</sup> (Q*concentração do elemento*0,0864) *365.....	118
Tabela 20: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - sódio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L <sup>-1</sup> . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q*concentração do elemento*0,0864) em ton.dia <sup>-1</sup> . QS2 = fluxo do elemento em ton.ano <sup>-1</sup> (Q*concentração do elemento*0,0864) *365.....	119
Tabela 21: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - potássio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L <sup>-1</sup> . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q*concentração do elemento*0,0864) em ton.dia <sup>-1</sup> . QS2 = fluxo do elemento em ton.ano <sup>-1</sup> (Q*concentração do elemento*0,0864) *365.....	120
Tabela 22: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - bicarbonato. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L <sup>-1</sup> . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q*concentração do elemento*0,0864) em ton.dia <sup>-1</sup> . QS2 = fluxo do elemento em ton.ano <sup>-1</sup> (Q*concentração do elemento*0,0864) *365.....	121
Tabela 23: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - cloreto. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do	

elemento em  $\text{mg.L}^{-1}$ . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . QS1 = Fluxo do elemento ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) em  $\text{ton.dia}^{-1}$ . QS2 = fluxo do elemento em  $\text{ton.ano}^{-1}$  ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) \*365..... 122

Tabela 24: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - sulfato. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em  $\text{mg.L}^{-1}$ . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . QS1 = Fluxo do elemento ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) em  $\text{ton.dia}^{-1}$ . QS2 = fluxo do elemento em  $\text{ton.ano}^{-1}$  ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) \*365..... 123

Tabela 25: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - silício. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em  $\text{mg.L}^{-1}$ . DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . QS1 = Fluxo do elemento ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) em  $\text{ton.dia}^{-1}$ . QS2 = fluxo do elemento em  $\text{ton.ano}^{-1}$  ( $Q \cdot \text{concentração do elemento} \cdot 0,0864$ ) \*365..... 124

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ANA	Agencia Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
CC	Caracará
Cl <sup>-</sup>	Cloreto
FVA	Fazenda Vista Alegre
H	Cota
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonato
HDPE	High-density polyethylene
HYBAM	Programa de Pesquisa Hidrológica e Geodinâmica da Bacia Amazônica
ICP - OES	inductively coupled plasma optical emission spectrometry
IT	Itaituba
K <sup>+</sup>	Potássio
LAGEQ-UnB	Laboratório de Geoquímica – Universidade de Brasília
LB	Lábrea
LMTG	Laboratório dos Mecanismos de Transferência em Geologia
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
MN	Manacapuru
Na <sup>+</sup>	Sódio
OB	Óbidos
ORE-HYBAM	Controle geodinâmico, hidrológico e bio-geoquímico da erosão/alteração e da transferência de matérias na bacia amazônica
PV	Porto Velho
Q	Vazão
Si	Silício
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfato
SR	Serrinha
TN	Tabatinga+Nazareth

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Geral.....	20
2.2 Específicos.....	20
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	21
3.1 Características gerais da Bacia Amazônicas (Fisiografia, Geomorfologia, Clima, Vegetação, Solo e Hidrografia).....	21
3.1.1 Rio Branco.....	28
3.1.2 Rio Negro.....	28
3.1.3 Rio Solimões/Amazonas.....	29
3.1.4 Rio Purus.....	30
3.1.5 Rio Madeira.....	30
3.1.6 Rio Tapajós.....	31
3.2 Matéria iônica dissolvida – os íons maiores.....	31
3.2.1 Cálcio.....	32
3.2.2 Magnésio.....	32
3.2.3 Sódio.....	32
3.2.4 Potássio.....	33
3.2.5 Bicarbonato.....	33
3.2.6 Cloreto.....	33
3.2.7 Sulfato.....	33
3.2.8 Silício.....	33
3.3 Estudos sobre a composição iônica em ambientes aquáticos Amazônicos.....	34
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 Métodos de amostragem e de determinação de parâmetros para a composição da base de dados Ore-Hybam.....	38
4.1.1 Metodologia de coletas.....	38
4.1.2 Parâmetros determinados.....	39
4.1.2.1 Medição de Cota.....	39
4.1.2.2 Medição de vazão.....	40
4.1.2.3 Matéria iônica dissolvida.....	41

4.2 Área de estudo.....	42
4.3 Levantamento e análise da base de dados.....	43
5 RESULTADOS.....	46
5.1 Quantidades totais de dados.....	47
5.2 Variabilidade da altura das águas (cota) e descarga líquida (vazão).....	48
5.3 Comportamento da matéria iônica dissolvida nas estações e comportamento da matéria iônica em relação as cotas e vazões.....	51
5.4 Análises Estatística.....	83
5.4.1 – Análise de Cluster.....	83
5.4.2 – Correlação linear de Pearson.....	88
5.5 Cálculo do fluxo de matéria iônica dissolvida.....	93
5.6 Cálculo do Balanço de massa.....	101
6 CONCLUSÃO.....	110
7 REFERENCIAS.....	112
ANEXO I.....	117
ANEXO II.....	125

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é conhecida mundialmente por sua disponibilidade hídrica e pela quantidade de ecossistemas, com matas de terra firme, florestas inundadas, várzeas, igapós, campos abertos e cerrados. A Bacia hidrográfica do rio Amazonas situada no território brasileiro perfaz um total de 3.870.000 km<sup>2</sup> (ANA a, 2009), portanto, mais da metade dos cerca de 6.100.000 km<sup>2</sup> de sua superfície total. Constitui-se deste modo na maior bacia hidrográfica do planeta. Segundo (GUYOT, 1993), a Bacia Amazônica está classicamente dividida em seis sub-bacias que são: 1) O rio Amazonas no trecho chamado de rio Solimões até a confluência com o rio Negro (2.24x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>); 2) rio Negro até a confluência com o rio Solimões (0.68x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>); 3) rio Madeira até a confluência com o rio Amazonas (1.37x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>); 4) rio Tapajós até a confluência com o rio Amazonas (0.48x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>); 5) rio Xingú até a confluência com o rio Amazonas (0.51x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>). As Bacias do rio Tocantins (0.8x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>) e rio Pará (0.2x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>) não são sempre consideradas como uma parte integrante da Bacia Amazônica, que neste caso a sua área é reduzida para 6.0x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>.

O corpo principal do rio Amazonas é formado pelos rios Ucayali, Marañon e outros vindos dos Andes, chamados Solimões a jusante da fronteira brasileira, mudando para Amazonas a jusante da confluência como rio Negro. O rio Negro, volumetricamente o maior afluente, drena a floresta inundada da proteção da Guyana e Amazônia Central. A 200 km para jusante da confluência Solimões-Negro, o rio Amazonas recebe o rio Madeira, que vem dos Andes Boliviano e atravessa a Planície da Amazônia Central. Os principais afluentes de baixo curso do rio Amazonas como os rios Trombetas, Tapajós e Xingu drenam o escudo brasileiro (GERARD et al, 2003). Em termos de descarga líquida o Amazonas é o maior rio no mundo, sendo o 3º do mundo no quesito descarga sólida. A descarga líquida média é estimada em 209.000 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup> (ANA b, 2009). O aporte médio de sólidos em suspensão do rio Amazonas ao Oceano é estimado em cerca de 800 milhões de toneladas por ano (FILIZOLA & GUYOT, 2007 e 2009).

A maioria dos aportes de sedimentos dos rios amazônicos tem origem Andina. Os rios amazônicos que transportam esses sedimentos, após deixarem a cadeia andina, e ou os escudos (Guianense e do Brasil central), cruzam a planície amazônica antes de alcançar o Oceano (GUYOT, et al., 2007). Esses rios transportam material fruto dos processos de intemperismo, sobretudo químico e físico. Os constituintes dissolvidos, transportados pelos rios, tema da presente proposta de trabalho, são originados da ação da água da chuva, do escoamento superficial e da interação da água subterrânea com os solos/rochas. A composição

química das águas naturais resulta da dissolução e de reações químicas entre sólidos, líquidos e gases com os quais a água entra em contato durante o ciclo hidrológico, podendo ser alterada pelo uso da terra. Assim, os constituintes inorgânicos dissolvidos dos rios são denominados como íons maiores, dentre os quais se destacam:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_4^{2-}$  (sob a forma de cátions e ânions), pois aparecem em concentrações maiores nas soluções do meio natural e, usualmente, não são limitantes para a biota (FIGUEIREDO, 2005).

Durante os anos 1990 até a primeira metade do ano 2000, o programa internacional Hybam (Programa de Pesquisa Hidrológica e Geodinâmica da Bacia Amazônica), produziu uma vasta base de dados sobre os rios Amazônicos, em que se incluem a matéria iônica dissolvida. Esses dados são coletados e transferidos para uma base de dados pública denominada Whybam ([www.mpl.ird.fr/hybam](http://www.mpl.ird.fr/hybam)). HyBam é um projeto científico que envolve Brasil, Equador, Bolívia e França. Realiza estudos globais sobre clima, hidrologia, sedimentologia, geoquímica e aspectos geodinâmicos da Bacia Amazônica. Tem como objetivo entender o funcionamento da Bacia Amazônica, estudar o vínculo entre este funcionamento e sua geodinâmica. Os estudos visam identificar a distribuição espacial das zonas erodidas e da transferência de depósito de sedimentos. Para seus estudos, esse programa utiliza redes hidrométricas para coleta de seus dados.

A rede hidrométrica utilizada pelo projeto Hybam, se compõe de um sub conjunto de redes de observação hidrométrica a nível nacional, cuja coordenação de atividades no Brasil foi confiada a ANA (Agencia Nacional de Águas), segundo a lei que dirige a política nacional de recursos hídricos, Lei 9.433/97. A seguinte lei compreende a responsabilidade de organização, implantação e gestão do Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos (HIBAM, 2009).

Atualmente, 254 estações hidrométricas da ANA estão em funcionamento na parte brasileira da Região Amazônica, 206 delas obtém medidas de fluxo do nível do rio. Em geral, as leituras de escalas limnimétricas se realizam duas vezes ao dia e 47 estações estão equipadas com um sistema de registro. Algumas estações possuem transmissão via satélite que permite obter dados observados que demoram cerca de algumas horas (HIBAM, 2009).

Os dados hidrométricos (Cota, vazão) são reunidos e administrados pela ANA mediante a um programa desenvolvido pela mesma instituição. Os dados hidrométricos da Amazônia brasileira utilizados pelo projeto Hybam provém basicamente do banco de dados da ANA, estes são processados pelo software Hydraces (HIBAM, 2009).

No escopo desse programa, desde 2003, o observatório de pesquisa em meio ambiente ORE/HYBAM (Controle geodinâmico, hidrológico e bio-geoquímico da erosão/alteração e da transferência de matérias na bacia amazônica), tem permitido a coleta de dados confiáveis, em intervalos de tempo compatíveis com as variações sazonais dos fluxos hídricos, de sedimentos e geoquímicos, em cerca de 15 estações distribuídas desde o piemonte andino até próximo ao Oceano Atlântico (ORE-HYBAM, 2009). Desse modo ORE/HYBAM vem dando continuidade na coleta de dados da matéria iônica que constituem parte da Base de dados daquele programa supracitado, onde atualmente todos os dados da antiga base Whybam e da atual Ore-Hybam encontram-se no website ([www.ore-hybam.org](http://www.ore-hybam.org)).

O ORE-HYBAM é liderado por pesquisadores do LMTG (Laboratório dos Mecanismos de Transferência em Geologia-UMR 5563 CNRS-UPS-IRD) que desenvolve desde 1995 projetos de pesquisas na Bacia Amazônica, além de pesquisadores locais (agências nacionais e universidades) para manter a perenidade das observações (ORE-HYBAM, 2009).

O funcionamento do observatório baseia-se em: medições e amostragens em passos de tempo variados (a cada dia para as cotas do rio, a cada dez dias para o material em suspensão, mensal para a geoquímica ou os isótopos); visitas de controles; análises em laboratório das amostras coletadas e enviadas e validação das informações obtidas e sua estruturação em base de dados (ORE-HYBAM, 2009).

Diante do acima colocado, a presente proposta de trabalho tem por objetivo tratar dados obtidos da base Hybam, tanto da atual base do observatório como da base anterior do programa, ambas ainda pouco explorados quanto aos fluxos de matéria iônica dissolvida. Tais dados, gerados a mais de quinze anos de coletas contínuas na Bacia Amazônica (neste estudo em particular as estações da planície central), possibilitam determinar as características principais de cada rio, através dos dados das diferentes estações de amostragem. Permite também, realizar o balanço desses elementos e analisar a contribuição de cada grande tributário na quantidade total de matéria dissolvida transportada pelo rio Amazonas. A área de estudo da presente proposta, vista no contexto das estações de amostragem na bacia compreende as localidades de: Serrinha no rio Negro, Caracaraí no rio Branco, Tabatinga, Nazareth, Manacapuru, no rio Solimões, Óbidos no rio Amazonas, Lábrea no rio Purus, Porto Velho, Fazenda Vista Alegre, no rio Madeira e, finalmente, Itaituba no rio Tapajós.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral:

Calcular o balanço dos fluxos de matéria iônica dissolvida transportada pela Bacia Amazônica, tendo como base os dados da rede Ore-Hybam.

### 2.2 Específicos:

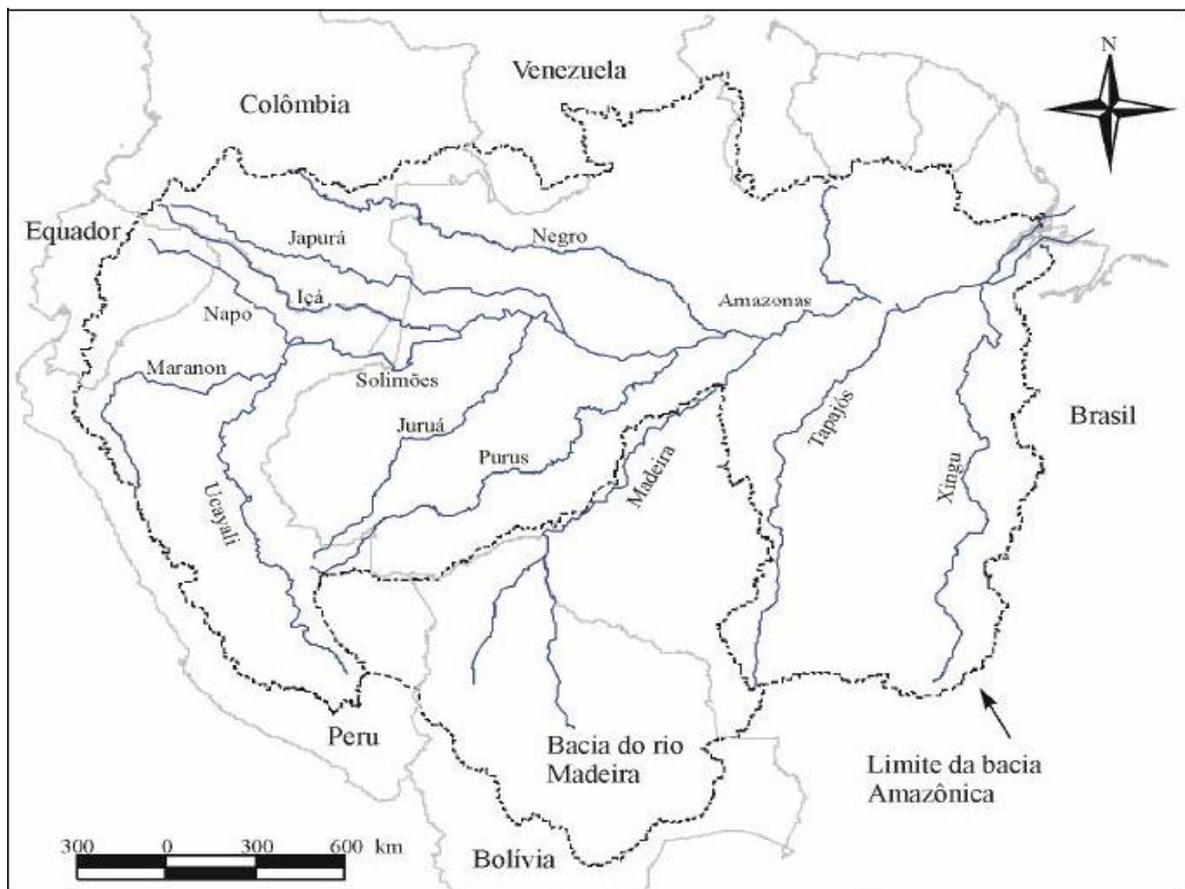
- Analisar as variabilidades sazonais interanual e mensal de cota, vazão e matéria iônica dissolvida (íons maiores:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) na Bacia Amazônica nas estações monitoradas pelo Programa Ore-Hybam desde a década de 1990;
- Avaliar o comportamento das matérias iônicas dissolvidas sob a influência da cota e da vazão nas estações de monitoramento;
- Avaliar a influencia do fluxo dos rios quanto à quantidade de matérias iônicas dissolvidas e indicar a variação de comportamento nos diferentes rios da Bacia Amazônica;
- Calcular o balanço do fluxo das matérias iônicas dissolvidas dos rios e os aportes dos tributários ao rio principal (utilizando a equação do balanço de massa) na Bacia Amazônica.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Características gerais da Bacia Amazônica (Fisiografia, Geomorfologia, Clima, Vegetação, Solo e Hidrografia)

A Bacia hidrográfica do Amazonas (Figura 1) está situada na zona intertropical, recebendo precipitações médias anuais de 2460 mm. Estende-se de 79° de longitude Oeste (rio Chamaya, Peru) até 48° de longitude Oeste (rio Pará, Brasil), e 50° de latitude Norte (rio Contigo, Brasil) a 20° de latitude Sul (rio Parapeti, Bolívia).

Figura 1: Estrutura geral da Bacia Amazônica



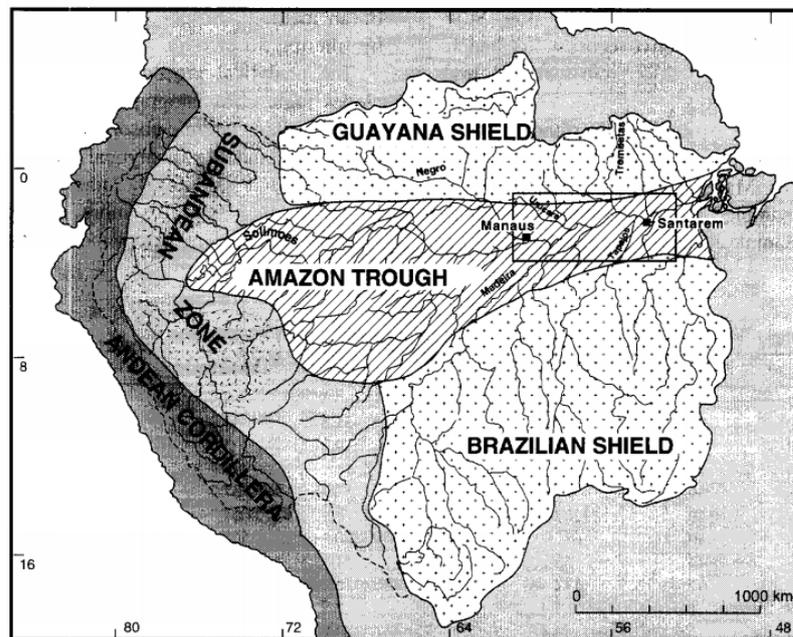
Fonte: NETO, 2006

Esta bacia continental compreende áreas de vários países: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guayana (0,2%) (FILIZOLA, et al, 2002). Apresenta uma área da ordem de 3.843.402 km<sup>2</sup> compartilhada por

sete estados, incluindo 100% dos territórios do Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima e Amapá, 76,2% do Pará e 67,8% do Mato Grosso (PNRH, 2009). A Bacia Amazônica é ainda bordejada a oeste pela Cordilheira dos Andes a qual representa somente 12% da superfície total da Bacia Amazônica (FILIZOLA, et al, 2002). Ela fornece cerca de 17% da água, 12% de carga dissolvida e 7% de material em suspensão ao oceano do mundo (RODDAZ et al, 2006).

Segundo (SEYLER & BOAVENTURA, 2003), a Bacia Amazônica é caracterizada por uma grande diversidade de formações geológicas. Está dividida em quatro grandes unidades morfoestruturais (Figura 2), herdadas da história geológica: Escudo da Guiana ao norte e Escudo Brasileiro ao sul (44% da área da bacia), constituídos de rochas metamórficas e cristalinas; Planície Amazônica (45% da área da bacia) com uma camada de sedimentos na faixa etária do Paleozóico ao Pleistoceno; Cordilheira dos Andes (11% da área da bacia), que consiste do embasamento pré-cambriano, formado por sedimentos, rochas ígneas e metamórficas, cobertas por argilas vermelhas do Paleozóico e Mesozóico.

**Figura 2: Geomorfologia da Bacia Amazônica**



Fonte: GALLIARDET, et al, 1997

Os escudos das Guianas e Brasileiro são formados por rochas cristalinas e, por serem bastante erodidos, possuem altitude média de aproximadamente 150 m apenas e suportam sedimentos do Pré-Cambriano ao Mesozóico. O escudo das Guianas possui relevos de até

8.000 km de extensão como as serras de Pacaraima, Roraima e Paraima. Nessas serras é que se encontra o Pico da Neblina com 3.014 m. O escudo Brasileiro, que marca o limite com a bacia do rio Paraná, apresenta altitudes inferiores. Nesse escudo, o ponto mais alto fica na serra do Aguapei e possui 1.150 m (GUYOT, 1993).

A planície Amazônica é caracterizada pela presença de baixas declividades, que varia de 1 a 2 cm.km<sup>-1</sup>. A cordilheira dos Andes possui mais de 10.000 km de comprimento, dos quais, 4.000 km estão inseridos na Bacia Amazônica. A altitude pode ser superior a 6.000 m e a sua largura varia de 200 km no Equador a 600 km na Bolívia. Os Andes são responsáveis por 95% do sedimento transportado pelos rios da Bacia (FILIZOLA, 1999).

Segundo (SIOLI, 1991), o clima na bacia Amazônica é permanentemente quente e úmido, apresentando uma temperatura média de aproximadamente 30° C durante a estação seca e 26° C durante a estação chuvosa.

As mudanças nas características naturais dos ambientes aquáticos acontecem principalmente devido a alterações de causas naturais ou ações antrópicas. Entre as ações antrópicas destacam-se em escala local e regional o desmatamento, a mudança do uso do solo, os projetos de irrigação e a construção de barragens (REBOUÇAS; BRAGA, 2002). Com a remoção da floresta, ocorre a diminuição da água disponível para a evapotranspiração, aumentando o estresse das plantas cultivadas e reduzindo a produtividade e perda de precipitação. A chuva ao cair sobre a floresta é interceptada pelas folhas, galhos e troncos, e grande parte dessa água evapora e retorna a atmosfera sem atingir o solo. Sem a proteção das florestas haverá um aumento do escoamento superficial, implicando em um aumento significativo da erosão, levando ao assoreamento dos canais e rios e mudando a qualidade da água e da vida aquática (AMARAL; VALE, 2010). As causas naturais das mudanças dos ambientes aquáticos, se devem a alteração do clima, muitas vezes causado por essas atividades humanas que geram modificações na cobertura vegetal e nos solos que, a seu tempo, induzem modificações no regime climático (SHUKLA et al., 1990).

A Bacia Amazônica é afetada por variações climáticas globais. As relações da precipitação e das vazões nos rios da Amazônia se dão através dos fenômenos popularmente conhecido por “El Niño” e “La Niña”: O “El Niño” produz seca ou vazante acentuada e “La Niña” ocasiona cheia intensa, (WELCOMME, 1985; RICHEY et al., 1989; NUNES DE MELLO; BARROS, 2001). Esses fenômenos também contribuem com o comportamento de distribuição não uniforme das chuvas na Amazônia. A subida e a descida anual das águas é uma resposta à distribuição das chuvas, que são bastante heterogêneas na região Amazônica

(FILIZOLA, 2002). A Bacia Amazônica apresenta duas estações bem definidas: uma estação seca e uma estação chuvosa.

A precipitação total da Bacia, aproximadamente metade dela provém do oceano Atlântico, trazida pelos ventos e a outra metade deriva da evapotranspiração da vegetação existente na própria Bacia. As chuvas na Amazônia não estão distribuídas uniformemente, variando entre 2.000 e 3.600 mm. As áreas com menores taxas de precipitação encontram-se no sul e leste da Amazônia, com uma área que se estende do norte até além do médio e baixo rio Amazonas, onde as precipitações podem ficar abaixo de 2.000 mm. As áreas no noroeste da Amazônia podem atingir precipitações anuais que alcançam 3.600 mm (MENIN, 2010).

As chuvas locais aumentam consideravelmente as descargas dos sistemas fluviais de menor porte. Em rios maiores, essas chuvas exercem pequena influência imediata sobre o nível de água que pode variar de 10 a 20 metros anualmente, de acordo com a área de captação. A subida e a descida anual das águas é uma resposta à distribuição heterogênea das chuvas, fazendo que a região Amazônica apresente duas estações bem definidas: uma estação seca e uma chuvosa. A estação chuvosa inicia-se na parte oeste da Bacia Amazônica e se dirige progressivamente para leste, na maior parte, entre os meses de novembro e maio. A região apresenta ainda uma defasagem de precipitação entre as partes sul e norte. Esta variação faz com que os afluentes vindos do sul atinjam os picos de inundação alguns meses antes dos afluentes vindos do norte (MENIN, 2010).

A Bacia possui a maior extensão de floresta tropical do planeta, correspondendo a 5 milhões de km<sup>2</sup>. A floresta pode se apresentar de forma densa ou aberta. A floresta densa apresenta uma vegetação arbórea heterogênea e caracteriza-se por grandes árvores que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura, podendo chegar a 50 m. A floresta aberta apresenta grandes árvores muito dispersas, com frequentes grupamentos de palmeiras. No extremo norte e no sul e leste da bacia, a floresta torna-se menos densa devido à ocorrência de uma estação seca mais acentuada (NETO, 2006)

A vegetação Amazônica apresenta variações locais de acordo com o clima, o solo e o relevo. Podemos encontrar matas de igapó, mata de várzea, mata de terra firme e floresta semi-úmida (Figura 3).

**Figura 3: Vegetação da Bacia Amazônica**



Fonte: VOLOCHEN, 2010

\* Mata de igapó: ocupa partes mais baixas do relevo, próxima aos grandes rios, em áreas quase que constantemente alagadas. Em geral formada por árvores com menos de 20 metros de altura, que possuem muitas ramificações. Essa vegetação apresenta também cipós e plantas aquáticas (VOLOCHEN, 2010).

\*Mata de várzea: Encontrada em áreas mais elevadas que as da mata de igapó, é inundada somente durante as maiores cheias. Possui em geral árvores com cerca de 20 metros de altura, além de muitas plantas com galhos espinhentos próximos ao solo, o que torna quase impenetrável (VOLOCHEN, 2010).

\*Mata de terra firme: Situada em áreas que não são atingidas pelas cheias dos rios. Suas árvores atingem de 30 a 60 metros de altura e crescem umas próximas as outras, com copas que impedem a penetração da luz solar. Desse modo, o seu interior torna-se muito escuro, o que dificulta o crescimento de plantas de pequeno porte (VOLOCHEN, 2010).

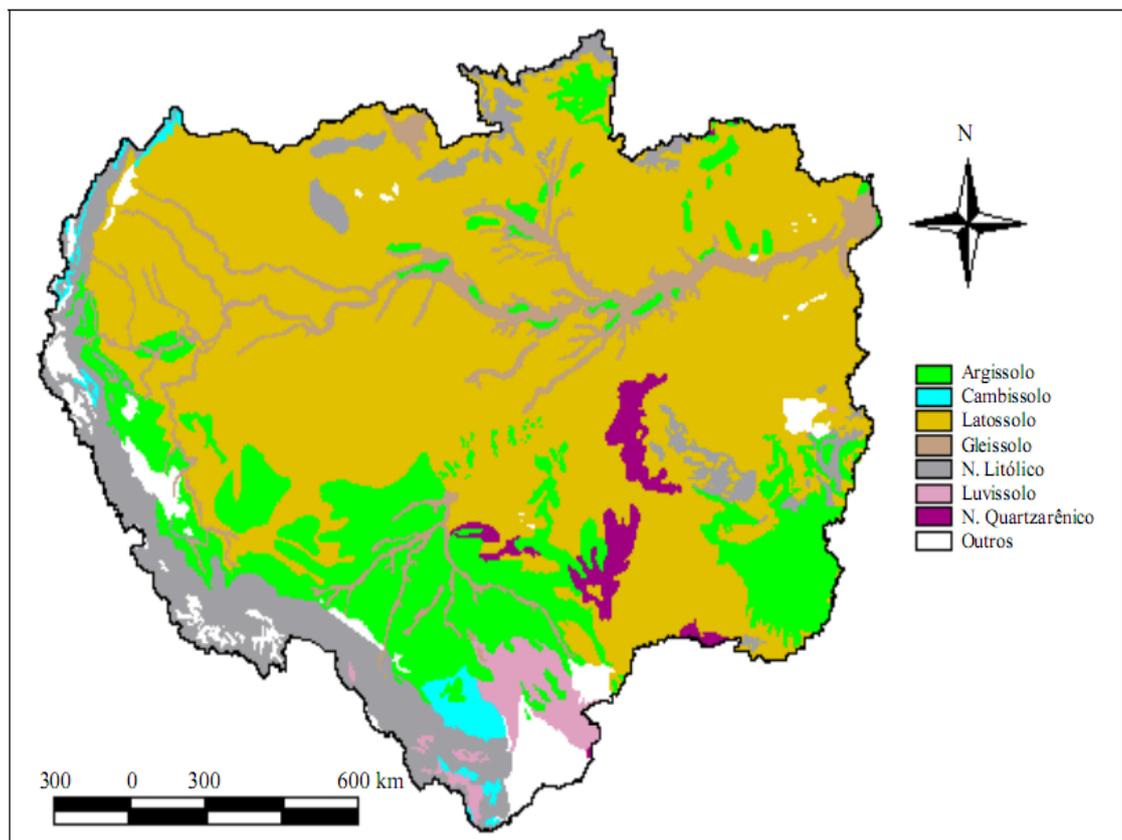
\*Floresta semi-úmida: é a mata de transição entre a floresta Amazônica e outros ecossistemas. É formada principalmente por árvores entre 15 e 20 metros de altura, de troncos finos e com copas pouco desenvolvidas. Grande parte das árvores mais altas perdem as folhas durante a estação seca (VOLOCHEN, 2010).

O solo da Bacia Amazônica (Figura 4) pertence principalmente a família de solos vermelhos ferrosos. Sua mineralogia é dominada pelo quartzo, Óxidos de Al e Fe e Caulinita, com poucos minerais acessórios como anátase e zircão. A maioria dos afluentes da Bacia Amazônica superior tem sua fonte nos Andes (rios Solimões, Içá, Japurá e Madeira), no

canal sub-andino (rios Juruá e Purus) ou no escudo da Guyana (rios Trombetas e Negro). O principal afluente de baixo curso, o rio Tapajós drena o Escudo Brasileiro (SEYLER & BOAVENTURA, 2003).

O solo da Amazônia (Figura 4) é profundo, bem drenado e possui excelente estrutura granular. Cerca de três quartos dos solos da Bacia Amazônica correspondem às classes latossolo e argissolo. Na parte ocidental da Bacia, os solos são bem drenados e estão associados à floresta densa. Na parte oriental, os solos não são tão bem drenados e estão associados a uma floresta aberta. Na planície Amazônica, observam-se solos mal drenados com a presença de savana. Solos muito mal drenados são observados nas áreas de inundação (NETO, 2006).

**Figura 4: Solo da Bacia Amazônica**



Fonte: NETO, 2006.

Os solos mais férteis são encontrados ao longo das várzeas, pois estas áreas são constantemente inundadas, na época das cheias, pelas águas ricas em nutrientes. Porém a maior parte da Amazônia é pobre em nutrientes, possuindo apenas uma fina camada de matéria orgânica (húmus), produzida pela floresta. A floresta só se mantém pela decomposição de seus elementos (VOLOCHEN, 2010).

Do ponto de vista da distribuição geográfica da rede hídrica, destacam-se na Bacia Amazônica em sua margem esquerda os rios Içá ou Putumayo, provindo dos Andes, com um curso pequeno no território brasileiro, mas com um talvegue bastante profundo; Caquetá ou Japurá, também oriundo dos Andes colombianos, em terras brasileiras um típico rio de planície; Negro oriundo da Colômbia, mas com seu maior percurso no Brasil (recebe afluentes importantes como o Uaupés, o Içana e o Branco, todos oriundos do planalto das Guianas). Há ainda outros afluentes de menor importância como os rios Nhamundá ou Jamundá, trombetas, Paru e Jari. (BARSA a,1995).

Dos rios que vertem para o Amazonas, pela margem direita, destacam-se: O Javari, que serve de fronteira entre o Brasil e o Peru, ao longo dos seus 1056 km de curso; O Juruá, oriundo da Serra de Constamana com 3.282 km de curso, mil dos quais fracamente navegáveis; Purus (Considerado o mais típico rio de planície) de curso extremamente sinuoso e cheio de meandros; o Madeira, resultante da junção dos rios Beni e Mamoré, o mais notável dos afluentes, cuja Bacia, com mais de 1 milhão de km<sup>2</sup>, ultrapassa de muitos grandes rios do mundo; Tapajós, um dos afluentes primeiro conhecido e explorado; Xingú, o mais encachoeirado dos afluentes do Amazonas (BARSA a, 1995).

Os fluxos de partículas carregadas pelo rio Amazonas são de grande importância nos ciclos biogeoquímicos ocorridos entre a terra e o mar. Os tributários do rio Amazonas apresentam uma série de características químicas que permitem diferenciar suas águas. Eles foram classificados em três tipos, com base em suas características como águas brancas, claras e pretas (AUCOUR et al, 2003 ).

Rios de águas brancas são aqueles que trazem grandes quantidades de sedimentos dos Andes, são ricos em nutrientes, possuem concentrações de cálcio e magnésio superiores a sódio e potássio (GIBBS, 1967) e pH variando de 6,2 a 7,2, os exemplos desses rios são: o Solimões-Amazonas, Purus, Juruá e o Madeira. rios de águas pretas são pobres em sólidos dissolvidos e em suspensão, porém possuem maiores quantidades de sódio e potássio do que nas águas brancas (GIBBS, 1967). Possuem transparência, mas com água de cor escura devido a lixiviação de húmus, são águas ácidas (pH 3,8 a 5,5) e bastante empobrecidas em eletrólitos, como o rio Negro. Rios de água clara é uma classificação intermediária, apresentam pouco material em suspensão e com características de transição entre os dois tipos anteriores, e suas águas são transparentes (VITAL & STATTEGGER, 2000), são caracterizados por drenarem uma litologia heterogênea, com pouca quantidade de material colocado em suspensão, composição química e pH variável em função do substrato geológico (4,5 a > 7,0), sendo, contudo, mais pobres que os rios de água-branca. Os rios de águas claras

são representados pelos rios Tapajós, Trombetas, Xingu e o rio Curuá-Uma (CUNHA & PASCOALOTO, 2006). O rio Solimões e rio Negro em Manaus se somam para formar o rio Amazonas. As águas pretas do rio Negro são relativamente ácidas, pobres em cátions totais e ricas em carbono orgânico dissolvido. As águas brancas do rio Solimões mostram um pH próximo de neutro e são relativamente ricas em cátions totais e em sedimentos em suspensão, os minerais de argila do rio consistem de esmectitas  $[(1/2 \text{ Ca, Na})_{0,7} (\text{Al, Mg, Fe})_4 (\text{Si, Al})_8 \text{O}_{20} (\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ , ilitas  $[\text{K}_{1-1,5}\text{Al}_4(\text{Si}_{7-6,5}\text{Al}_{1-1,5}\text{O}_{20})(\text{OH})_4]$  em suspensão e uma menor quantidade de caulinita  $[\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$ , que também estão presentes no sedimento das várzeas (AUCOUR et al, 2003).

A área de estudo compreende os rios Branco, Negro, Solimões - Amazonas, Purus, Madeira e Tapajós. A seguir, as características existentes em cada um desses rios.

### 3.1.1 Rio Branco

O rio Branco é um importante contribuinte da margem esquerda do rio Negro. Têm como seus principais contribuintes, na sua margem direita, os rios Cauamé, Mucajaí, Ajarani, Água Boa do Univini, Catrimâni e Xeriuini, e na margem esquerda, os rios Quitauaú, Cachorro, Anauá e Itapará. A bacia hidrográfica do rio Branco tem cerca de 192.000 km. O curso d'água principal escoia praticamente na direção norte-sul, percorrendo mais de 1.200 km, até desaguar no rio Negro, que por sua vez deságua no rio Amazonas (USSAMI, 2010).

De forma geral o rio Branco é considerado como a classificação tradicional de Sioli, ou seja, um rio de água branca, muito embora as concentrações de sedimento e de íons e nutrientes sejam muito inferiores às encontradas em rios como o Solimões. Devido a esta diferença, alguns autores, classificam o rio como rio de águas semibrancas. Seus tributários podem ser classificados como rios de águas brancas, pretas ou claras, de acordo com sua localização. Pode ser dividido em duas regiões ecológicas principais, quais sejam, o alto e o baixo rio Branco, com a cidade de Caracará como marco dessa divisão. Cerca de 70 km ao norte, coincidindo com a foz do rio Mucajaí, as chuvas decrescem bruscamente e mudam as condições de solo (USSAMI, 2010).

### 3.1.2 Rio Negro

O rio Negro é um dos três maiores rios do mundo. Nasce na Colômbia, com o nome Guainía, correndo na direção Suldeste e, depois, sul. Serve de fronteira natural entre

Colômbia e Venezuela. Deságua no Amazonas perto de Manaus, depois de um curso de 1699 km. Suas águas escuras contrastam com as do Branco e com a caudal do Amazonas (BARSA f, 1995).

Em regiões de relevo plano em baixas altitudes, com clima muito úmido, as chuvas constantes removem do solo as partículas minerais mais finas (argilas) juntamente com o material orgânico e formam solos arenosos, denominados podzóis. Esse processo, chamado podzolização, produz uma camada superficial de solo constituído basicamente de grãos de quartzo. É a areia branca. As regiões do médio e alto rio Negro, com clima muito úmido e relevo plano, favorecem a gênese desses solos e por consequência a formação de águas pretas. O rio Negro é classificado como rio de água preta, possui coloração escura, variando do marrom-café até o marrom-oliva, com uma transparência de 1,30 a 2,30 m. São águas quimicamente uniformes, na sua grande maioria ácidas, com valores de pH entre 3,8 e 4,9. A elevada acidez deve-se à presença de grandes quantidades de substâncias orgânicas dissolvidas, provenientes da drenagem de solos arenosos cobertos por vegetação conhecida como campina, campinarana ou caatingas amazônicas (ZEIDEMANN, 2001).

No rio Negro, como na maioria dos canais fluviais amazônicos, o nível das águas varia conforme a estação. As variações no baixo rio Negro, diferentemente do que se imaginava a princípio, não são ocasionadas só pela distribuição espacial e temporal das chuvas, mas também pela forte influência do rio Solimões-Amazonas. Essa influência é tão forte que pode ser observada no rio Negro até a sua confluência com o rio Branco, a cerca de 300 quilômetros de distância. Assim, até a desembocadura do Branco, as flutuações de nível de água refletem principalmente as variações ocorridas no Solimões-Amazonas. Por causa disso, entre os meses de novembro e fevereiro, quando descem os níveis da água do alto rio Negro, o baixo rio Negro encontra-se em período de inundação. A inundação é consequência de um represamento provocado pela alta do complexo Solimões-Amazonas, que recebe grandes quantidades de água de seus diversos tributários que estão em época de enchentes. Por isso, é na estação seca que, paradoxalmente, sobe o nível da água do baixo rio Negro (ZEIDEMANN, 2001).

### **3.1.3 Rio Solimões/Amazonas**

O rio Amazonas é maior do mundo em volume de água e em extensão. Nasce com o nome de Vilcanota, e recebe depois as denominações de Uicaiali, Urubamba e Marañón. Quando entra no Brasil, recebe o nome de Solimões até o encontro com o rio Negro, próximo

de Manaus. Desse ponto até a foz recebe o nome de Amazonas. No território brasileiro, esse grande e importante rio desce de 82 metros de altitude, em Benjamin Constant, dirigindo-se ao oceano depois de uma trajetória de 3.165 quilômetros (CERQUEIRA, 2009).

As nascentes do rio Amazonas estão localizadas nos Andes e o rio Negro, afluente da margem esquerda deste rio, provém do Escudo das Guianas. Ambos possuem vastas bacias com características diferentes a respeito do relevo, climas e tipos de rochas que definem a qualidade de suas águas e as cargas sólidas. Ambos percorrem centenas de quilômetros antes de se encontrarem (FRANZINELLI, 2011).

### **3.1.4 Rio Purus**

Rio que tem suas cabeceira nos contrafortes orientais dos Andes, no Peru, corre na direção nordeste e, após cruzarem a faixa sul-oriental do território peruano, atravessa os estados do Acre e Amazonas e desemboca por um delta de 240 km, na margem direita do rio Amazonas, depois de perfazer um curso de 3.210 km, a maior parte navegável. Seus principais afluentes da margem esquerda são o Curanja (Peru), Pauini e Tapauá (Brasil) e da direita os rios Chandless, Iaco, Acre, Ituxi, Mucuim e Ipixuna (Brasil) (BARSA c, 1995).

### **3.1.5 Rio Madeira**

A bacia hidrográfica constituída pelo rio Madeira e seus afluentes drena uma área de 1.420.000 km<sup>2</sup>, sendo formada pela junção dos rios Beni e Mamoré, nas proximidades das cidades de Guayara Mirim (Bolívia) e Guajará Mirim (Brasil). O rio Madeira apresenta dois tipos de formadores ou tributários. O primeiro refere-se aos rios que descem dos Andes e o segundo àqueles que tem suas nascentes no Planalto Central Brasileiro (MOREIRA, 2002).

O rio Madeira é o maior afluente do rio Amazonas pela margem direita. Sua extensão é de 3.240 quilômetros, sendo 1.700 em território brasileiro. Mas, devido aos diversos acidentes hidrográficos, seu curso navegável é de 1.116 quilômetros, a partir da cachoeira de Santo Antonio, em Porto Velho até Itacoatiara, AM. Seus afluentes pela margem direita são os rios Ribeirão, Mutum-Paraná, Jacy-Paraná, Jamari e Machado. Pela margem esquerda os afluentes são os rios Abunã, Ferreiros, José Alves, São Simão e o igarapé Cuniã (PORTAL AMAZONIA, 2010).

### 3.1.6 Rio Tapajós

O rio Tapajós é afluente da margem direita do rio Amazonas e nasce da confluência dos rios Juruena e Teles Pires, na divisa dos Estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso. Para chegar ao Amazonas ele percorre uma distância de 132 km e no município de Aramaná atinge uma largura de 19 km (MONTEIRO, 2010).

### 3.2 Matéria iônica dissolvida – os íons maiores

As mudanças climáticas alteram o ciclo hidrográfico e geram mudanças nas disponibilidades hídricas. Alterações no ciclo hidrológico amazônico, como a permanência das águas na bacia, podem interferir na estrutura física do solo impedindo que os reservatórios subterrâneos sejam abastecidos. A redução do período de permanência das águas pode causar inundações no período chuvoso, enquanto que a diminuição dos reservatórios subterrâneos pode reduzir a vazão dos rios nos períodos secos (AMARAL; VALE, 2010).

O abastecimento dos rios pela água subterrânea e pelas chuvas dá origem aos constituintes dissolvidos presentes nos mesmos, assim como, pela influência da lavagem do solo durante o escoamento superficial proporcionado pelas chuvas. A composição química das águas naturais resulta da dissolução e reações químicas com sólidos, líquidos e gases com os quais a água entra em contato durante o ciclo hidrológico, e pode ser alterada pelo uso da terra. Assim alguns constituintes inorgânicos dissolvidos nos rios são denominados como íons maiores, pois aparecem em concentrações mais elevadas em relação a outros íons que geralmente estão presentes na natureza em concentrações menores, em nível de traço (Figueiredo, 2010). Estes elementos podem ser representados pelos íons de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Sódio ( $\text{Na}^+$ ), Potássio ( $\text{K}^+$ ), Silício ( $\text{Si}^{4+}$ ), Cloro ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Estrôncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), Ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{2-}$ ), Flúor ( $\text{F}^-$ ) e Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ). Porém, para este estudo somente os íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ .

Stallard e Edmond (1983, 1987) observam que o intemperismo de rochas silicáticas, acelerado em locais com maior disponibilidade de  $\text{H}^+$  em solução, claramente controla a química dos cátions maiores nos rios amazônicos; o cálcio e magnésio podem ser oriundos da decomposição de matéria orgânica vegetal (folhas, raízes, troncos) ou de produtos metabólicos da macro e microfauna (CAMPOS, 1994; STALLARD & EDMOND, 1983); o sódio pode ser proveniente das águas de chuva, por vezes em teores significativos

(CARVALHO, 1995; NEIVA & CUNHA, 2000); o potássio em excesso no solo pode ser dissolvidos e carreados em solução para as águas superficiais por aportes antrópicos, quando em áreas com agricultura intensiva, se faz uso de adubos químicos, à base do elemento o que ocorre também em relação ao sódio. Os bicarbonatos podem ser originados por dissolução de rochas bicarbonatadas ou pela reação do gás  $\text{CO}_2$ , de origem atmosférica ou de atividades de microrganismos, com água, produzindo ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que tende a se dissociar em  $\text{H}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Furch (1984) afirma que a composição química das águas brancas é similar à média mundial, com  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$  como íons predominantes. Nas águas pretas, o  $\text{HCO}_3^-$  está presente em quantidades muito reduzidas, normalmente abaixo de 5 mg/L.

### 3.2.1 Cálcio

O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) é essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial os moluscos (ESTEVEZ, 1998). O carbonato de cálcio é pouco solúvel em água pura. O cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvido. A quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvida depende da temperatura e da pressão que são, portanto, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio (APHA, 1985). A orientação da Organização Mundial da saúde a concentração em águas naturais seja menor que 15  $\text{mg.L}^{-1}$  (CHAPMAN, 1992).

### 3.2.2 Magnésio

O magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio, porém formam sais mais solúveis. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1 e 40  $\text{mg.L}^{-1}$ . O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas (APHA, 1985). Em águas naturais a faixa de concentração é de 1 a > 100  $\text{mg.L}^{-1}$ . (CHAPMAN, 1992).

### 3.2.3 Sódio

O sódio ( $\text{Na}^+$ ) é um elemento químico quase sempre presente nas águas. Seus principais minerais fonte (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis (APHA, 1985). O limite de sódio na água potável é 200  $\text{mg.L}^{-1}$ . Águas superficiais,

inclusive aqueles que recebem águas residuais, têm níveis abaixo de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ . No entanto, as concentrações de água subterrânea possuem frequências superiores a  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  (CHAPMAN,1992).

### 3.2.4 Potássio

O potássio ( $\text{K}^+$ ) é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. Seus principais minerais fontes são: feldspato, potássio, mica moscovita e biotita, pouco resistentes aos intemperismo físico e químico. Nas águas subterrâneas seu teor médio é inferior a  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  sendo mais frequente valores entre 1,0 e  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ .( APHA, 1985).

### 3.2.5 Bicarbonato

A presença de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) influencia na dureza e alcalinidade da água. O bicarbonato é um ânion dominante na maioria das águas superficiais, normalmente sua concentração é menor que  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , e comumente menor que  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  (CHAPMAN,1992).

### 3.2.6 Cloreto

O cloreto é um ânion ( $\text{Cl}^-$ ) que se apresenta em pequenas quantidades nas águas superficiais. Um aumento no teor de cloretos na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (através de excreção de cloreto pela urina) ou por despejos industriais e acelera os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água. Sua concentração varia usualmente abaixo de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  e as vezes menor que  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  (APHA,1985).

### 3.2.7 Sulfato

O sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto, podendo apresentar-se em águas naturais, em concentrações muito variáveis (CETESB,2009).

Na água potável sua presença geralmente ocorre devido à adição de algicidas, que geralmente são sulfatos.

### 3.2.8 Silício

A Sílica está presente como silicato (grupo dos minerais mais abundantes na crosta; combinação de Si e O ( $\text{Si}^{4+} \text{O}_4^-$ )<sup>4-</sup> na maioria das águas naturais. Sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o óxido de Silício, o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre. Nos rios e lagos usualmente sua concentração varia em uma faixa de 1 a 30  $\text{mg.L}^{-1}$  (CHAPMAN,1992).

### 3.3 Estudos sobre a composição iônica em ambientes aquáticos Amazônicos

Numerosos autores, têm contribuído, com o estudo da biogeoquímica dos paranás, pequenos rios (igarapés), dos lagos de várzea (planície inundável), no estudo da geoquímica dos grande rios, bem como na zona do estuário. Apesar de um grande volume de publicações a respeito da Bacia Amazônica, estudos sobre matéria iônica dissolvida (íons maiores) na parte da Amazônia central são pontos no espaço ou no tempo, especialmente se considerarmos uma alta frequência amostral. Essa realidade pode ser vista através de um estudo aprofundado da bibliografia no tema cujas mais importantes contribuições contemporâneas se iniciaram com SIOLI (1957, 1964, 1965, 1975 a, 1975 b, 1984), chegando até GIBBS (1967), STALLARD (1980), STALLARD & EDMOND (1983, 1987), RICHEY (1986), SEYLER & BOAVENTURA (2003) e tantos outros.

A Bacia Amazônica tem uma área de aproximadamente 6 milhões de  $\text{km}^2$ , possui a maior floresta tropical do mundo, contribui com 20% da vazão do rio principal para os oceanos (RICHEY, et al, 1989) . Os primeiros estudos a respeito da Bacia Amazônica se deram por Friederich Katzer, em 1897, realizando as primeiras análises dos constituintes inorgânicos das águas dos rios amazônicos (ESTEVES, 1988). Após Katzer, Harald Sioli (1957, 1964, 1965, 1975 a, 1975 b, 1984) classificou os rios Amazônicos baseados em suas características físicas e químicas. Stallard & Edmond (1983) foram os primeiros a estudar em detalhes a geoquímica fluvial. Com relação aos íons dissolvidos e nutrientes, o rio Amazonas é um dos mais amplamente documentados no mundo. Gibbs (1967), Stallard (1980), Stallard e Edmond (1983, 1987), Palmer e Edmond (1992) mediram solutos importantes, como concentrações de ferro (Fe) e alumínio (Al) dissolvido na Amazônia e em numerosos

tributários. As variações sazonais das concentrações dissolvidas foram documentadas para o Solimões por Devol et al. (1995) e para o rio Madeira por Ferreira et al. (1988). Após estes autores, numerosos estudos sobre a química dos rios da bacia amazônica foram realizados, especialmente no Brasil, na região da planície Central (região de Manaus). Muitos destes estudos têm-se centrado sobre o acompanhamento da físico-química dos principais rios da Bacia Amazônica, feitos especificamente com compostos iônicos dissolvidos, bem como particulados, destes grandes rios.

Em 1989, Martinelli et al, estudou a descarga de sólidos dissolvidos totais (Ca, Na, K, Mg, SiO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> e Cl) no rio Amazonas e seus principais tributários (Içá, Jutáí, Juruá, Japurá, Purus, Negro e Madeira), com objetivo de determinar o transporte total de matéria dissolvida lançado ao Oceano Atlântico pelo rio Amazonas, além de determinar a contribuição das principais sub-bacias no período de 1982- 1984. Como resultado, a descarga final em Óbidos foi de  $262 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. A contribuição dos rios Tapajós e Xingú para o fluxo de dissolvido foi de  $5 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup> a  $10 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. O fluxo de massa final da bacia para o Oceano foi de  $270 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. Entre os tributários, o rio Madeira, contribuiu com o maior fluxo de material dissolvido ou cerca de  $0,37 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>, seguido pelo Purus  $0,10 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. O rio Negro, Juruá e Japurá apresentam fluxos entre 0,043 e  $0,079 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. O Içá foi de  $0,031 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>, enquanto o menor fluxo foi observado no rio Jutáí de  $0,010 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>. Conclui então, que o rio Amazonas é o maior transportador de material dissolvido e principal no transporte de material entre os continentes e oceanos.

Em 1995, Devol et al, estudou a variação sazonal da distribuição química no rio Amazonas (Solimões), sendo esta o resultado de uma série de estudos de 10 anos entre janeiro de 1983 e novembro de 1992 em uma estação situada na Amazônia Central do Brasil, perto da cidade de Manaus. Os íons analisados foram Ca, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>. Como resultados, o íon SiO<sub>2</sub> apresentou uma concentração máxima por volta de 160 µm e mínima a cerca de 140µm. O íon Ca se espelha em sua alcalinidade, essa alta alcalinidade se dá quando a porcentagem de descarga formada por águas de origem andina foi maior. Os íons Na e K apresentam tendências sazonais semelhantes com máxima e mínima a cerca de 180µm e 100µm (Na) e 29 µM e 20 µm (K). A tendência para o íon Cl foi similar ao íon Na, mas a concentração foi apenas a metade. Para NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub> a concentração mínima foi de 8 µm e 3.7 µm e máxima 17 µm e 5.4 µm respectivamente. O íon PO<sub>4</sub> apresentou uma concentração a cerca de 0.85µm. Os dados demonstraram que é clara a presença dos ciclos sazonais de material de transporte no rio Amazonas. Apresentou um hidrograma que sugerem controle da origem e da hidrodinâmica de sedimentos resuspenso e depositados com alguma espécie

orgânica e inorgânica adicionais. A espécie dissolvida tem hidrograma que reflete sua consequente diluição.

Em 1997, Mortatti et al, realizaram um estudo sobre mecanismos de transporte de material dissolvido pelo canal principal do rio Amazonas e tributários de maior importância, além da caracterização do processo de erosão química e balanço das rochas predominantes da Bacia Amazônica. Os íons analisados foram ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SiO}_2$ ). O transporte de material dissolvido pelo rio Amazonas ao Oceano Atlântico foi calculado em  $254,3 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ , sendo 64% de origem andina. Quanto aos fluxos anuais foram encontrados para  $\text{HCO}_3^-$  o valor de  $131,5 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ ,  $\text{SiO}_2$   $38,1 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$  e  $\text{Ca}^{2+}$   $33,9 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ . A contribuição atmosférica para a carga dissolvida transportada na bacia de drenagem foi de 56,9% para  $\text{SO}_4^{2-}$ , 21,9% para  $\text{Cl}^-$ , 6,0% para o  $\text{Ca}^{2+}$ , 3,7% para  $\text{Mg}^{2+}$ , 13,8% para o  $\text{Na}^+$  e 32,3% para  $\text{K}^+$ . A contribuição da erosão química o valor estimado foi de  $148,9 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ , correspondendo 59% de carga total de material dissolvido transportado na Bacia Amazônica o que implica na degradação química de  $32,2 \text{ km}^2 / \text{ton.ano}^{-1}$ , com uma taxa de alteração química da rocha em torno de  $16 \mu\text{m/a}$ , correspondendo assim a um processo contínuo de formação dos solos.

Em 1997, Gaillardet et al, estudaram a erosão química e física na Bacia Amazônica. Estes autores enfocam o sistema do rio Amazonas, as concentrações de elementos maiores e traços ambos nas fases dissolvidas e suspensa e o estudo da composição isotópica de Sr dissolvida. Estudaram a integração da Amazônia entre Manaus e Santarém, e os principais afluentes (Solimões, Negro, Madeira, Uracara, Trombetas e Tapajós) durante a fase de água de alta de Maio de 1989. Propõe um modelo baseado em equações de balanço de massa, que permitem que as proporções derivadas de diferentes fontes sejam calculadas. A composição média da crosta terrestre foi assumida no modelo para as fontes de rocha das bacias de drenagem. Como resultados, observou que para o rio Negro, as concentrações de Cl e Na são muito baixos e muito semelhantes. A razão Ca / Na é alta, e pode ser interpretada como indicando da importância do intemperismo do carbonato. A Comparação das taxas previstas pelo modelo para as taxas observadas mostrou uma boa concordância para os rios de planície, mas uma forte discrepância para os rios provenientes dos Andes (Solimões, Madeira e Amazonas), nos quais observaram produções de sedimentos muito maior do que aqueles previstos de acordo com o modelo de estado estacionário do intemperismo químico e físico. Para a Amazônia, em Santarém, encontraram que pelo menos 25% da massa da crosta continental superior da bacia Amazônica é constituída de material reciclado.

Em 2000, Vital & Stattegger, estudaram a geoquímica de elementos maiores e traços em sedimentos por arrastamento no baixo Amazonas. Este estudo teve como objetivo obter dados complementares da assinatura geoquímica dos sedimentos transportados pelo Amazonas; conhecer a influência do transporte e processo de sedimentação na química dos sedimentos, além de conhecer o efeito do intemperismo tropical. A área de estudo situa-se entre a planície Delta Amazônica e a foz do Amazonas a partir do rio Xingú. Foram analisados 10 elementos maiores (Al, Si, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K e P). O resultado desse estudo mostrou que os sedimentos do baixo Amazonas são caracterizados por um enriquecimento de quartzo e uma diminuição dos grãos de areias quimicamente instáveis, indicando uma alta reciclagem natural e/ou um forte intemperismo químico. Por outro lado, lamas contêm altas concentrações de cátions maiores, refletindo na diversidade mineralógica (micas, minerais de argila e feldspato). Quanto ao efeito do tamanho dos grãos há a influência de duas fontes distintas: (i) Sedimentos andinos, que compreendem a maior parte dos sedimentos em suspensão transportado pelo Amazonas e (ii) a área de drenagem tropical que fornecem as áreas por arrastamento.

Em 2003, Benedetti et al, estudaram a concentração, volume de distribuição e fluxo de carbono e íons metálicos (Na, K, Ca, Mg, Al, Fe e Cu) particulado, coloidal e dissolvido nos maiores rios da Bacia Amazônica (Negro, Solimões, Madeira e Amazonas), no período de 1995-1998, com o objetivo de avaliar a distribuição do tamanho do carbono orgânico na Amazônia nos seus principais afluentes, o rio Negro, Solimões e Madeira, além de quantificar e qualificar o grau de associação entre a matéria orgânica com os íons metálicos. Neste estudo, foram utilizadas as campanha de (1994-1997) realizados nas estações de Manacapuru no rio Solimões e Paricatuba no rio Negro. Como resultado, para as águas pretas como a do rio Negro as frações coloidais e particuladas controlam a distribuição dos íons metálicos. Para os rios de águas brancas a fração particulada controla a distribuição do Fe e Al. Abaixo de 0.22 $\mu$ m a fração coloidal controla a distribuição de íons metálicos como Fe, Al e Cu igualmente em rios brancos, exceto no Madeira. Logo, para Mg, Ca e K, 50% de cada elemento se apresenta na forma dissolvida, enquanto 15 % na forma coloidal e 35% particulada. Al e Fe estão na fração particulada em 99% da concentração total do metal em todas as amostras do rio.

Como visto, diversos estudos a respeito da biogeoquímica da Bacia Amazônica e dos seus principais tributários vêm sendo realizadas por diversos pesquisadores, que contribuem no aprimoramento do conhecimento da mesma. Esses estudos mostram que Bacia Amazônica desempenha um papel fundamental no transporte de material entre os continentes e oceanos.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Métodos de amostragem e de determinação de parâmetros para a composição da base de dados Ore-Hybam**

Antes dos dados serem lançados na base de dados do Observatório Ore-Hybam, existe um cuidado antes, durante e após as coletas das amostras para o processamento final desses dados. Os tópicos a seguir, apresentam o detalhamento de todo o processo realizado até o lançamento na base de dados Ore-Hybam.

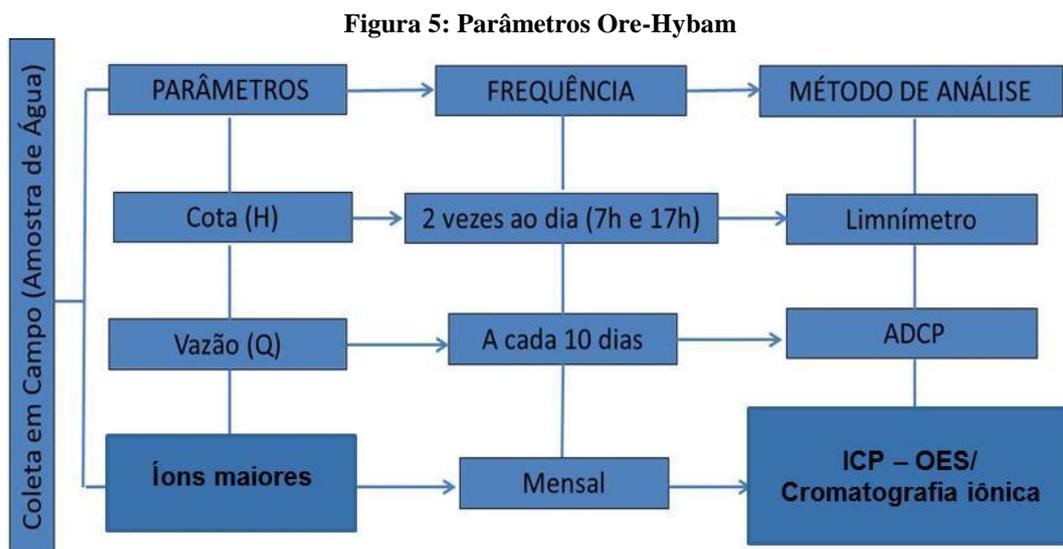
#### **4.1.1 Metodologia de coletas**

A realização de amostragens nas estações acontece por meio de campanhas motivadas pelo programa Ore-Hybam. As amostragens são feitas a partir de protocolos metodológicos. No decorrer das campanhas, para se realizar as amostragens em cada estação, é necessário que haja acesso ao local de coleta, que esteja disponível um local limpo para as filtrações e que exista a possibilidade de se treinar uma pessoa responsável. Cada pessoa responsável pela coleta recebe o equipamento (uma bomba à vácuo manual; um termômetro-condutímetro a prova d'água; uma garrafa de amostragem de um litro em HDPE (Polietileno de alta densidade); 12 kits de filtração com 1 set de filtração descartável com filtro em acetato de celulose de 0.2  $\mu\text{m}$ ; 1 frasco de 125 ml em HDPE para os elementos maiores; um rolo de "durex" para proteção das etiquetas e fechamento dos frascos; uma caixa isoterma para guardar o equipamento e as amostras; sacos para lixo de 100L a serem estendidos em cima da mesa de trabalho para garantir a limpeza), necessário para amostrar durante um ano e um protocolo de amostragem e filtração, traduzido em português ou em castelhano (ORE-HYBAM c, 2010).

Os filtros dos sets de filtração são pesados com antecedência e o peso escrito numa etiqueta colada no saco de proteção que volta a ser fechado hermeticamente. Todos os frascos são etiquetados com o nome da estação e o uso previsto e então colocados em sacos plásticos com zíper (ORE-HYBAM c, 2010). Após o processo de coleta, as amostras são analisadas e distribuídas na base de dados.

#### 4.1.2 Parâmetros determinados

Para este trabalho, os dados distribuídos na base de dados Ore-Hybam constituem-se em: cota (H), vazão (Q) e íons maiores (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> e Si) (Figura 5). A Figura 5 mostra a metodologia geral de coleta seguida, demonstrando os parâmetros, a frequência de coleta de dados e os métodos de análise dos parâmetros.



##### 4.1.2.1 Medição de Cota

A cota (H) é a medida do nível das águas dos rios. Esse nível é medido por réguas linimétricas. Uma régua linimétrica é uma escala graduada, de madeira ou metal, ou uma pintada fixada em uma estrutura vertical de madeira ou concreto (Figura 6).

**Figura 6: Instrumento utilizado para medir Cota (H)**



Quando a variação dos níveis de água é considerável, é usual instalar, para facilitar a leitura, a régua em vários lances. Cada lance representa uma peça de 1 ou 2 metros. Os dados são coletados todos os dias por pessoas que moram no local, as 7 da manhã e as 17 horas, nas quais são registrados em cadernos e a cada 3 meses um funcionário da empresa operadora da Agência Nacional de Águas (ANA) vêm coletar esses dados e após 6 meses, esses dados são disponibilizados no site da Agência.

#### 4.1.2.2 Medição de vazão

A vazão (Q) é a quantidade de água transportada em uma seção do rio num certo intervalo de tempo. Sua medição é realizada a cada 3 meses e tem sido incentivada pela ANA feitas com Perfilador Acústico Doppler de Corrente (ADCP) (Figura 7).

**Figura 7: Perfilador Acústico Doppler de Corrente (ADCP)**

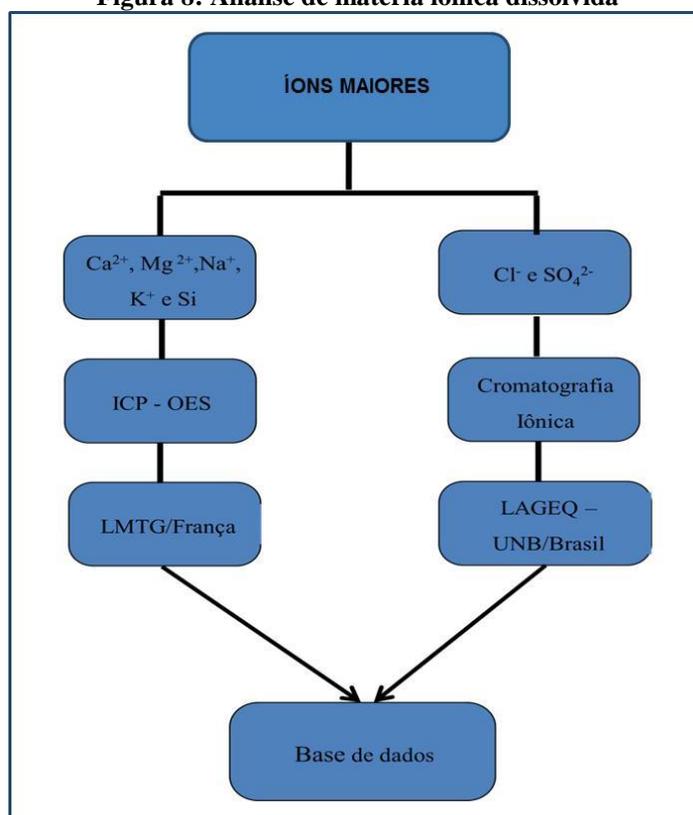


Os ADCPs utilizam ondas acústicas em faixas tipicamente compreendidas entre 300 e 3.000 kHz para medir a vazão, através da mudança de frequência das ondas refletidas por material em suspensão (efeito Doppler). Por um processamento interno, os equipamentos determinam a velocidade do fluxo pela velocidade relativa das partículas em suspensão em relação à velocidade do equipamento/barco, sendo esta última obtida, geralmente, através do recurso denominado bottom tracking (rastreamento de fundo). A profundidade é obtida pela reflexão de ondas específicas no fundo do rio (RICARDO, et al. 2008).

#### 4.1.2.3 Matéria iônica dissolvida

As amostras de água filtradas, para determinação da matéria iônica dissolvida (Figura 8), foram coletadas mensalmente e divididas para serem enviadas para análise no Laboratório de Geoquímica na Universidade de Brasília (LAGEQ-UnB) e para o Laboratório e Mecanismo de Transferência em Geologia (LMTG), na Universidade Paul Sabatier em Toulouse (ORE-HYBAM c, 2010). A Figura 8 apresenta os métodos de análises desses elementos.

**Figura 8: Análise de matéria iônica dissolvida**



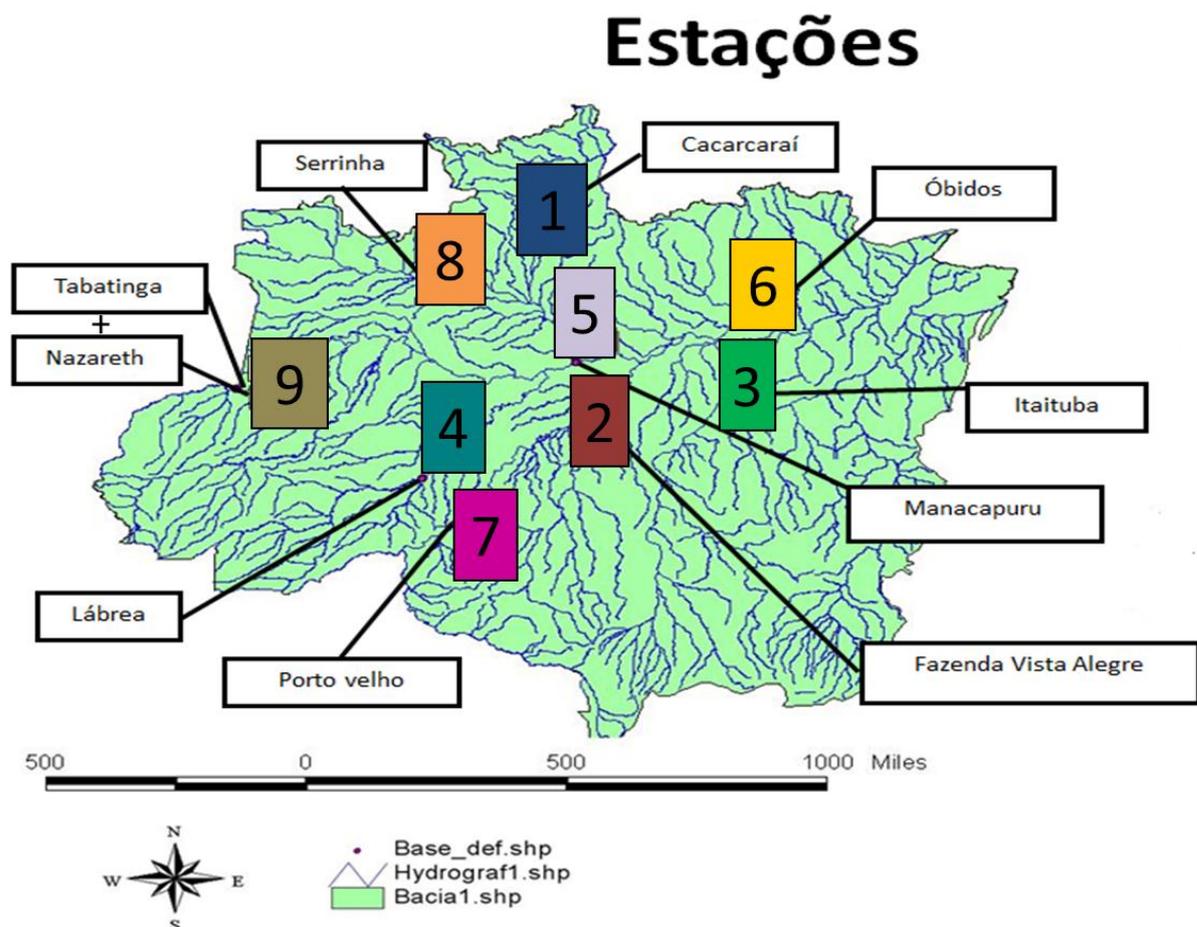
No LAGEQ-UnB, os ânions (Cl<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) são determinados por cromatografia iônica. No LMTG, Toulouse, as medições de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Si, são determinadas por Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (ORE-HYBAM c, 2010). Consideram-se tais laboratórios, responsáveis pelas análises, com grande experiência nas medições analíticas.

Após as análises, os resultados obtidos vão para a base de dados Ore - Hybam em <www.ore-hybam.org>.

## 4.2 Área de estudo

A área de estudo compreende as zonas de contribuição hidrológica monitoradas por nove estações distribuídas na Bacia Amazônica denominadas: Caracaraí, Fazenda Vista Alegre, Itaituba, Lábrea, Manacapuru, Óbidos, Porto Velho, Serrinha, Tabatinga e Nazareth (Figura 9).

Figura 9: Localização das estações da área de estudo



A Tabela 1 apresenta as estações citadas acima, com o código (1 a 9). Apresenta também os códigos encontrados nas bases de dados, rios que pertencem, latitude, longitude, além das fontes de dados onde cada informação foi retirada. O algarismo I, indica que os dados foram retirados da base Whybam e o algarismo II da base Ore-Hybam.

Tabela 1: Fonte de dados e georreferenciamento das estações em estudo

CÓDIGO	CÓDIGO		RIO	FONTE DE DADOS	LATITUDE	LONGITUDE
	WHYBAM/OR	ESTAÇÕES				
1	14710000	Caracaráí	Branco	I e II	1,82139	-61,12361
2	15860000	Fazenda Vista Alegre	Madeira	I e II	-4,89722	-60,02528
3	17730000	Itaituba	Tapajós	I e II	-4,28333	-55,98333
4	13870000	Lábrea	Purus	I e II	-7,25222	-64,7869
5	14100000	Manacapuru	Solimões	I e II	-3,30833	-60,60944
6	17050001	Óbidos	Amazonas	I e II	-1,94722	-55,51111
7	15400000	Porto Velho	Madeira	I e II	-8,73667	-63,92028
8	14420000	Serrinha	Negro	I e II	-0,48194	-64,82889
9	10100000+	Tab +	Solimões	I e II	-4,25	-69,93333
9*	10099800	Naz	Solimões	II	-4,12076	-70,03565

I – Whybam (período de 1995 a 2000) II – Ore-Hybam (período de 2003 a 2010) 9\* (período de 2006-2010)

### 4.3 Levantamento e análise da base de dados

Os dados utilizados estão disponíveis em bases públicas, nas quais foram retirados dados de Vazão (Q) e Cota (H), disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), além de dados de concentração de íons maiores [El] disponíveis nas bases de dados do observatório Ore – Hybam situados na web site <www.ore-hybam.org> e do antigo web site do Projeto Hybam - WHYBAM no web site < www.mpl.ird.fr/hybam>, de onde se gerou uma nova base de dados mista e específica para a realização da presente proposta de trabalho.

Para o processo e análise dos dados foram realizadas seis etapas descritas abaixo. A Figura 10 apresenta a metodologia geral dos processos e análise dos dados.

1º Etapa: Buscar os dados de Cota , Vazão e Concentração de elementos maiores em bases públicas (Whybam e Ore-Hybam);

2º Etapa: Reunir esses dados, formando uma nova base de dados mista;

3º Etapa: A partir da nova base de dados, tabelar, listar e gerar gráficos dos parâmetros disponíveis e o período de disponibilidade dos mesmos e analisá-los para as relações entre os diferentes períodos do ciclo hidrológico. Além desses procedimentos, utilizar análise

estatística através da análise multivariada Cluster e correlação linear de Pearson com o auxílio do software Action 2.3.

4º Etapa: Calcular o fluxo de elementos nas estações para cada período do ciclo, utilizando a equação:

$$Q_s = Q * [EI] * C$$

Onde:

$Q_s$  = Fluxo de matéria dissolvida

$Q$  = Vazão

$[EI]$  = Concentração do elemento (íon)

$C$  = Constante 0,0864 (ton/dia)

5º Etapa: Calcular o balanço de massa, utilizando a seguinte equação:

$$Q_{Sa} + Q_{Sb} + \dots + Q_{Sn} + \Sigma = Q_{Sx}$$

Onde:

$Q_{Sa}$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “a” a montante do ponto “c” num determinado curso d’água A

$Q_{Sb}$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “b” a montante do ponto “c” num determinado curso d’água B

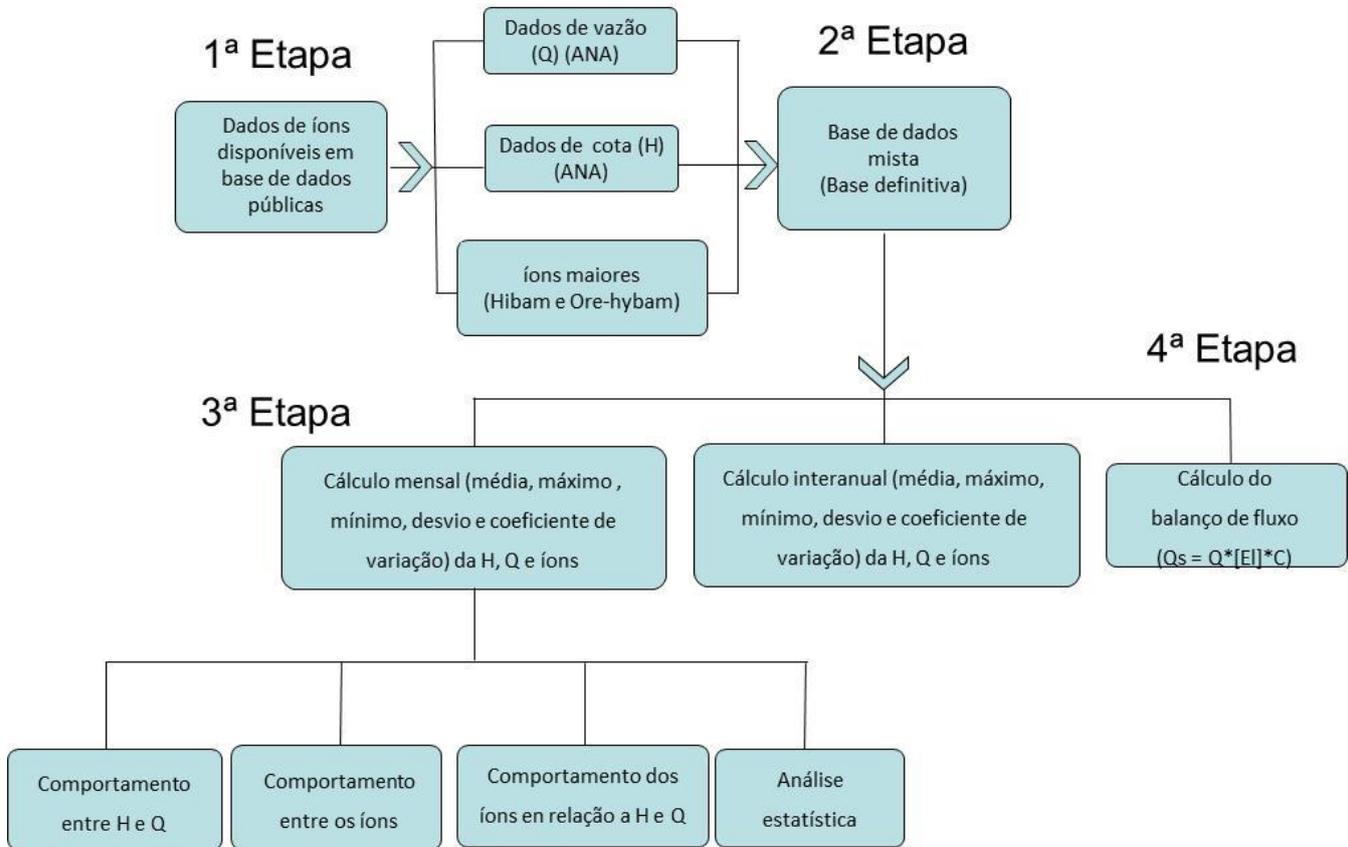
$Q_{Sn}$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “n” a montante do ponto “c” porém num enésimo curso d’água

$Q_{Sx}$  = fluxo de matéria dissolvida na estação, ou ponto “x” num curso d’água x

$\Sigma$  = valor positivo ou negativo conforme o efeito havido no trecho considerado entre os pontos “a”, “b”, “n” e “c” .

De forma simplificada:

**Figura 10: Metodologia geral dos processos e análise dos dados da base de dados mista (base definitiva)**



## 5 RESULTADOS

Nesse estudo, para a apresentação do fluxo de íons na Bacia Amazônica, foram obtidos 5.221 dados de íons maiores nas bases do Hibam e Ore/Hybam (Figura 11), registrados no período de março de 1995 a dezembro de 2010, em nove estações distribuídas na bacia Amazônica localizadas nos rios: Branco na estação de Caracaraí (CC), Madeira em Fazenda Vista Alegre (FVA), Tapajós em Itaituba (IT), Purus em Lábrea (LB), Solimões em Manacapuru (MN), Amazonas em Óbidos (OB), Madeira em Porto Velho (PV), Negro em Serrinha (SR) e Solimões em Nazareth e Tabatinga. A estação de Tabatinga teve seu funcionamento até outubro de 2007, sendo esta substituída pela estação de Nazareth que teve início em julho de 2006, devido a essa substituição, neste trabalho uniram-se os dados destas duas estações, denominando-a de (TN).

A partir dos dados obtidos nas bases do Hibam e Ore/Hybam, foi gerada uma nova base de dados denominada base definitiva. Da base definitiva foram produzidos os seguintes resultados:

i) Abrangência do estudo com o cálculo da quantidade de dados por parâmetros e registrados por estações de coleta;

ii) Cálculo da concentração média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação interanuais dos níveis dos rios - cota (Tabela 2), e da descarga líquida -vazão (Tabela 3), além das médias mensais das concentrações com máxima e mínima de ambas (Figura 12);

iii) Cálculo da concentração média, máxima e mínima, desvio padrão e coeficiente de variação, dos íons maiores, interanuais (Tabelas 4 e 5, Figuras 13 e 14) e mensais (Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22) e (Tabelas 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13);

iv) Análise do comportamento dos íons maiores frente à cota e vazão nas estações em seus respectivos rios, utilizando as médias mensais calculadas da base definitiva dos íons maiores, cotas e vazões (Figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30);

v) Utilização de ferramenta estatística dos dados médios dos parâmetros estudados, com aplicação de análise de agrupamento (Cluster), a partir das médias mensais da cota e vazão (Figura 31) e íons maiores (Figura 32e 33), que permite agrupar objetos semelhantes segundo suas características. E para descobrir a correlação entre os íons recorreu-se a análise de correlação de Pearson, originando as Figuras 34, 35 e 36;

vi) Cálculo do fluxo dos íons nas estações para cada período do ciclo, nos quais os resultados obtidos foram organizados por elementos, relacionando a concentração de cada um,

com os meses e anos, onde foram obtidas as médias interanuais (Tabela 14; Figuras 37e 38) e médias mensais (Figuras 39, 40, 41, 42).

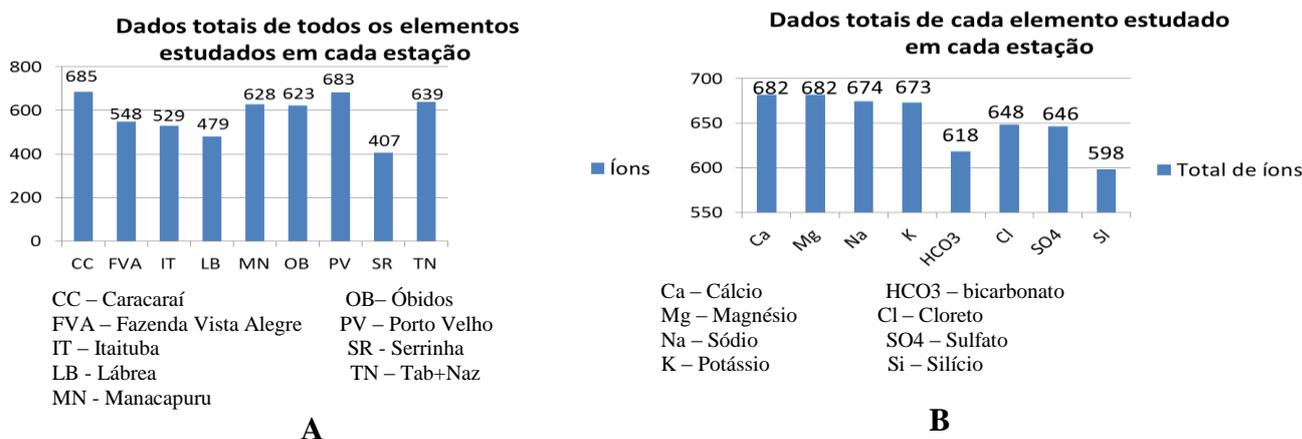
vii) A partir do cálculo do fluxo, calculou-se o balanço de massa interanual considerando a contribuição entre as estações em  $MN + FVA + M (SR+CC) = OB$  (Figura 44), e o balanço de massa mensal (Tabelas 16 e 17; Figuras 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 52).

Os tópicos a seguir, apresentam os detalhamentos destes resultados obtidos no período de 1995 a 2010.

## 5.1 Quantidades totais de dados

No período de 1995 a 2010, dos 5.221 dados estudados a estação de Caracará apresentou maior número de dados dos elementos cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, sulfato e silício registrados, enquanto os elementos cálcio e magnésio, em todas as estações estudadas, apresentaram o maior registro (Figura 11).

**Figura 11: (A) - Quantidades totais de todos os elementos estudados (cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonato, cloreto, sulfato e silício) existentes em cada estação citada. (B) - Quantidades totais de cada elemento estudado em cada estação.**



A apresentação da Figura 11 vem mostrar o extenso trabalho do tratamento e organização dos dados registrado em uma série histórica presente no banco de dados disponibilizados pelos programas Hibam e Ore-Hybam, sendo de grande importância por conter dados distribuídos em estações presentes em ambientes aquáticos de distintas características da Bacia Amazônica, seja pela diferença de vazão entre estações presentes em um mesmo rio, ou pela diferença de tipos de água. Lembrando, ainda, que a análise do

comportamento de oito (08) íons está sempre relacionada com as fases hidrológicas diante dos parâmetros de cota e vazão para o cálculo o balanço de fluxo desses elementos iônicos na Bacia Amazônica.

## 5.2 Variabilidades da altura das águas (cota) e descarga líquida (vazão)

A Tabela 2 apresenta os valores calculados com as características gerais interanuais das cotas, a Tabela 3 os valores calculados com as características gerais interanuais das vazões e a Figura 12 a variabilidade sazonal da vazão e dos níveis dos rios estudados.

Observa-se na Tabela 2 que o maior valor de cota máxima e o maior valor de cota mínima registrada no período de estudo, se apresentam no rio Madeira na estação FVA e o menor valor de cota máxima e o menor valor de cota mínima registrado neste mesmo período, foi no rio Amazonas na estação de OB.

**Tabela 2: Valores interanuais calculados de cota em metros (m) a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010.**

Rio	Período de dados		COTA (H)					
			Qd	[méd]	Dp	Cv	[máx]	[mín]
Branco (CC)	04/98	09/10	86	3,50	2,30	65,78	8,80	0,48
Madeira (FVA)	05/97	10/10	71	16,06	4,21	26,24	22,35	7,81
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	5,31	2,35	44,21	9,63	1,50
Purus (LB)	10/96	10/10	58	13,75	6,18	44,94	20,57	4,09
Solimões (MN)	03/95	11/10	75	14,00	3,75	26,78	19,27	4,76
Amazonas (OB)	03/95	12/10	80	4,95	2,35	47,55	8,50	0,25
Solimões (PV)	06/95	12/10	87	9,09	4,37	48,05	16,82	1,64
Negro (SR)	07/96	12/10	56	7,18	1,77	24,72	10,55	3,57
Solimões (TN)	10/95	10/10	83	8,06	3,12	38,71	13,06	0,69

Qd: Quantidade de dados [méd]: Concentração média (m) Dp: Desvio padrão  
Cv: Coeficiente de variação [máx]: Concentração máxima (m) [mín]: Concentração mínima (m)

CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru;  
OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

Para a vazão (Tabela 3), observa-se que o maior valor de vazão máxima e o maior valor de vazão mínima registrada no período em estudo, foi em OB situada no rio Amazonas e o menor valor de vazão máxima foi em LB no rio Purus e o menor valor de vazão mínima está registra em CC, no rio Branco.

**Tabela 3: Valores interanuais calculados de vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010.**

Rio	Período de dados		VAZÃO (Q)					
			Qd	[méd]	Dp	Cv	[máx]	[min]
Branco (CC)	12/96	09/10	87	3478,43	2847,64	81,87	11390,00	423,70
Madeira (FVA)	05/97	10/10	71	27483,25	18660,32	67,90	59990,00	3568,00
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	11076,88	7533,17	68,01	25530,00	2458,00
Purus (LB)	10/96	10/10	58	6183,34	4092,53	66,19	11350,00	724,70
Solimões (MN)	03/95	11/10	73	101094,18	29277,75	28,96	147200,00	41590,00
Amazonas (OB)	03/95	12/10	81	177372,81	58242,42	32,84	296500,00	75200,00
Solimões (PV)	06/95	12/10	87	17227,97	11687,01	67,84	44780,00	2082,00
Negro (SR)	07/96	12/10	56	16010,95	7318,62	45,71	33779,00	3543,00
Solimões (TN)	10/95	10/10	85	35455,71	11101,29	31,31	57320,00	12060,00

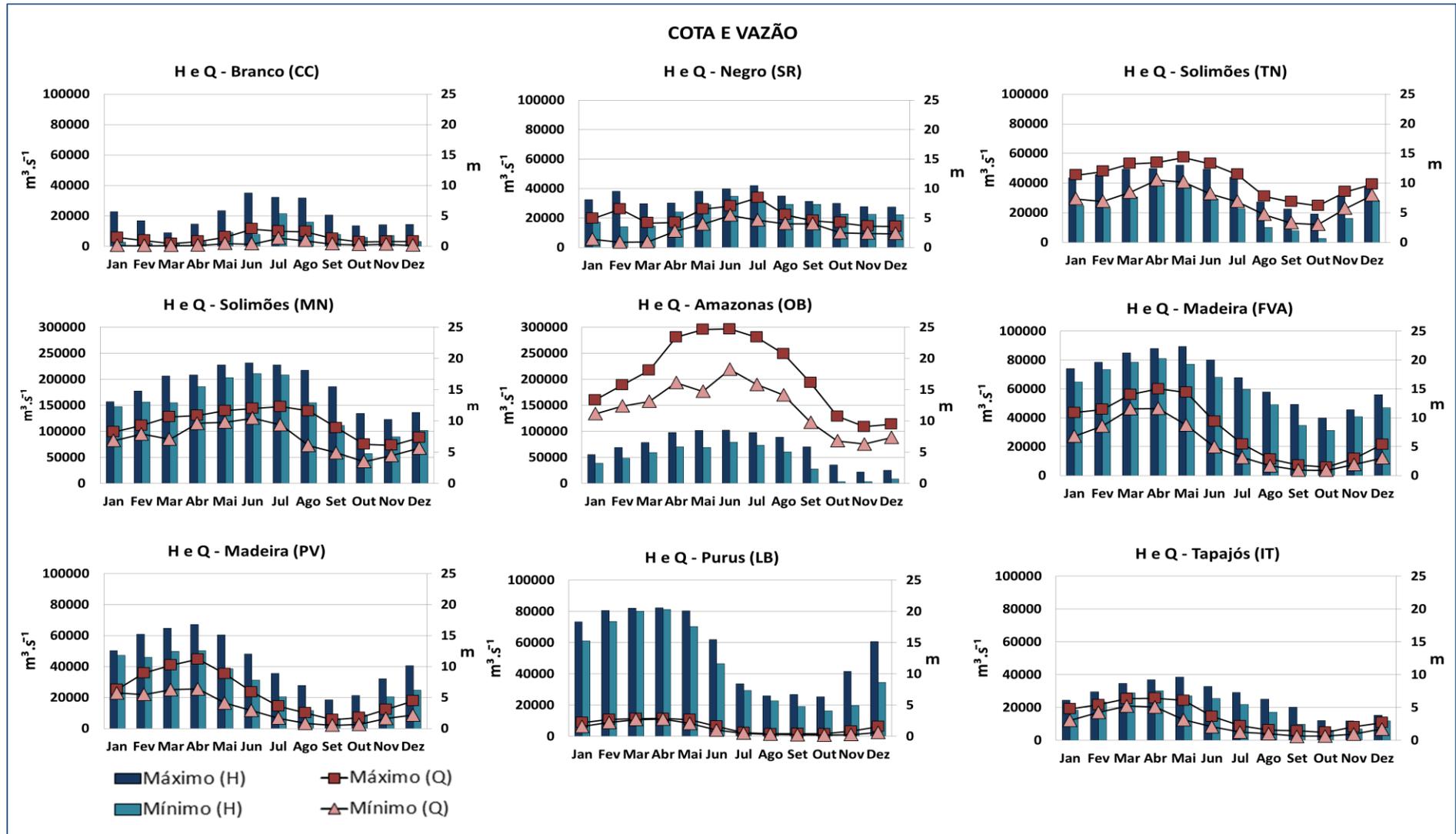
Qd: Quantidade de dados [méd]: Concentração média ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) Dp: Desvio padrão  
 Cv: Coeficiente de variação [máx]: Concentração máxima ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) [min]: Concentração mínima ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )

CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru;  
 OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

A Figura 12 representa a relação existente entre as médias das cotas e vazões calculadas no período de 1995 a 2010, juntamente com as concentrações médias dos elementos calculados no mesmo período. Essa Figura apresenta claramente as diferenças ambientais impostas pelos valores de cota e vazão entre as estações de coleta.

Segundo Filizola (2002), na porção da bacia situada no hemisfério norte (Bacia do rio Negro), o máximo pluviométrico é observado de maio a julho, enquanto no sul da bacia, o mesmo se observa de dezembro a março. Observa-se que a variabilidade sazonal do nível dos rios estudados, ocorre de acordo com os índices pluviométricos descritos na literatura. Na estação de CC no rio Branco e SR no rio Negro, apresentam maiores picos em junho e julho respectivamente e os menores picos para ambos em fevereiro. Nas estações do rio Solimões, TN e MN o maior pico registrado foi em maio e junho respectivamente e o menor para ambas em outubro. No rio Amazonas na estação de OB, a maior cota registrada é no mês de junho e a menor em novembro. Na estação de LB, no rio Purus o maior pico registrado está no mês de abril e o menor em outubro. No rio Madeira na estação de PV o maior pico registrado foi em abril e o menor setembro e FVA, o maior pico em maio e o menor em outubro. Na estação de IT no rio Tapajós o maior pico em maio e o menor em outubro (Figura 12).

Figura 12: Concentração máxima e mínima mensais das cotas (H) e vazões (Q) calculadas a partir da base de dados no período de 1995 a 2010



CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Quanto a variabilidade das descargas, seguindo a classificação estabelecida por Jean Rodier (1964), quatro tipos de regimes hidrológicos foram identificados (FILIZOLA, 2002):

- I. O regime tropical austral, com um só pico de cheia, normalmente acontecendo no primeiro semestre do ano calendário. Esse regime é representado pelos rios originários do hemisfério sul, como o Purus, Madeira e seus afluentes, o Xingu e o Tapajós (FILIZOLA, 2002). Na Figura 12, a maior vazão nos rios Madeira, Purus e Tapajós registrado no primeiro semestre do ano no mês de abril.
- II. O regime tropical boreal (rio Branco em particular) com um pico de cheia bem marcado no segundo semestre do ano civil (FILIZOLA, 2002). Na Figura 12, isso não ocorre, o pico máximo ocorre no fim do primeiro semestre, em junho, porém a segunda maior vazão ocorre em julho.
- III. O regime equatorial representado pelo rio Negro e também pelos rios Içá e Japurá, nos quais o pico de cheia é mais acentuado no meio do ano, sendo que por vezes observar-se até dois picos de máxima no ano (FILIZOLA, 2002). Na Figura 12, no rio Negro o maior pico foi em julho, sendo, portanto compatível com a literatura.
- IV. O regime equatorial alterado representado pelo Solimões e pelo Amazonas, que sofre a influência dos três regimes já citados anteriormente (FILIZOLA, 2002). Na Figura 12, no rio Solimões em TN a maior vazão ocorre no primeiro semestre do ano (maio), MN no segundo semestre (julho) e OB no rio Amazonas no primeiro semestre em junho.

### **5.3 Comportamento da matéria iônica dissolvida nas estações e comportamento da matéria iônica em relação as cotas e vazões**

A partir da base definitiva, calcularam-se as quantidades de íons, concentração média, desvio padrão e constante de variação dos dados registrados dos íons no período de março de 1995 a dezembro de 2010, resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5. No ANEXO I, encontram-se as Tabelas 18 a 35 que são referentes as tabelas 4 e 5, porém mais completas com os valores de vazão e o cálculo dos fluxos desses elementos em  $\text{ton.dia}^{-1}$  e  $\text{ton.ano}^{-1}$ .

A Tabela 4 apresenta as características gerais dos cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). Observa-se que as maiores concentrações médias dos elementos é representada por: (cálcio>sódio>magnésio>potássio). Segundo Carvalho (1995), nas águas fluviais, considerando valores médios mundiais, as espécies químicas dissolvidas mais abundantes em ordem decrescente são: bicarbonato, cálcio, sílica, sulfato, cloreto, sódio, magnésio, potássio,

nitrito, ferro e alumínio, logo observa-se que a média desses elementos, segue a ordem dos valores médios mundiais dados pela literatura.

**Tabela 4: Valores interanuais de cálcio, magnésio, sódio e potássio calculados a partir da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

Rios	Cálcio						Magnésio					
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv
Branco (CC)	12/96	10/10	88	1,65	0,40	24,21	12/96	10/10	88	0,82	0,18	22,19
Madeira (FVA)	05/97	10/10	71	5,56	1,92	34,44	05/97	10/10	71	1,96	0,60	30,72
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	1,61	2,19	136,41	10/97	12/10	69	0,60	0,32	53,71
Purus (LB)	10/96	10/10	62	6,06	3,16	52,18	10/96	10/10	62	1,23	0,61	49,85
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	10,11	2,41	23,87	03/95	11/10	80	1,38	0,29	21,08
Solimões (TN)	10/95	10/10	84	20,19	4,24	21,00	10/95	10/10	84	2,37	0,56	23,81
Amazonas (OB)	03/95	12/10	81	6,00	1,83	30,46	03/95	12/10	81	1,07	0,34	31,55
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	8,46	3,08	36,39	06/95	12/10	87	2,72	0,89	32,56
Negro (SR)	07/96	12/10	60	0,43	0,20	46,27	07/96	12/10	60	0,14	0,06	46,57

Rios	Sódio						Potássio					
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv
Branco (CC)	12/96	10/10	88	2,40	0,91	38,08	12/96	10/10	88	1,50	0,56	37,62
Madeira (FVA)	05/97	10/10	70	2,73	1,36	49,75	05/97	10/10	70	1,42	0,32	22,64
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	1,01	2,00	197,32	10/97	12/10	69	1,00	0,90	89,75
Purus (LB)	10/96	10/10	62	1,79	0,78	43,50	10/96	10/10	62	1,13	0,29	25,81
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	3,85	1,45	37,81	03/95	11/10	80	0,98	0,30	30,31
Solimões (TN)	10/95	10/10	84	8,13	3,23	39,69	10/95	10/10	83	1,30	0,22	16,95
Amazonas (OB)	03/95	12/10	80	2,19	0,97	44,10	03/95	12/10	80	0,98	0,36	36,95
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	2,92	1,18	40,63	06/95	12/10	87	1,51	0,24	15,81
Negro (SR)	07/96	12/10	54	0,69	0,89	128,38	07/96	12/10	54	0,44	0,32	71,66

**Qd:** Quantidade de dados      **[méd]:** Concentração média (mg.L<sup>-1</sup>)      **Dp:** Desvio padrão  
**Cv:** Coeficiente de variação      **máx]:** Concentração máxima (mg.L<sup>-1</sup>)      **[min]:** Concentração mínima (mg.L<sup>-1</sup>)

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

A maior concentração de cálcio se encontra na estação TN no rio Solimões e a estação SR no rio Negro a menor concentração do elemento. Para magnésio, a estação de PV no rio Madeira apresentou maior concentração e em SR a menor do elemento. A estação TN apresenta maior concentração de sódio e SR a menor concentração do elemento. Para potássio na estação de PV apresenta a maior concentração e SR a menor concentração do elemento (Tabela 3).

A Tabela 5 apresenta as características gerais dos ânions (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Cl<sup>-</sup>) e o cátion (Si). As maiores concentrações médias dos elementos é representada por: (bicarbonato>silício>sulfato>cloreto). Esses elementos também seguem a media mundial dados por Carvalho, (1995).

**Tabela 5: Valores interanuais de bicarbonato, cloreto, sulfato e silício calculados a partir da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

Rios	Bicarbonatos						Cloreto					
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv
Branco (CC)	12/96	10/10	83	13,33	5,47	41,02	12/96	10/10	83	0,86	0,40	46,20
Madeira (FVA)	05/97	10/10	68	23,34	7,05	30,22	05/97	10/10	69	0,94	0,60	63,96
Tapajós (IT)	10/97	10/10	63	8,69	4,01	46,17	10/97	10/10	66	0,86	1,66	192,57
Purus (LB)	10/96	10/10	61	21,72	12,75	58,73	10/96	10/10	61	0,53	0,42	78,17
Solimões (MN)	03/95	11/10	79	36,61	8,54	23,33	03/95	11/10	80	4,20	2,25	53,46
Solimões (TN)	04/97	10/10	74	64,51	12,55	19,46	10/95	10/10	75	8,24	3,42	41,54
Amazonas (OB)	03/95	12/10	74	23,04	6,41	27,84	03/95	12/10	76	2,28	1,80	78,89
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	32,12	9,79	30,49	06/95	12/10	87	0,98	0,67	68,17
Negro (SR)	10/06	12/10	29	1,17	1,23	105,29	07/96	12/10	51	0,31	0,29	93,86

Rios	Sulfatos						Silício					
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv
Branco (CC)	12/96	10/10	84	0,65	0,91	140,62	12/96	05/10	83	6,45	1,08	16,76
Madeira (FVA)	05/97	10/10	69	5,17	3,96	76,55	05/97	10/10	60	4,39	0,79	18,02
Tapajós (IT)	10/97	10/10	63	0,30	0,56	182,50	10/97	04/10	61	4,25	0,55	13,02
Purus (LB)	10/96	10/10	61	2,24	1,60	71,46	10/96	03/09	48	6,34	2,43	38,40
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	4,32	2,00	46,29	03/95	10/08	69	4,35	0,64	14,77
Solimões (TN)	10/95	10/10	75	7,75	3,71	47,91	10/95	03/09	80	5,94	2,21	37,24
Amazonas (OB)	03/95	12/10	76	3,07	1,58	51,52	03/95	06/10	75	4,36	1,30	29,72
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	9,70	5,55	57,17	06/95	11/09	74	4,56	0,86	18,85
Negro (SR)	07/96	12/10	51	0,22	0,42	187,76	07/96	07/08	48	1,81	0,38	21,11

**Qd:** Quantidade de dados      **[méd]:** Concentração média (mg.L<sup>-1</sup>)      **Dp:** Desvio padrão  
**Cv:** Coeficiente de variação      **máx]:** Concentração máxima (mg.L<sup>-1</sup>)      **[min]:** Concentração mínima (mg.L<sup>-1</sup>)

**CC** – Caracará; **FVA** – Fazenda Vista Alegre; **IT** – Itaituba; **LB** – Lábrea; **MN** – Manacapuru;  
**OB** – Óbidos; **PV** – Porto Velho; **SR** – Serrinha; **TN** – Tabatinga+Nazareth

Os bicarbonatos apresentam maior concentração na estação TN no rio Solimões e menor concentração na estação de SR no rio Negro. Vale ressaltar que em comparação com os outros elementos, os bicarbonatos apresentam as maiores concentrações em todas as estações com exceção de SR, a qual a maior concentração é de Si. Os cloretos apresentam a maior concentração na estação TN no rio Solimões e a menor concentração na estação de SR no rio Negro. Para os sulfatos, a estação PV no rio Madeira apresentou maior concentração e em SR a menor concentração do elemento. Os silícios apresentam maiores concentrações na estação CC no rio Branco e na estação SR no rio Negro a menor concentração do elemento (Tabela 5).

Em ordem decrescente as concentrações dos elementos estudados são: (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Ca<sup>+</sup> > Si > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Na<sup>+</sup> > Cl<sup>-</sup> > Mg<sup>2+</sup> > K<sup>+</sup>) seguem a ordem dada por Carvalho, (1995) com exceção do cloreto e sódio. De modo geral, quatro elementos (Ca<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>) possuem as

maiores concentrações na estação de TN no Solimões, três elementos ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $SO_4^{2-}$ ) em PV no Madeira e um elemento (Si) em LB no Purus. A estação de SR no rio Negro apresenta as menores concentrações de todos os elementos. Portanto, observa-se que a maioria das maiores concentrações dos elementos estudados, apresenta-se nos rios de água branca (Solimões, Madeira e Purus) e as menores no rio de água preta (Negro) seguido do rio de água clara (Tapajós), que é de se esperar, visto que Gibbs (1967) diz que os rios de águas brancas possuem elevada carga de sedimentos em suspensão, os de águas pretas, são pobres em sólidos dissolvidos e em suspensão, e os de águas claras apresentam pouco material em suspensão, porém Gibbs (1967) diz que a concentração de sódio e potássio é muito maior em águas pretas que nas brancas, o que não se observou nesse estudo.

A Figura 13 e Figura 14 mostram as concentrações médias mensais calculadas a partir da base de dados definitiva para cada elemento. De modo geral essas figuras mostram que a predominância, tanto dos cátions como dos ânions, entre as estações são diferenciados, além do comportamento ao longo do ano, sendo influenciados pelo regime hidrológico. Na Figura 13, cálcio apresenta maior concentração em TN e MN e a menor em SR. Magnésio, as maiores concentrações em TN e PV e em SR a menor concentração. O sódio possui as maiores concentrações em TN e MN e em SR a menor. Para potássio as maiores concentrações em SR, IT e PV. A Figura de 14 mostra que em TN e MN apresentam as maiores concentrações de bicarbonatos, no primeiro semestre do ano e PV no segundo semestre, e em SR a menor concentração. Para os cloretos, as maiores concentrações encontram-se em TN e MN, enquanto as menores em SR, IT e LB. Para Sulfatos as maiores concentrações em TN e PV, já em SR as menores concentrações. Para silício as maiores concentrações estão em CC, LB e TN e as menores em SR.

Figura 13: Média interanual mensal dos elementos cálcio, magnésio sódio e potássio calculado a partir da base definitiva.

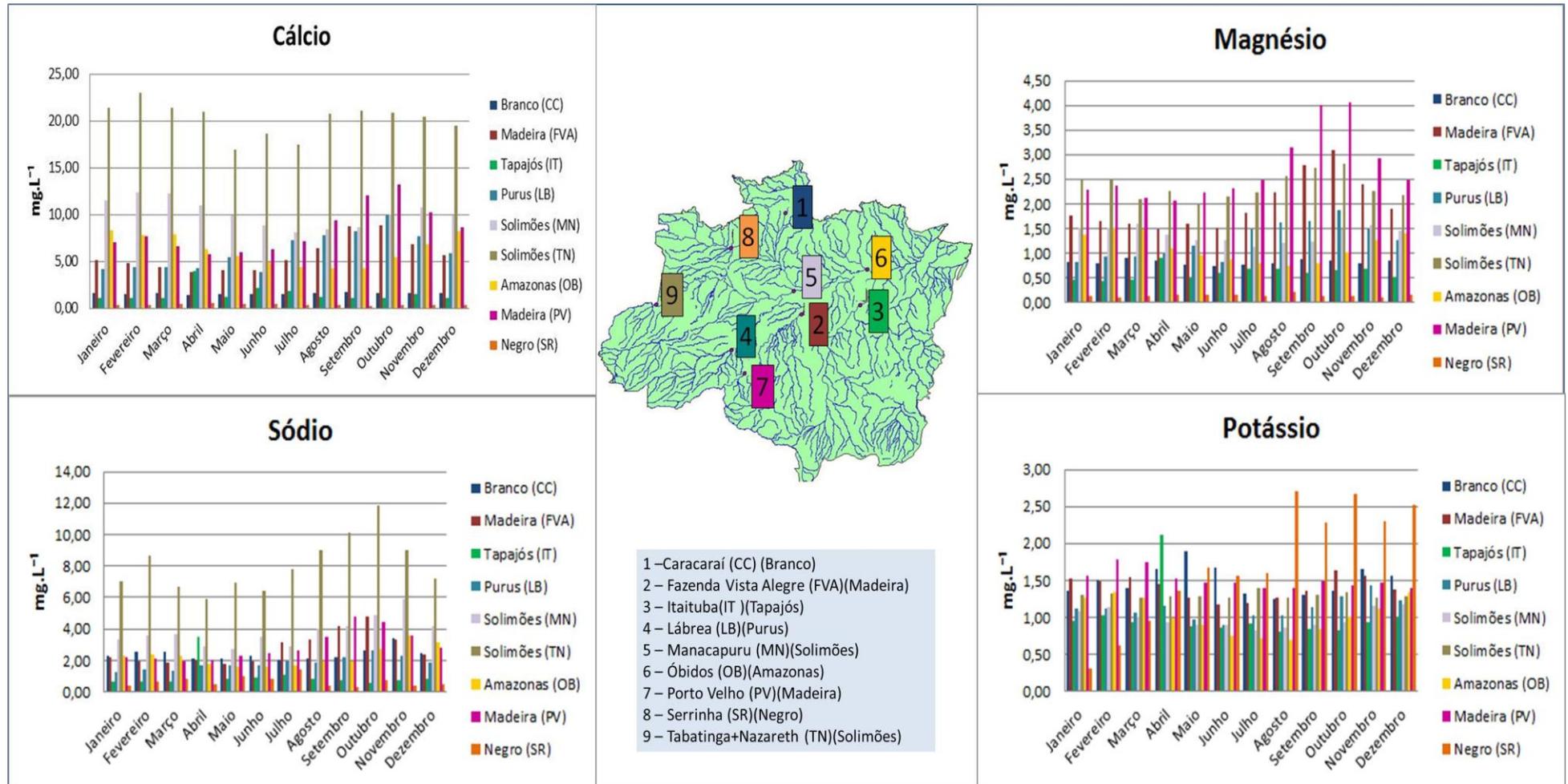
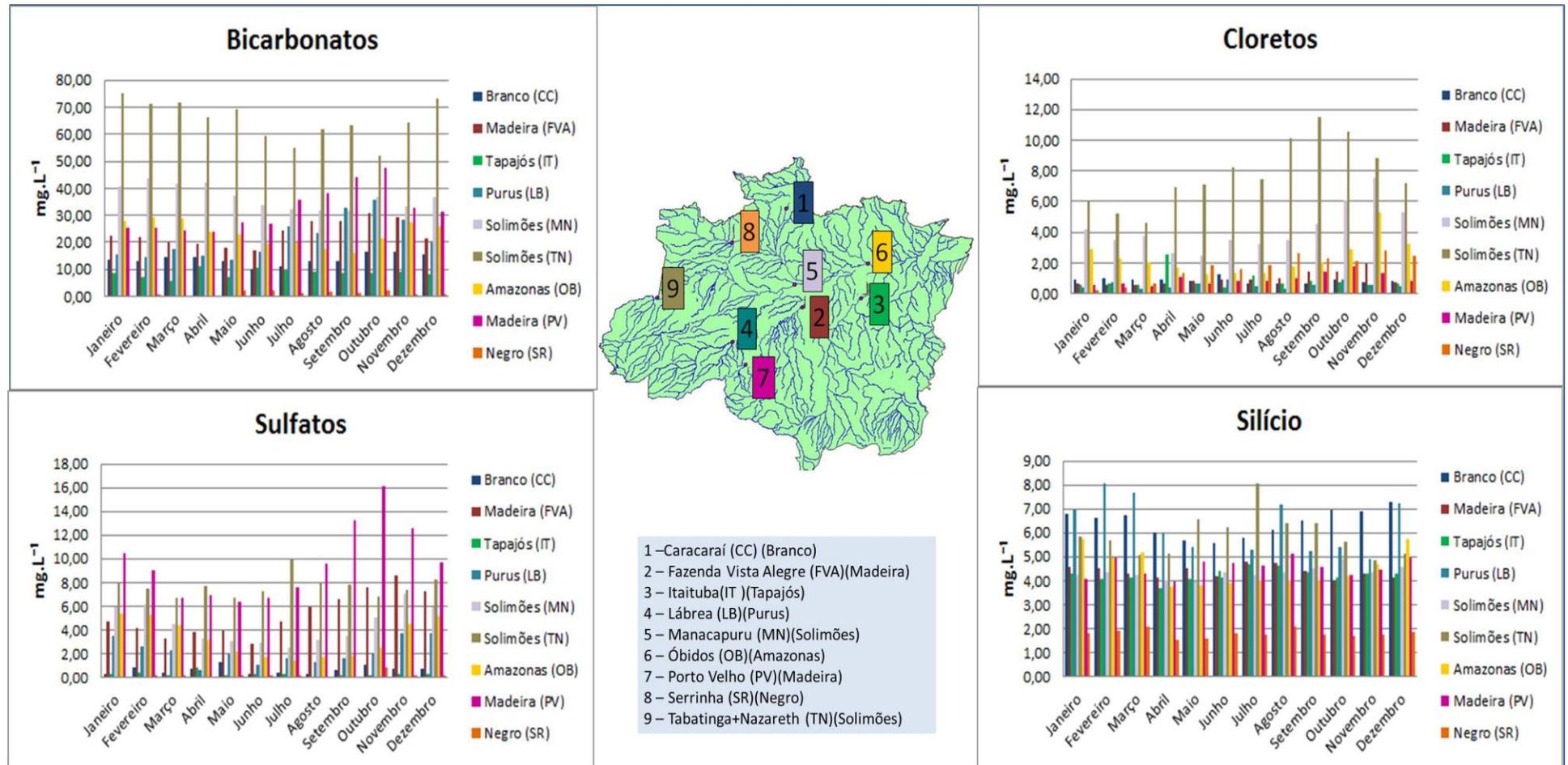


Figura 14: Média interanual mensal dos elementos bicarbonato, cloreto, sulfato e silício calculado a partir da base definitiva.



Para a observação da variação dos dados registrados a cada mês e para observar possíveis diferenças de comportamento em um mesmo período sazonal nas estações, calculou-se as concentrações médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos elementos nas estações. As Figuras de 15 a 22 e as Tabelas 6 a 13 apresentam esses resultados mostrando que, em geral, apresentam resultados aceitáveis, pois as variações com desvios padrão são menores que os valores médios, havendo exceção com registros discrepantes.

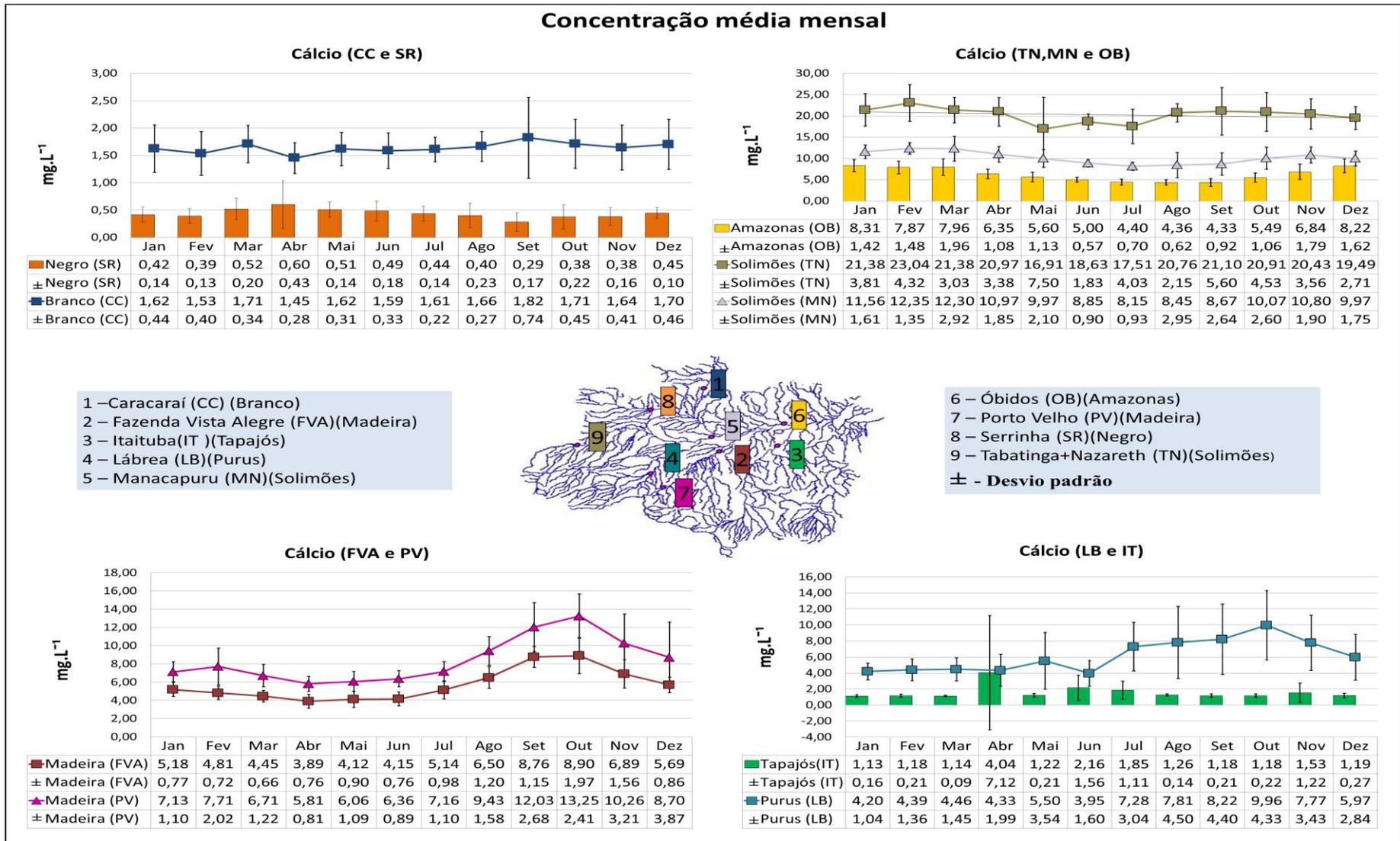
A Figura 15 representa a concentração mensal do elemento cálcio. De forma geral, a maior concentração do elemento se encontra em TN (23,04 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,29 mg.L<sup>-1</sup>), seguindo a seguinte ordem decrescente (TN, MN, PV, OB, LB, FVA, CC, todos representantes de rios de águas brancas, IT, rio de água clara e SR, rio de água preta). Para o desvio padrão, a maior variação dos valores da concentração em SR e IT está no mês de abril, e entre os representantes das águas brancas, a estação de TN em maio. A menor variação dos valores da concentração em SR está no mês de dezembro, IT em março, e entre os representantes das águas brancas a estação de CC em julho. Quanto às médias dos coeficientes de variação, na Tabela 6, estas se situam entre 8,13% e 176,39%, ambos em IT. O coeficiente de variação analisa a dispersão em termos relativa. Quanto menor for o valor do coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. De uma forma geral, se o coeficiente de variação for menor ou igual a 15% (baixa dispersão: dados homogêneos); for entre 15 e 30% (média dispersão) e maior que 30% (alta dispersão: dados heterogêneos) (RIGONATTO, 2012). Em todas as estações, existem baixas, médias e altas dispersões, sendo a grande maioria delas classificadas como médias, com exceção de SR, que apresentam a maioria de seus valores acima de 30%, é classificada como alta dispersão (dados heterogêneos). Vale ressaltar também que em OB e FVA não existem dados de alta dispersão, somente de baixa e média (Tabela 6).

**Tabela 6: Coeficiente de variação para o elemento cálcio, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	CÁLCIO											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	26,88	26,18	20,04	19,44	18,90	20,59	13,97	16,31	40,73	26,28	25,01	27,07
Madeira (FVA)	14,92	15,05	14,81	19,40	21,84	18,40	19,05	18,47	13,13	22,11	22,59	15,03
Tapajós (IT)	14,06	17,55	8,13	176,39	17,05	72,24	60,16	10,85	18,13	18,67	79,47	23,03
Purus (LB)	24,90	30,96	32,41	46,00	64,41	40,40	41,77	57,61	53,50	43,45	44,22	47,66
Solimões (MN)	13,91	10,92	23,78	16,86	21,10	10,21	11,46	34,88	30,42	25,77	17,57	17,54
Solimões (TN)	17,82	18,76	14,16	16,13	44,37	9,84	23,03	10,34	26,52	21,69	17,44	13,88
Amazonas (OB)	17,04	18,76	24,63	17,04	20,17	11,46	16,00	14,15	21,20	19,38	26,21	19,66
Madeira (PV)	15,40	26,23	18,16	14,03	17,99	14,01	15,42	16,71	22,30	18,22	31,32	44,44
Negro (SR)	32,89	33,83	37,83	71,44	27,10	37,67	31,69	56,29	59,02	57,90	41,45	22,60

CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

Figura 15: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010- Ca<sup>2+</sup>



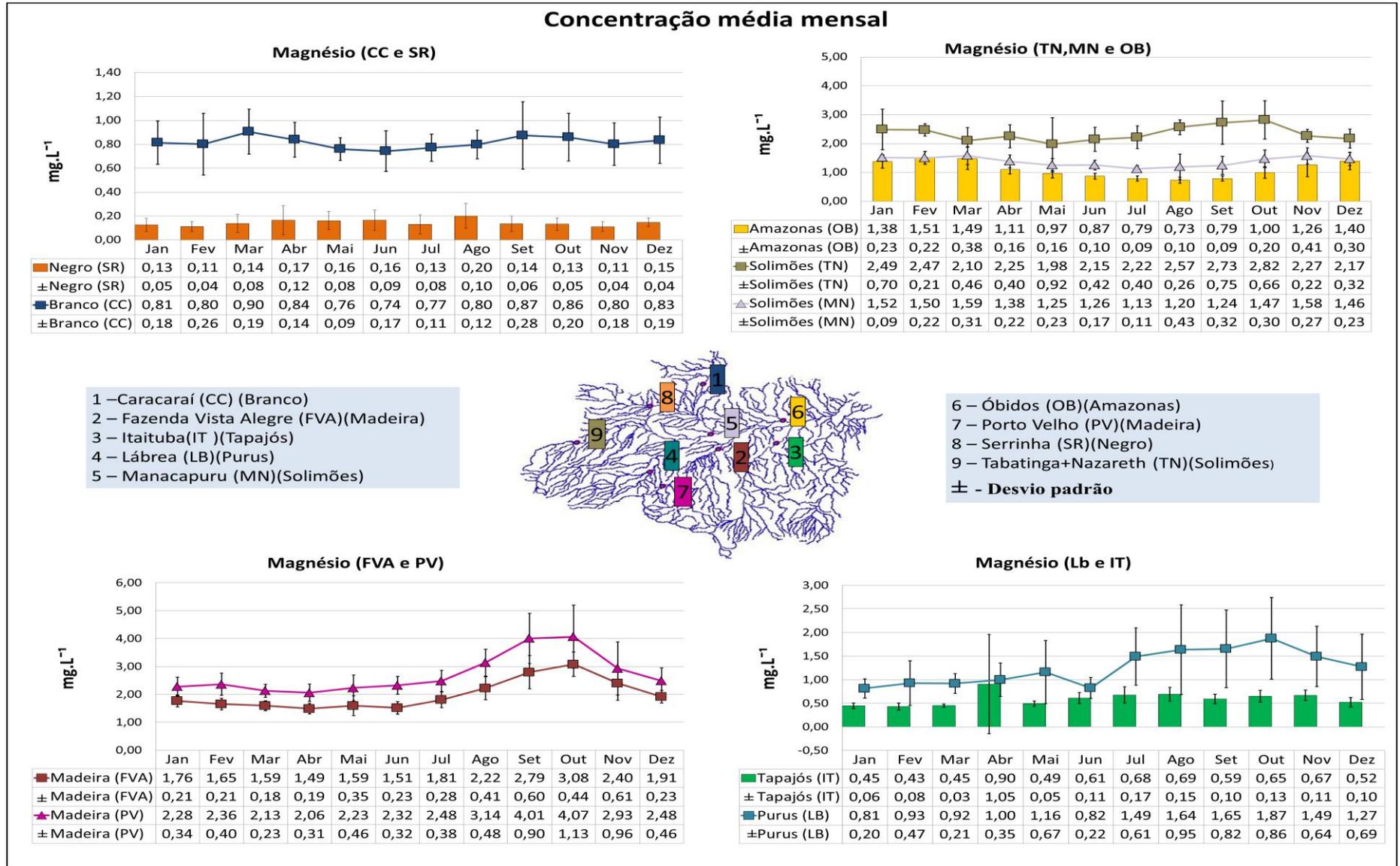
Para a concentração mensal de magnésio (Figura 16), a maior concentração do elemento se encontra em PV (4,07 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,11 mg.L<sup>-1</sup>), seguindo a seguinte ordem decrescente (PV, TN, FVA, MN, OB, LB, CC, todos representantes de rios de águas brancas, IT, rio de água clara e SR, rio de água preta). Para o desvio padrão, a maior variação dos valores da concentração em SR e IT está em abril e entre os representantes das águas brancas, a estação de PV em outubro. A menor variação dos valores da concentração em SR está no mês de dezembro, novembro e fevereiro, em IT em março, e entre os representantes das águas brancas a estação de MN em janeiro, seguido de OB em julho e setembro. Na Tabela 7, quanto às médias dos coeficientes de variação, estas se situam entre 7,47% e 116,15%, ambos em IT. Em todas as estações existem baixas, médias e altas dispersões, sendo a grande maioria delas classificadas como médias, com exceção de OB que apresenta em sua grande maioria baixa dispersão (dados homogêneos), FVA com maioria dos valores de baixa dispersão e não possui valores de alta dispersão e SR e LB ambas possuem a maioria dos valores classificadas como altas dispersões (dados heterogêneos) e não possuem valores de baixa dispersão (Tabela 7).

**Tabela 7: Coeficiente de variação para o elemento magnésio, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	MAGNÉSIO											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	22,24	32,18	20,76	17,28	12,45	22,87	14,66	14,87	32,33	23,28	22,19	23,26
Madeira (FVA)	12,19	12,49	11,10	12,91	22,00	14,94	15,46	18,54	21,34	14,21	25,50	11,82
Tapajós (IT)	12,62	18,22	7,47	116,15	11,17	18,74	25,68	21,15	16,68	19,35	15,98	18,80
Purus (LB)	25,04	51,08	22,82	35,61	57,62	26,98	40,68	58,02	49,63	46,12	42,85	54,53
Solimões (MN)	5,96	14,70	19,54	16,23	18,72	13,49	9,58	36,17	25,45	20,69	17,37	15,47
Solimões (TN)	28,29	8,65	21,72	17,83	46,41	19,63	17,91	10,10	27,61	23,48	9,86	14,94
Amazonas (OB)	16,76	14,48	25,71	14,28	16,96	11,55	11,66	14,36	11,81	19,66	32,51	21,65
Madeira (PV)	14,76	16,76	10,88	14,98	20,47	13,76	15,12	15,33	22,36	27,86	32,60	18,64
Negro (SR)	43,05	37,20	54,26	73,13	47,94	52,15	60,53	51,81	46,70	39,74	35,97	25,60

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 16: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 - Mg<sup>2+</sup>



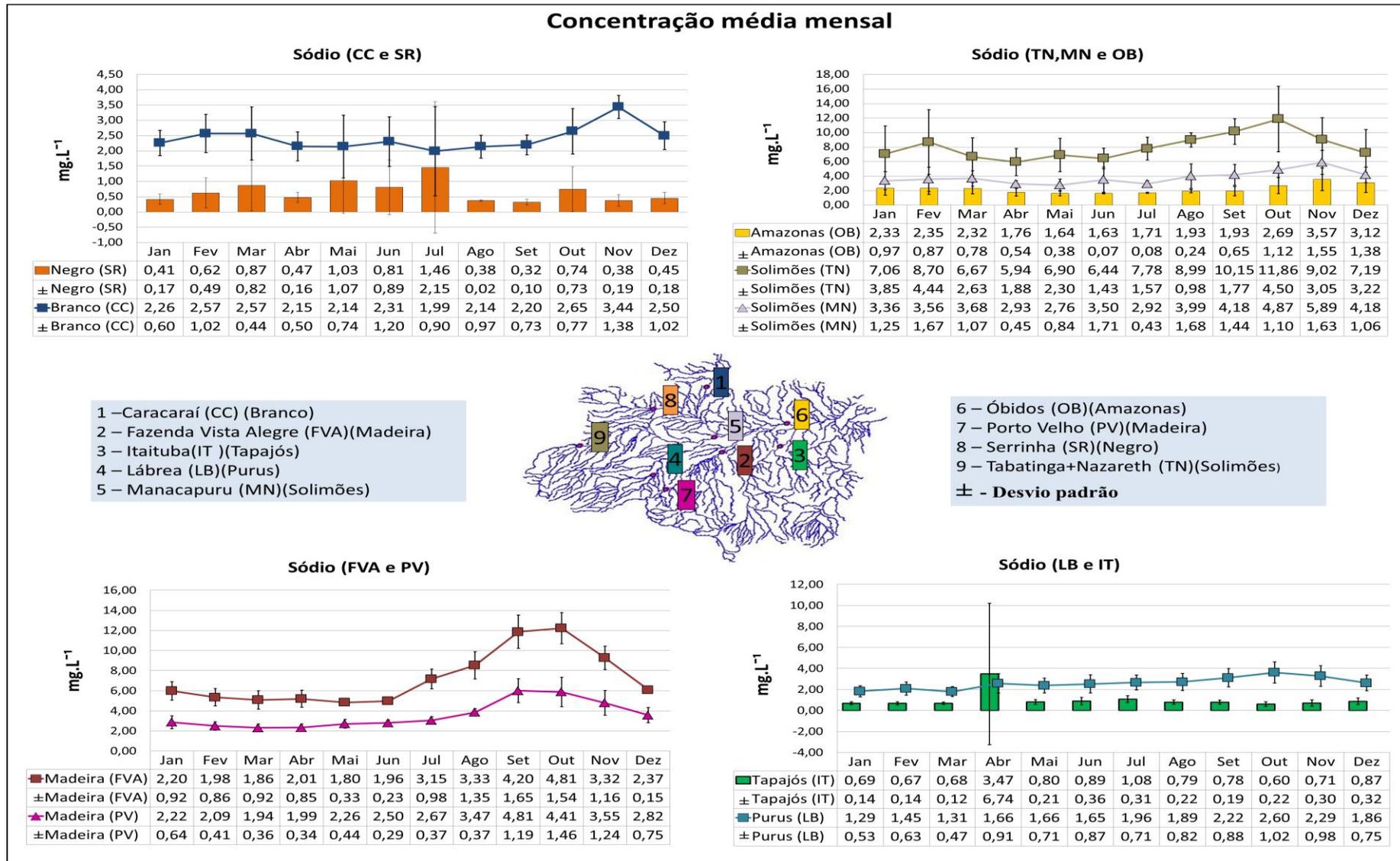
Para a concentração mensal de sódio (Figura 17), a maior concentração do elemento se encontra em TN (11,86 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,32 mg.L<sup>-1</sup>), seguindo a seguinte ordem decrescente (TN, MN, PV, FVA, CC, OB, LB, todos representantes de rios de águas brancas, IT, rio de água clara e SR, rio de água preta). Para o desvio padrão, em SR a maior concentração está em julho e a menor em setembro. Em IT a maior em abril e a menor em outubro, e das águas brancas, a maior concentração está na estação de TN em outubro e a menor em OB em junho. Quanto às médias dos coeficientes de variação, na Tabela 8, estas se situam entre 4,41% em OB e 194,26% em IT. Em todas as estações existem baixas, médias e altas dispersões, sendo a grande maioria delas classificadas como alta (dados heterogêneas), com exceção de PV que é classificada como média, devido a maioria dos seus valores apresentarem até 15% de variação, CC e IT são classificadas como alta, pois a maioria de seus valores estão acima de 30%, além de não apresentarem valores de baixa variação (dados homogênea), SR apresenta a maioria de seus valores acima de 30%, logo é classificada como alta (dados heterogêneos) e não possuem valores de variação média e LB apresenta somente valores acima de 30% ,alta dispersão (dados heterogêneos (Tabela 8).

**Tabela 8: Coeficiente de variação para o elemento sódio, calculado a partir da das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

SÓDIO												
RIOS	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	26,74	39,86	17,00	23,07	34,73	52,06	45,02	45,54	33,15	29,16	40,23	40,75
Madeira (FVA)	42,08	43,28	49,37	42,13	18,17	11,63	31,05	40,50	39,32	32,07	34,89	6,17
Tapajós (IT)	19,88	20,96	17,84	194,26	26,51	40,80	29,16	27,61	24,65	36,38	42,68	36,83
Purus (LB)	40,77	43,78	35,82	55,01	42,63	52,68	36,28	43,18	39,76	39,16	42,71	40,60
Solimões (MN)	37,07	46,71	29,02	15,47	30,49	48,84	14,88	42,12	34,45	22,51	27,74	25,44
Solimões (TN)	54,52	51,09	39,39	31,60	33,28	22,17	20,21	10,91	17,41	37,96	33,78	44,77
Amazonas (OB)	41,86	37,01	33,46	30,51	23,05	4,41	4,84	12,36	33,61	41,66	43,44	44,21
Madeira (PV)	28,78	19,65	18,67	17,21	19,57	11,67	13,93	10,75	24,78	33,09	34,89	26,47
Negro (SR)	40,34	78,51	94,57	34,30	104,16	110,32	147,66	5,57	31,28	98,72	50,60	40,70

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 17: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 - Na<sup>+</sup>



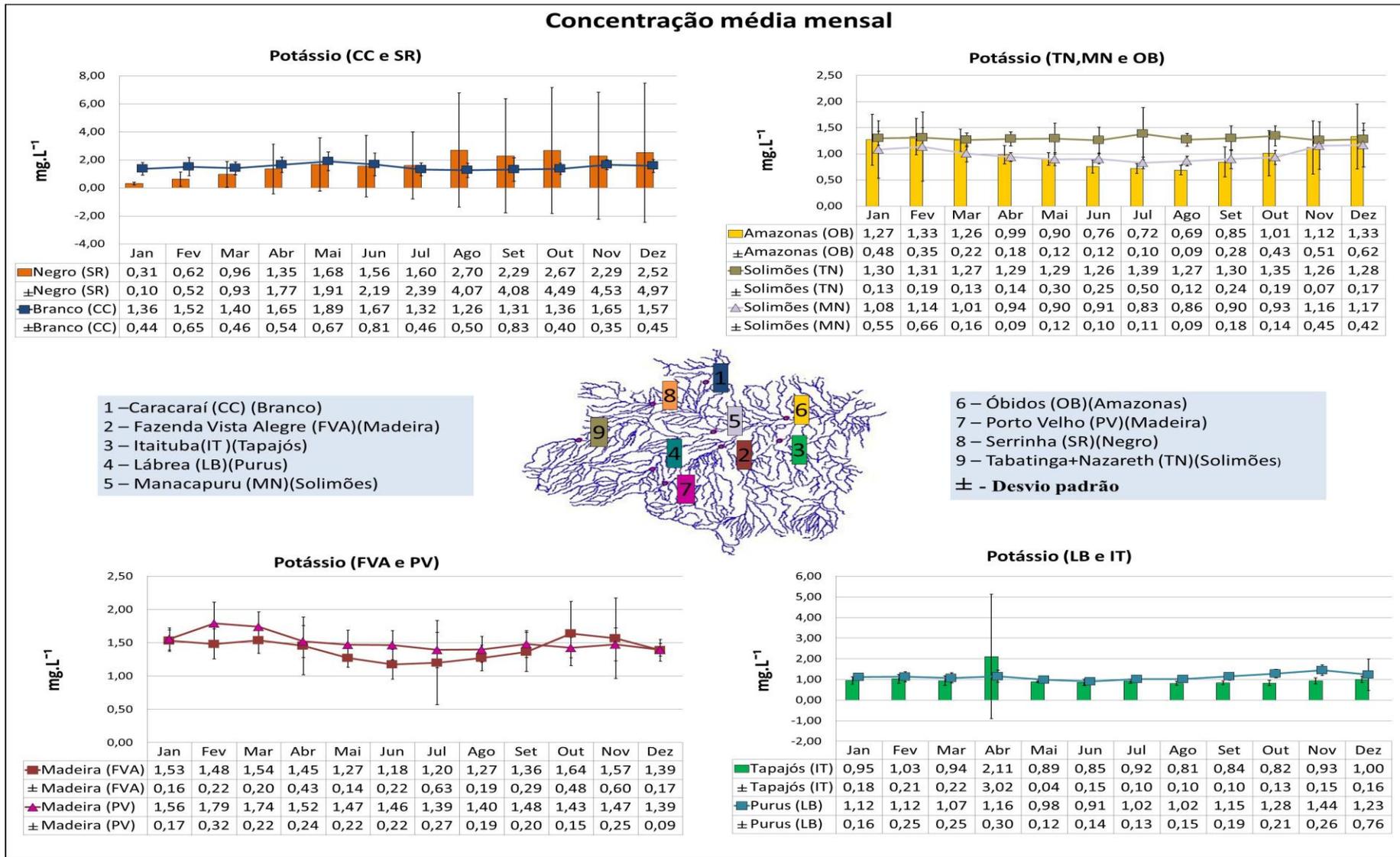
Para a concentração mensal de potássio (Figura 18), a maior e a menor concentração do elemento se encontram na estação de SR 2,70 mg.L<sup>-1</sup> e 0,31 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente seguindo a seguinte ordem decrescente SR, rio de água preta, PV, CC, FVA, TN, LB, OB e MN rios de água branca e IT rio de água clara. Para o desvio padrão, em SR a maior concentração está em dezembro e a menor concentração em janeiro. Em IT a maior concentração está no mês de abril e a menor em agosto, e das águas brancas, a maior concentração está na estação de CC em setembro e a menor na estação de TN em novembro. Quanto às médias dos coeficientes de variação, Tabelas 9, estas se situam entre 4,47% em TN e 197,76% em SR. Em todas as estações existem baixas, médias e altas dispersões, sendo que para este elemento existem quatro estações que apresentam baixa variação, valores menores ou iguais a 15% (dados homogêneos), três estações com média dispersão, valores entre 15% e 30% e três estações com alta dispersão, acima de 30%. Nas estações de TN, MN, a maioria de seus valores apresenta baixa dispersão (dados homogêneos), em PV a maioria baixa dispersão, porém não possui valores com alta dispersão. IT e LB a maioria média dispersão e FVA apresenta metade de seus valores com baixa dispersão e a outra metade com média dispersão. Em OB a maioria apresenta alta dispersão (valores heterogêneos), CC a maioria alta dispersão, porém não possui nenhum valor com baixa dispersão e SR somente valores acima de 30%, ou seja, seus dados são heterogêneos (Tabela 9).

**Tabela 9: Coeficiente de variação para o elemento potássio, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	POTÁSSIO											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	32,62	43,03	32,99	32,90	35,63	48,47	35,13	40,19	63,29	29,16	21,34	28,96
Madeira (FVA)	10,63	15,07	12,89	29,79	11,10	19,02	52,56	14,91	21,59	29,41	38,45	11,94
Tapajós (IT)	19,42	20,83	23,68	143,12	4,47	17,60	11,11	12,42	11,44	15,91	16,25	15,79
Purus (LB)	14,04	22,25	23,22	25,56	11,98	15,08	12,73	14,47	16,36	16,06	17,80	61,67
Solimões (MN)	50,74	58,24	15,64	9,12	13,71	10,77	13,51	10,62	20,33	14,49	39,14	35,74
Solimões (TN)	10,21	14,46	10,42	10,53	22,92	19,56	36,19	9,78	18,18	14,40	5,48	13,26
Amazonas (OB)	38,14	25,97	17,10	17,75	13,61	16,41	13,38	13,00	33,54	42,47	45,12	46,48
Madeira (PV)	10,64	17,81	12,67	15,87	15,07	14,96	19,03	13,83	13,63	10,69	16,80	6,71
Negro (SR)	33,60	83,21	96,67	131,01	113,86	140,85	148,77	150,89	178,05	168,00	197,76	197,19

**CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 18: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 - K<sup>+</sup>



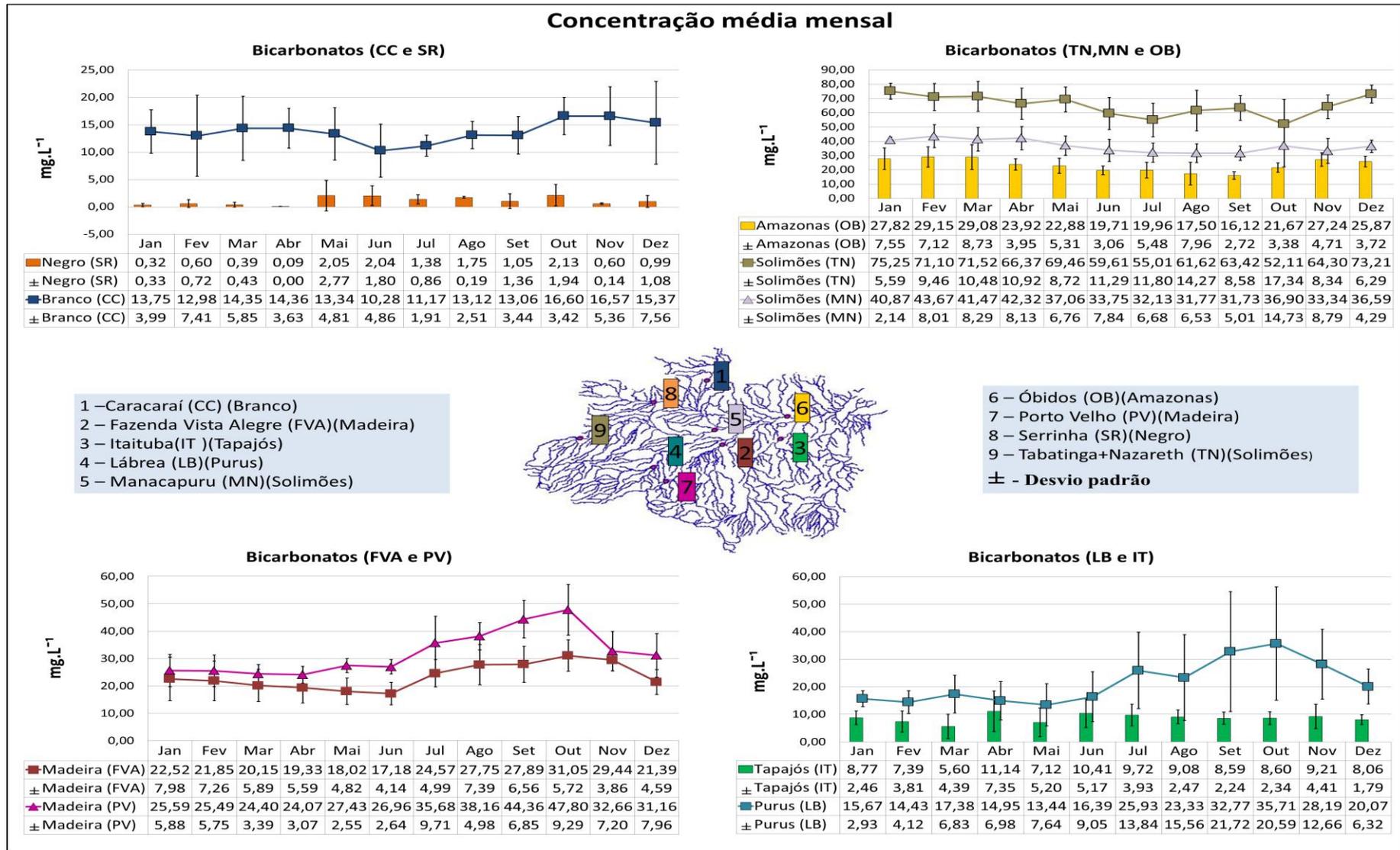
Para a concentração mensal de bicarbonato (Figura 19), a maior está TN (75,25 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,09 mg.L<sup>-1</sup>), respectivamente seguindo a seguinte ordem decrescente TN, MN, PV,OB, FVA, LB e CC rios de água branca, IT rio de água clara e SR rio de água preta. Para o desvio padrão, em SR a maior concentração está em maio e a menor concentração em abril. Em IT a maior concentração está no mês de abril e a menor em dezembro, e das águas brancas, a maior concentração está na estação de LB em setembro e a menor na estação de CC em julho. Quanto às médias dos coeficientes de variação, na Tabela 10, estas se situam entre 0% e 135,21% em SR. Em todas as estações, existem baixas, médias e altas dispersões, sendo que em TN a maioria dos valores se encontram abaixo de 15%, sendo este classificado em baixa dispersão (dados homogêneos). Em FVA, MN e OB, as maiorias de seus valores estão entre 15% e 30 %, sendo, portanto classificados em média dispersão. Em PV a maioria dos valores apresenta média dispersão, porém não apresenta valores com alta dispersão. SR a maioria sendo alta dispersão, valores acima de 30% e CC,IT, LB, possuem a maioria de seus valores em alta dispersão, não apresentando nenhum valor de baixa dispersão (Tabela 10).

**Tabela 10: Coeficiente de variação para o elemento bicarbonato, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	BICARBONATOS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	29,01	57,12	40,75	25,28	36,04	47,30	17,11	19,14	26,34	20,61	32,37	49,22
Madeira (FVA)	35,45	33,25	29,25	28,93	26,73	24,11	20,33	26,63	23,50	18,43	13,11	21,46
Tapajós (IT)	28,04	51,51	78,44	66,04	73,09	49,67	40,43	27,22	26,08	27,19	47,86	22,23
Purus (LB)	18,72	28,57	39,28	46,70	56,81	55,20	53,39	66,72	66,27	57,65	44,92	31,47
Solimões (MN)	5,24	18,33	19,99	19,21	18,24	23,24	20,80	20,55	15,79	39,91	26,37	11,71
Solimões (TN)	7,42	13,31	14,66	16,46	12,56	18,95	21,46	23,16	13,53	33,27	12,97	8,60
Amazonas (OB)	27,14	24,41	30,02	16,50	23,19	15,54	27,45	45,47	16,84	15,60	17,28	14,39
Madeira (PV)	22,98	22,54	13,90	12,75	9,31	9,80	27,22	13,04	15,45	19,44	22,04	25,54
Negro (SR)	101,89	120,17	108,88	0,00	135,21	88,27	62,25	11,10	130,57	90,96	22,72	108,92

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 19: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>



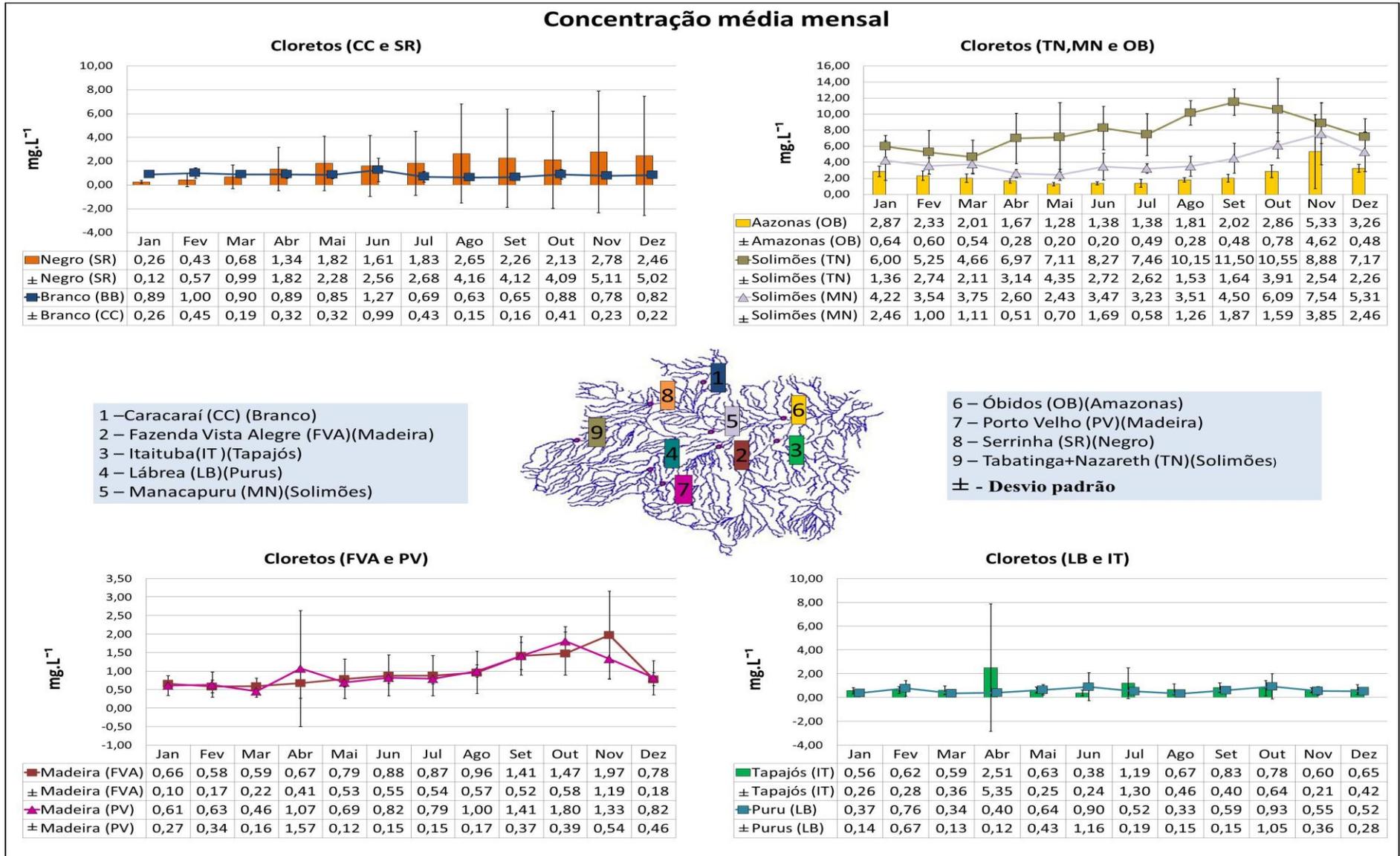
Para a concentração mensal de cloretos (Figura 20), a maior está TN (11,50 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,26 mg.L<sup>-1</sup>), respectivamente seguindo a seguinte ordem decrescente TN, MN,OB (água branca), SR (água preta), CC,FVA,PV, (água branca), IT (água clara) e LB (água branca). Para o desvio padrão, em IT se encontra o maior valor em abril e o menor na FVA em janeiro. Quanto às médias dos coeficientes de variação, na Tabela 11 estas se situam entre 14,22% em TN e 213,44 % em IT. Nenhuma das estações foi classificada como baixa dispersão (dados homogêneos), somente como média e alta dispersão (dados heterogêneos), visto que a maioria dos valores encontrados nestas foram entre 15% a 30% e acima de 30%. Em OB a maioria de seus valores são entre 15% e 30%, sendo classificada com o média dispersão. TN e FVA foram classificadas como alta dispersão (dados heterogêneos) por apresentar a maioria dos valores acima de 30%. CC, MN e PV foram classificadas como alta dispersão (dados heterogêneos) por apresentar a maioria dos valores acima de 30%, porém elas não apresentam nenhum valor que represente baixa dispersão ( $\leq 15\%$ ). Em SR,IT,LB, foram classificadas como alta dispersão, apresentam somente valores acima de 30%, não apresentam nenhum valor  $\leq 15\%$  e entre 15% e 30% (Tabela 11).

**Tabela 11: Coeficiente de variação para o elemento cloreto, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	CLORETOS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	29,24	45,35	20,77	35,88	37,54	77,76	62,66	24,73	25,21	46,05	28,96	26,81
Madeira (FVA)	14,85	28,83	36,56	61,02	68,03	62,99	62,32	59,62	36,92	39,46	60,13	22,78
Tapajós (IT)	46,37	45,68	60,86	213,44	40,68	62,25	108,91	68,15	47,98	81,97	35,80	63,87
Purus (LB)	38,30	87,69	37,98	30,38	66,95	129,13	36,32	44,02	25,86	113,85	64,76	54,19
Solimões (MN)	58,28	28,33	29,55	19,73	28,74	48,70	17,94	35,92	41,67	26,06	51,06	46,32
Solimões (TN)	22,69	52,23	45,37	45,07	61,20	32,86	35,14	15,05	14,22	37,05	28,60	31,52
Amazonas (OB)	22,47	25,85	27,00	16,73	15,66	14,34	35,24	15,45	23,98	27,34	86,66	14,84
Madeira (PV)	43,90	54,56	35,08	147,04	17,54	18,41	18,55	16,53	26,00	21,80	41,06	56,09
Negro (SR)	45,30	131,61	144,97	135,85	125,13	158,88	146,98	157,07	182,87	191,44	183,74	204,26

**CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 20: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – CI



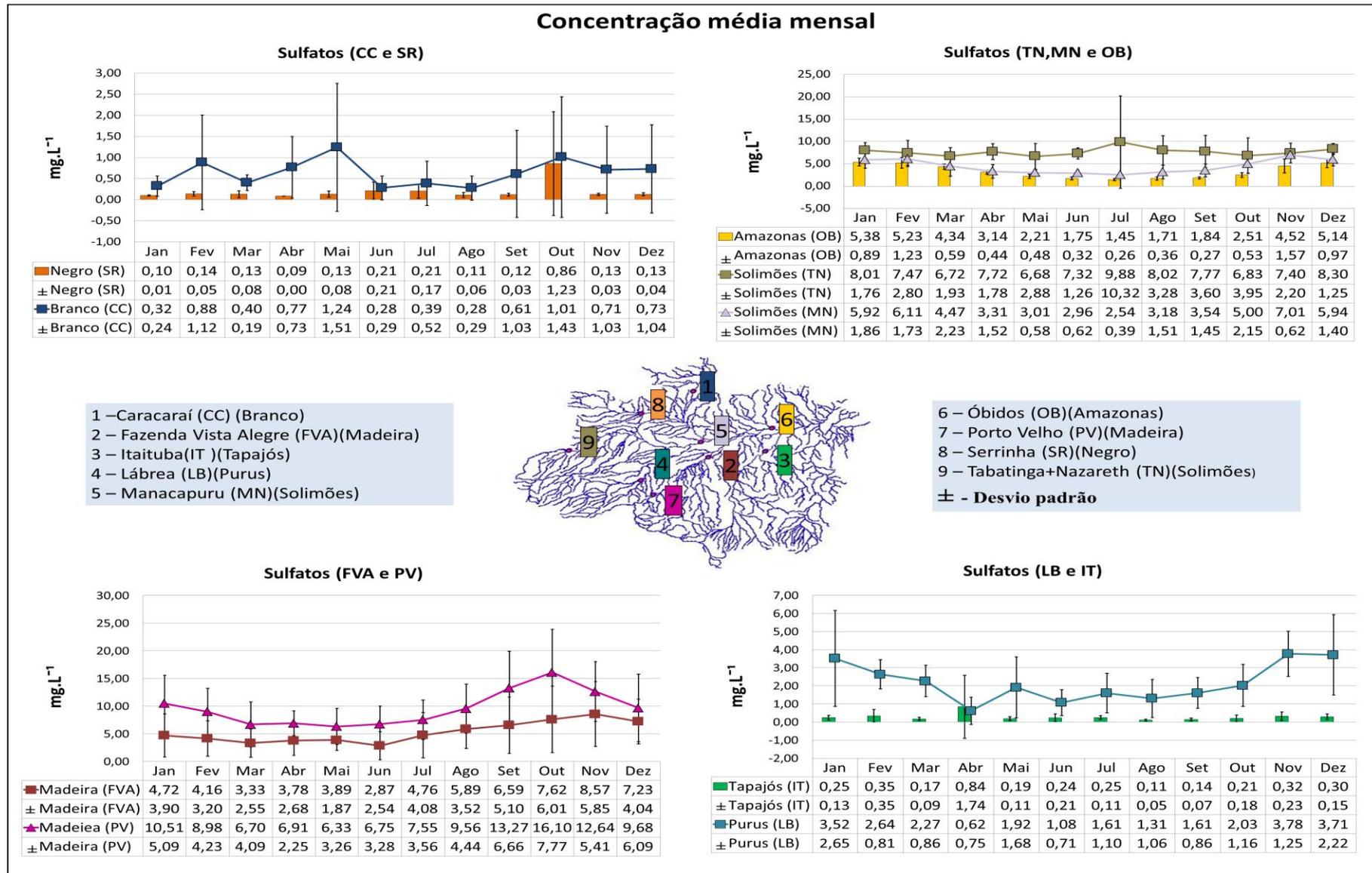
Para a concentração mensal de sulfato (Figura 21), a maior está PV (16,10 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (0,09 mg.L<sup>-1</sup>), respectivamente seguindo a seguinte ordem decrescente PV, TN, FVA, MN, OB, FVA, LB e CC rios de água branca, IT rio de água clara e SR rio de água preta. Para o desvio padrão, em TN a maior concentração está em julho e a menor concentração SR em abril. Na Tabela 12, às médias dos coeficientes de variação, estas se situam entre 0% em SR e 205,64% em IT. Nenhuma das estações foi classificada como baixa dispersão (dados homogêneos), somente como média e alta dispersão (dados heterogêneos), visto que a maioria dos valores encontrados nestas foram entre 15% a 30% e acima de 30%. Em OB a maioria de seus valores é entre 15% e 30%, sendo classificada com média dispersão. SR e MN foram classificadas como alta dispersão (dados heterogêneos) por apresentar a maioria dos valores acima de 30%. TN foi classificada como alta dispersão (dados heterogêneos) por apresentar a maioria dos valores acima de 30%, porém ela não apresenta nenhum valor que represente baixa dispersão ( $\leq 15\%$ ). Em CC, FVA, IT, PV e LB foram classificadas como alta dispersão, apresentam somente valores acima de 30%, não apresentam nenhum valor  $\leq 15\%$  e entre 15% e 30% (Tabela 12).

**Tabela 12: Coeficiente de variação para o elemento sulfato, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	SULFATOS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	74,32	126,90	46,24	95,08	122,02	101,99	135,65	102,94	169,48	141,31	144,62	143,47
Madeira (FVA)	82,55	76,75	76,74	70,87	48,00	88,67	85,69	59,84	77,51	78,84	68,18	55,85
Tapajós (IT)	52,10	99,85	53,70	205,64	55,70	84,89	44,34	47,08	50,65	88,48	72,17	50,12
Purus (LB)	75,36	30,62	38,06	121,07	87,61	65,84	68,29	80,75	53,07	57,18	32,99	59,86
Solimões (MN)	31,50	28,31	49,90	45,92	19,23	20,82	15,36	47,66	40,89	43,06	8,88	23,52
Solimões (TN)	22,02	37,54	28,68	23,10	43,06	17,16	104,43	40,91	46,30	57,85	29,70	15,09
Amazonas (OB)	16,53	23,52	13,56	13,95	21,87	18,29	17,69	21,23	14,81	21,19	34,81	18,96
Madeira (PV)	48,37	47,07	60,97	32,54	51,46	48,56	47,23	46,42	50,21	48,25	42,83	62,91
Negro (SR)	12,47	36,85	63,02	0,00	56,29	97,38	81,58	51,70	28,00	143,56	20,35	28,47

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

Figura 21: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 –  $\text{SO}_4^{2+}$



Para a concentração mensal de silício (Figura 22), a maior está LB (8,09 mg.L<sup>-1</sup>) e a menor em SR (1,54 mg.L<sup>-1</sup>), respectivamente seguindo a seguinte ordem decrescente CC, TN, LB, PV, FVA, MN e OB rios de água branca, IT rio de água clara e SR rio de água preta. Para o desvio padrão, em TN a maior concentração está em julho e a menor concentração SR em abril. Na Tabela 13, às médias dos coeficientes de variação, estas se situam entre 3,83% em FVA e 98,11% em MN. Em SR e PV apresentaram a maioria de seus valores  $\leq 15\%$ , sendo então classificados como baixa dispersão (dados homogêneos), juntamente com CC e IT, porém estas duas últimas estações, não apresentaram nenhum valor acima de 30% (dados heterogêneos). FVA e OB apresentam valores entre 15% e 30%, sendo classificados como média dispersão. TN foi classificada como alta dispersão (dados heterogêneos) por apresentar a maioria dos valores acima de 30%, assim como MN, porém essa estação apresenta somente valores acima de 30%, não apresenta nenhum valor  $\leq 15\%$  e entre 15% e 30% (Tabela 13).

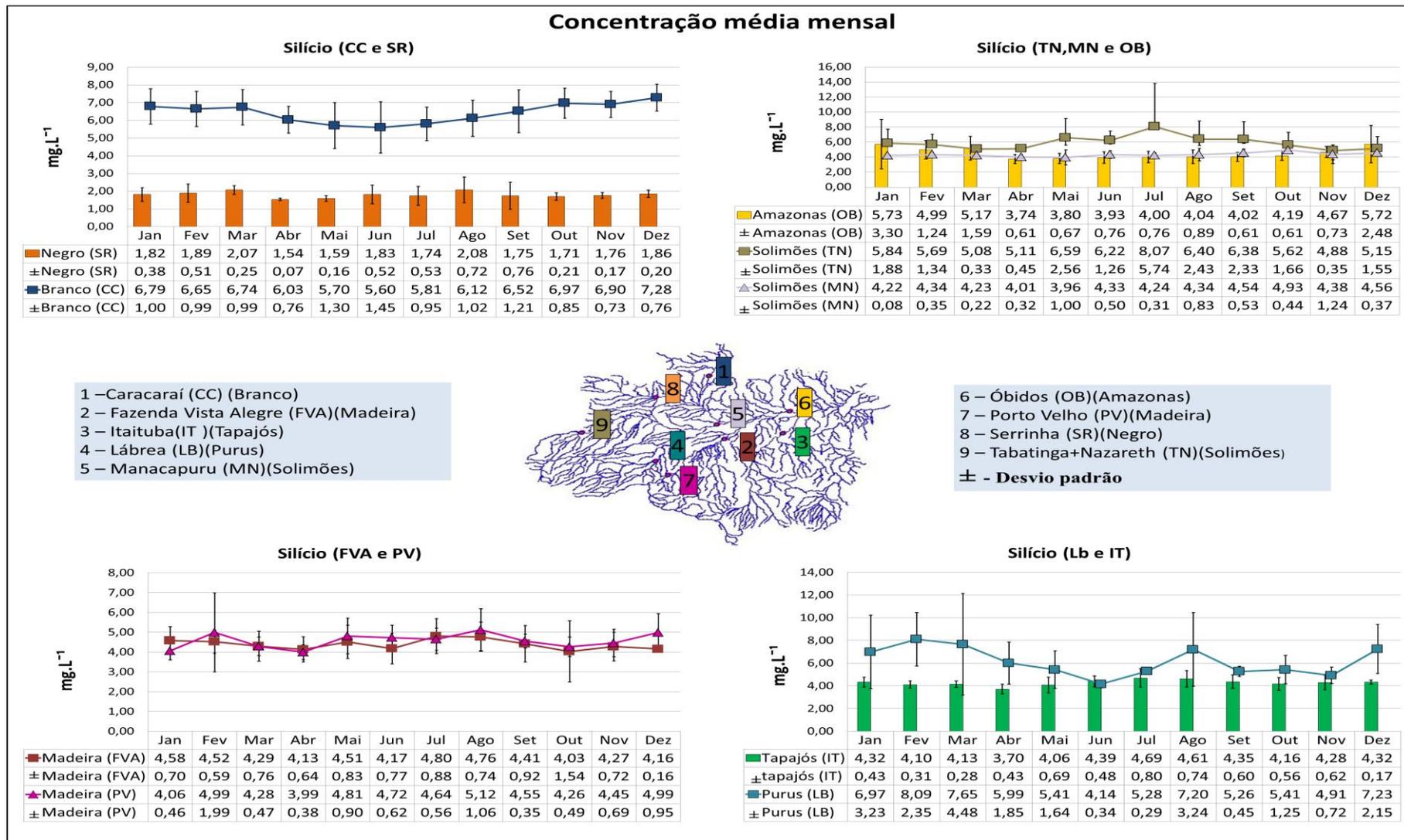
**Tabela 13 Coeficiente de variação para o elemento silício, calculado a partir das concentrações médias mensais da base de definitiva no período de 1995 a 2010.**

RIOS	SILÍCIO											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Branco (CC)	14,71	14,97	14,72	12,61	22,74	25,88	16,30	16,70	18,52	12,21	10,64	10,45
Madeira (FVA)	15,28	12,94	17,75	15,41	18,52	18,54	18,33	15,56	20,83	38,32	16,91	3,83
Tapajós (IT)	9,94	7,61	6,83	11,61	16,92	11,00	17,00	15,97	13,77	13,39	14,61	4,03
Purus (LB)	46,41	29,00	58,56	30,92	30,39	8,19	5,41	44,98	8,55	23,19	14,73	29,74
Solimões (MN)	98,11	90,90	94,53	91,71	54,00	84,73	89,74	81,62	84,71	88,75	50,01	90,99
Solimões (TN)	32,25	23,55	6,52	8,82	38,93	20,27	71,18	37,97	36,52	29,53	7,10	30,17
Amazonas (OB)	57,63	24,79	30,67	16,30	17,66	19,23	19,10	22,11	15,05	14,59	15,69	43,40
Madeira (PV)	11,28	39,95	10,99	9,42	18,69	13,17	12,04	20,64	7,65	11,58	15,55	18,99
Negro (SR)	21,13	27,22	11,99	4,27	10,06	28,71	30,48	34,92	43,55	12,32	9,39	10,60

**CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

De modo geral observa-se que em algumas estações, como IT, SR e CC, os valores de alguns desvios padrão apresentaram-se maiores que as médias e, conseqüentemente, o coeficiente de variação deram acima de 100%. Representados nas Tabelas 4 e 5 com os valores interanuais e também representados nas tabelas mensais, Tabelas 6 a 13 e nas Figuras 15 a 22. Isso se deve a variação entre valores encontrados na própria base de dados que se encontram fora do padrão em comparação com os outros medidos. Esses valores elevados podem ter origem a algum evento ocorrido na região como seca ou fortes chuvas. Assim como podemos trabalhar a possibilidade de erro do operador durante a coleta ou análise química em laboratório.

Figura 22: Cálculo da concentração média, desvio e coeficiente de variação a partir da base de dados definitiva no período de 1995 a 2010 – Si



Através das médias calculadas anteriormente das concentrações dos elementos, das cotas e vazões e com o intuito de observar a variação dos dados registrados a cada mês e as possíveis diferenças de comportamento em um mesmo período sazonal entre esses parâmetros nas estações, surgiram-se as 23 a 30 que serão detalhadas abaixo.

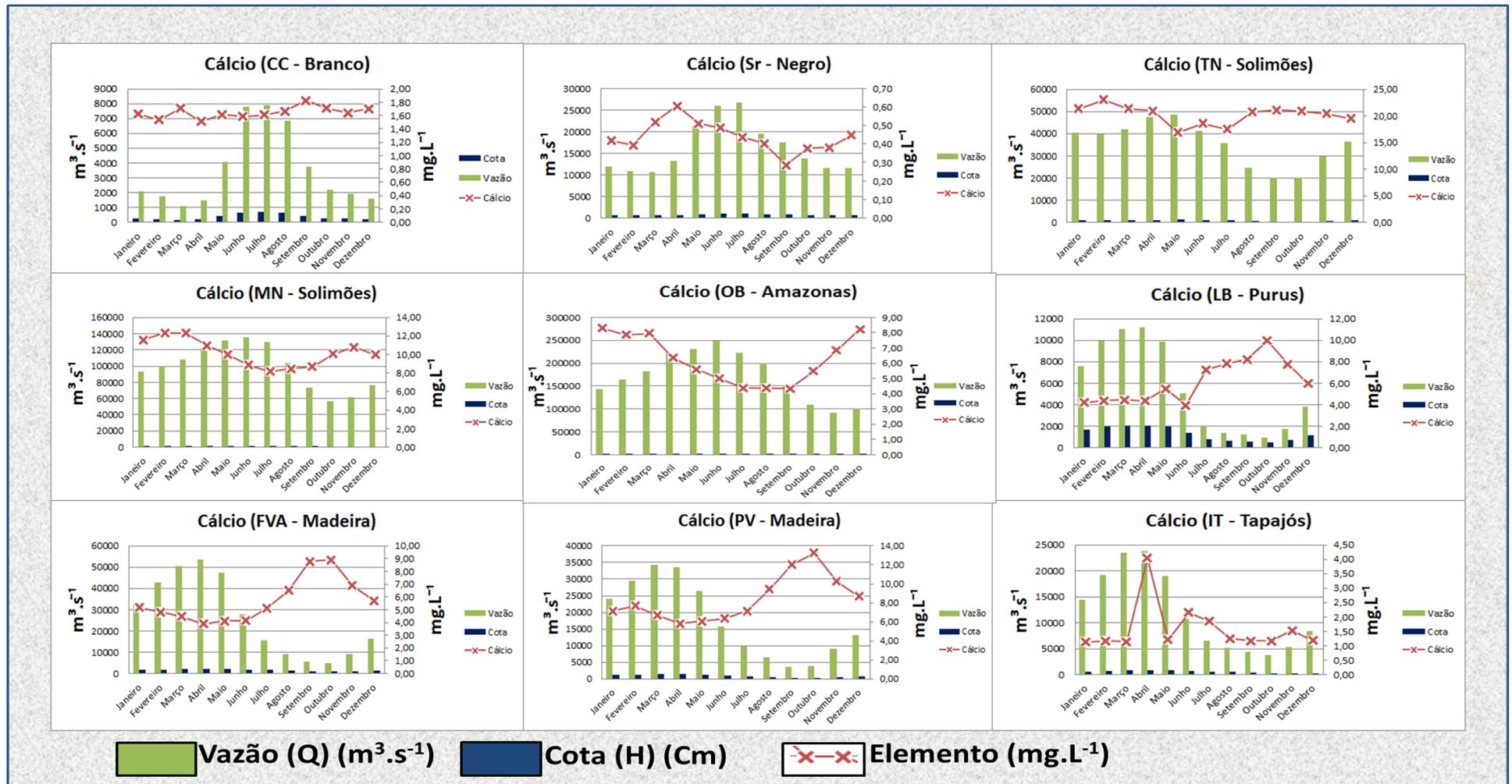
A Figura 23 representa as concentrações das médias dos cátions, cotas e vazões para cada estação. Para cálcio, na estação de CC observa-se pequenas variações de aumento e diminuição de sua concentração no decorrer de todos os meses. A concentração do elemento é independente da variação de cota e vazão. Em SR a concentração de cálcio aumenta até o mês de abril, nos meses seguintes diminui até atingir sua menor concentração em setembro, aumentando nos meses seguintes. Na estação TN, observa-se pequenas variações na concentração de cálcio. A maior concentração encontra-se no mês de fevereiro, decrescendo até maio (menor concentração), enquanto a cota e vazão aumentam no primeiro semestre do ano, diminuindo no segundo semestre. Nas estações de MN, OB, LB, PV e FVA observa-se que à medida que a cota e/ou vazão do rio vai aumentando, a concentração de cálcio vai diminuindo ou a medida que a cota e/ou vazão vai diminuindo, a concentração de cálcio vai aumentando. Esse processo é mais marcante em LB, FVA e PV. Em IT a concentração do elemento independe do aumento da cota e vazão.

Para Magnésio, observa-se que em todas as estações, o elemento aumenta com a diminuição da cota e/ou vazão. SR apresenta um aumento mais estendido em relação a cálcio, enquanto cálcio aumenta até abril, o magnésio aumenta até junho. Em CC e TN, observa-se uma leve mudança no comportamento em comparação com cálcio, quando a vazão e/ou cota atinge seu máximo, as concentrações do elemento nestas estações estão menores (Figura 24).

Para o sódio, observa-se que as estações de SR e IT são independentes do aumento da cota e/ou vazão. Assim como em magnésio, as estações de CC e TN mudaram seu comportamento, sua concentração aumenta a medida que a cota e/ou vazão diminui, o que se percebe nas outras estações (Figura 25).

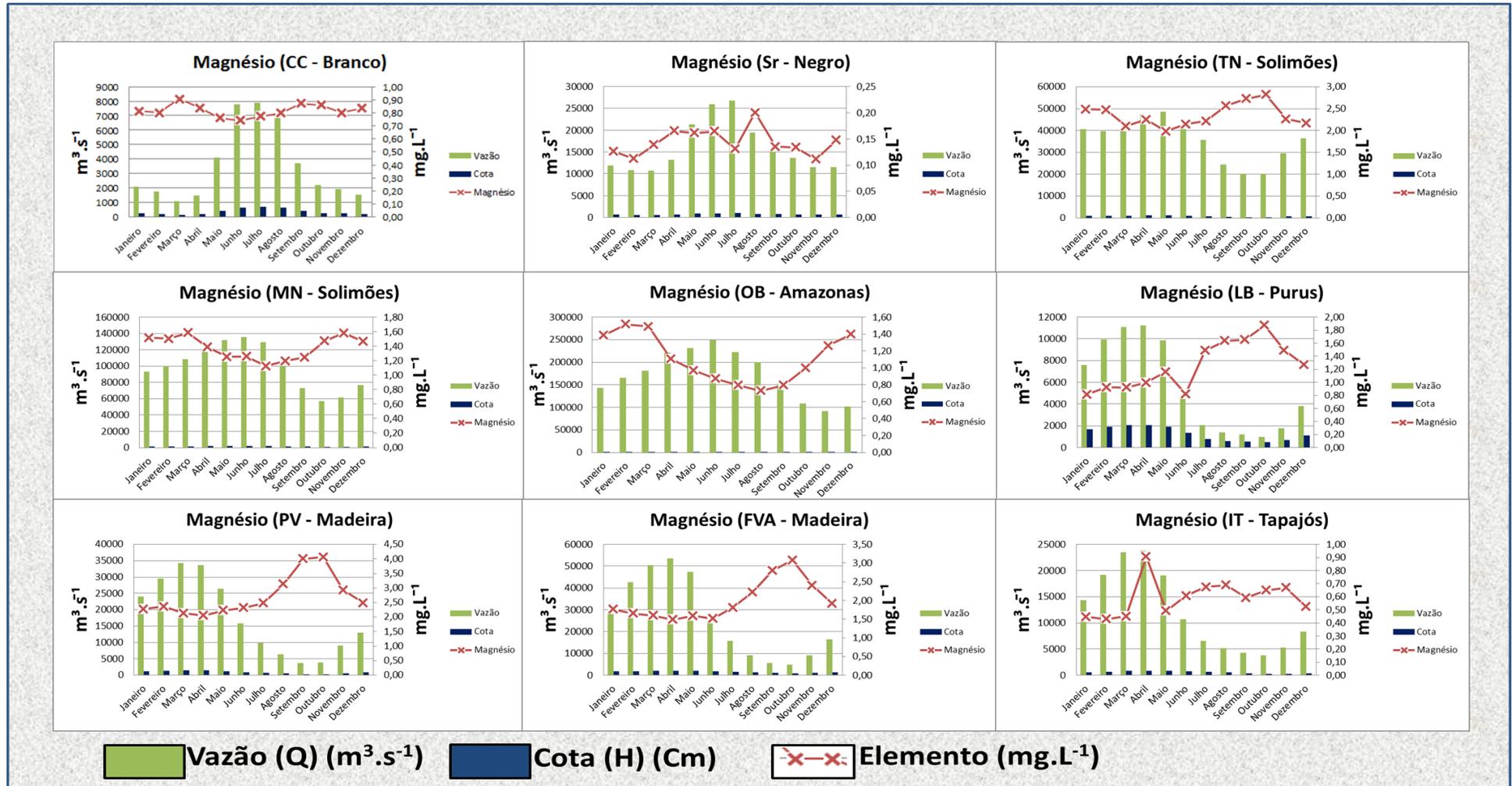
Para Potássio as estações de SR, TN e IT cresce independente das cotas e/ou vazões. Em MN, OB e FVA a concentração depende do aumento ou diminuição das cotas e/ou vazões como ocorrem para os outros elementos (cálcio, magnésio e sódio), porém esses traços não são tão marcantes quanto aos que ocorrem nos outros elementos. Em PV também houve mudança quanto ao aumento da concentração de potássio. O elemento passou a não depender das cotas e/ou vazões para seu crescimento, houve um pequeno aumento no início do primeiro semestre, depois continuou seu curso sem grandes variações (Figura 26).

Figura 23: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 –  $\text{Ca}^{2+}$ .



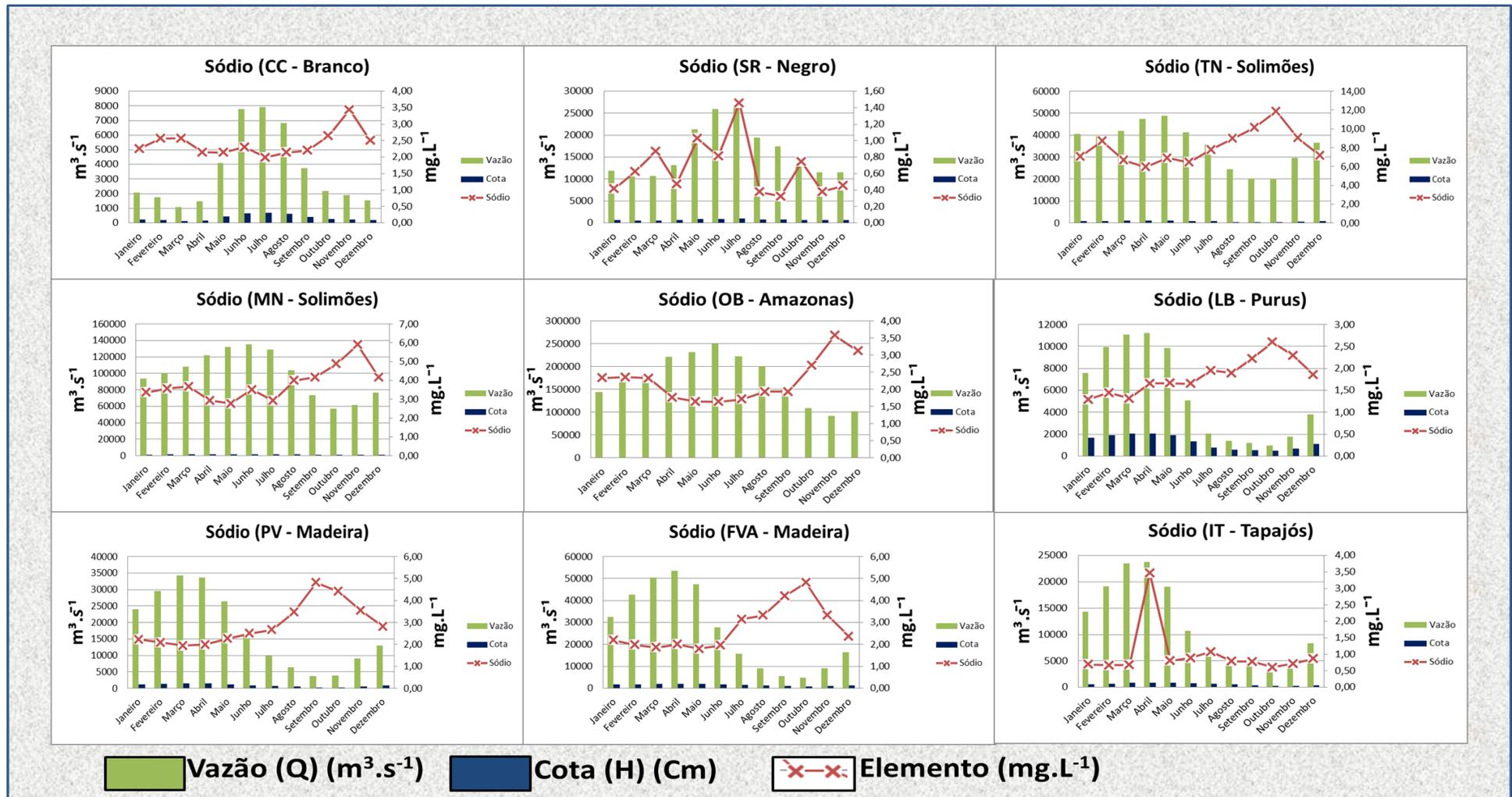
CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 24: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010-  $Mg^{2+}$ .



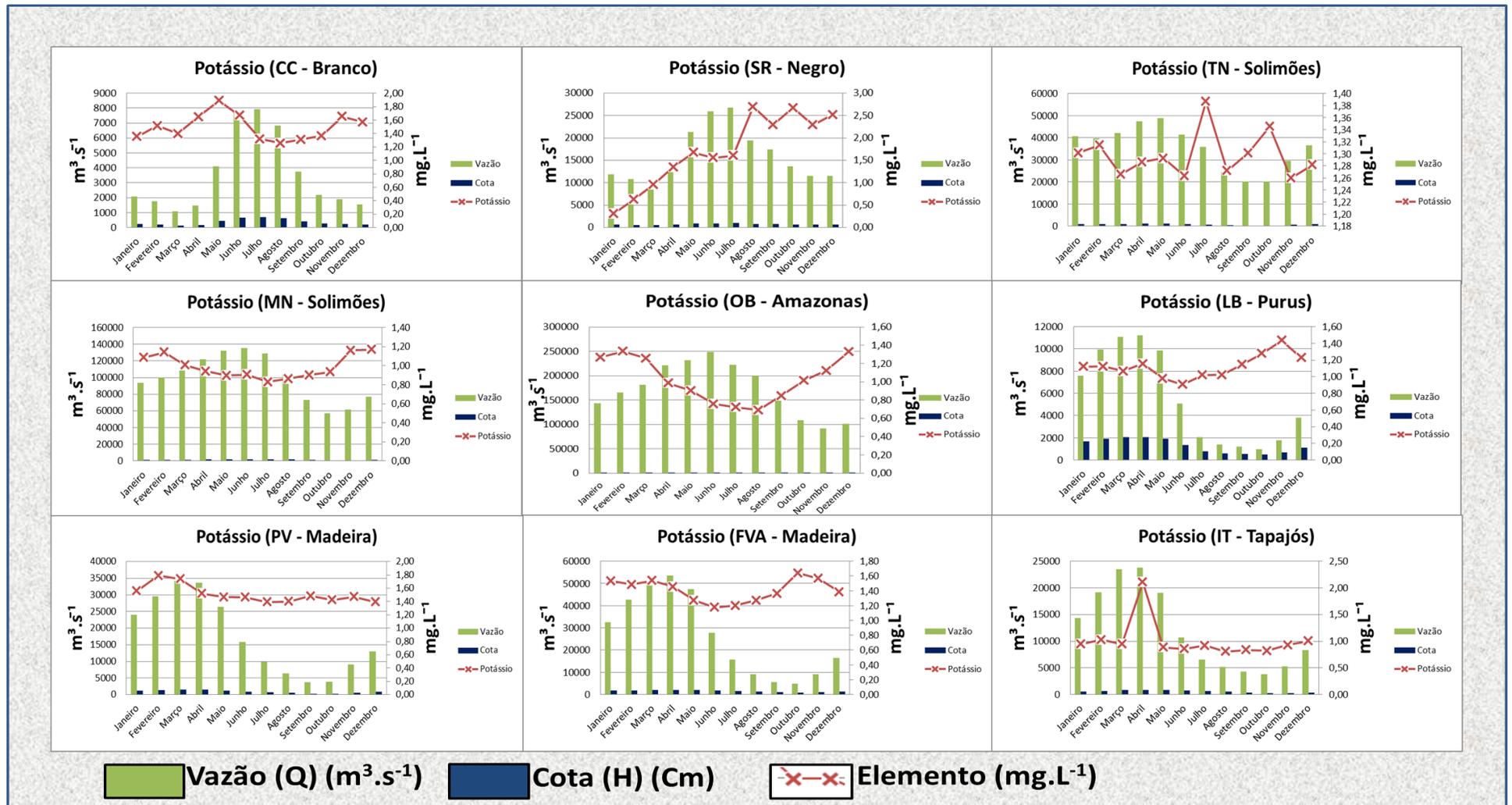
CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 25: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – Na<sup>+</sup>.



CC – Caracarái; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 26: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 –  $K^+$ .



CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

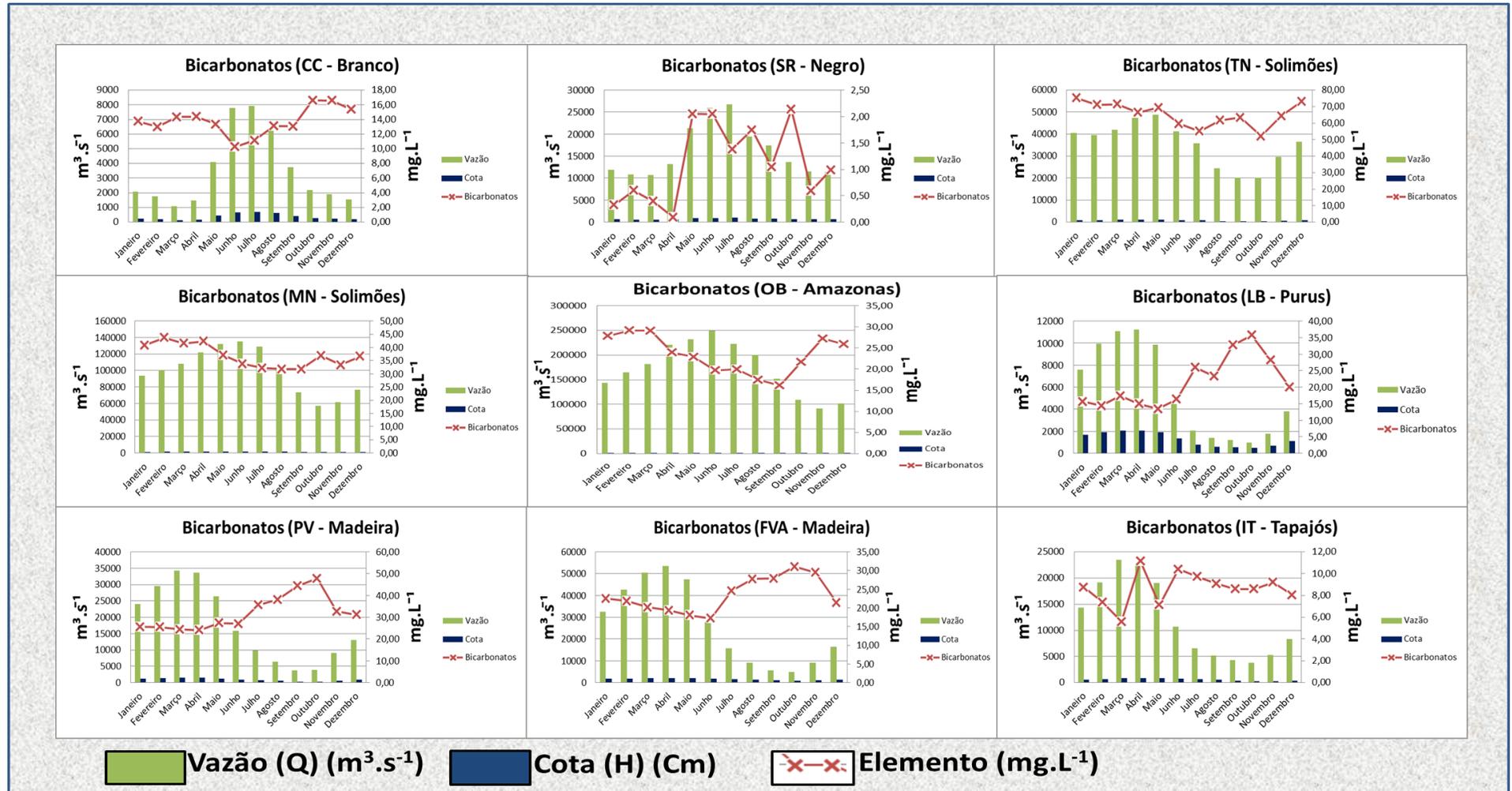
Na Figura 27, para os bicarbonatos, as estações de SR, IT e TN são independentes do aumento e ou diminuição das cotas e vazões dos rios, já as estações de CC, MN, OB, LB, PV e FVA dependem da variação das cotas e/ou vazões para seu crescimento.

Para os cloretos, nas estações de CC, TN, MN, OB, PV e FVA só aumentam suas concentrações, na medida em que as cotas e ou vazões em seus respectivos rios diminuam, já as demais estações SR, LB e IT, são independentes desse aumento e ou diminuição de cotas e vazões (Figura 28).

Para os sulfatos, nas estações de MN, OB, PV e FVA as concentrações do elemento dependem da variação das cotas e/ou vazões para seu crescimento. As estações de CC, SR e IT, continuam não dependendo da variação de cota e vazão para seu crescimento, já as estações de LB e TN passam a não depender das variações das cotas e/ou vazões (Figura 29).

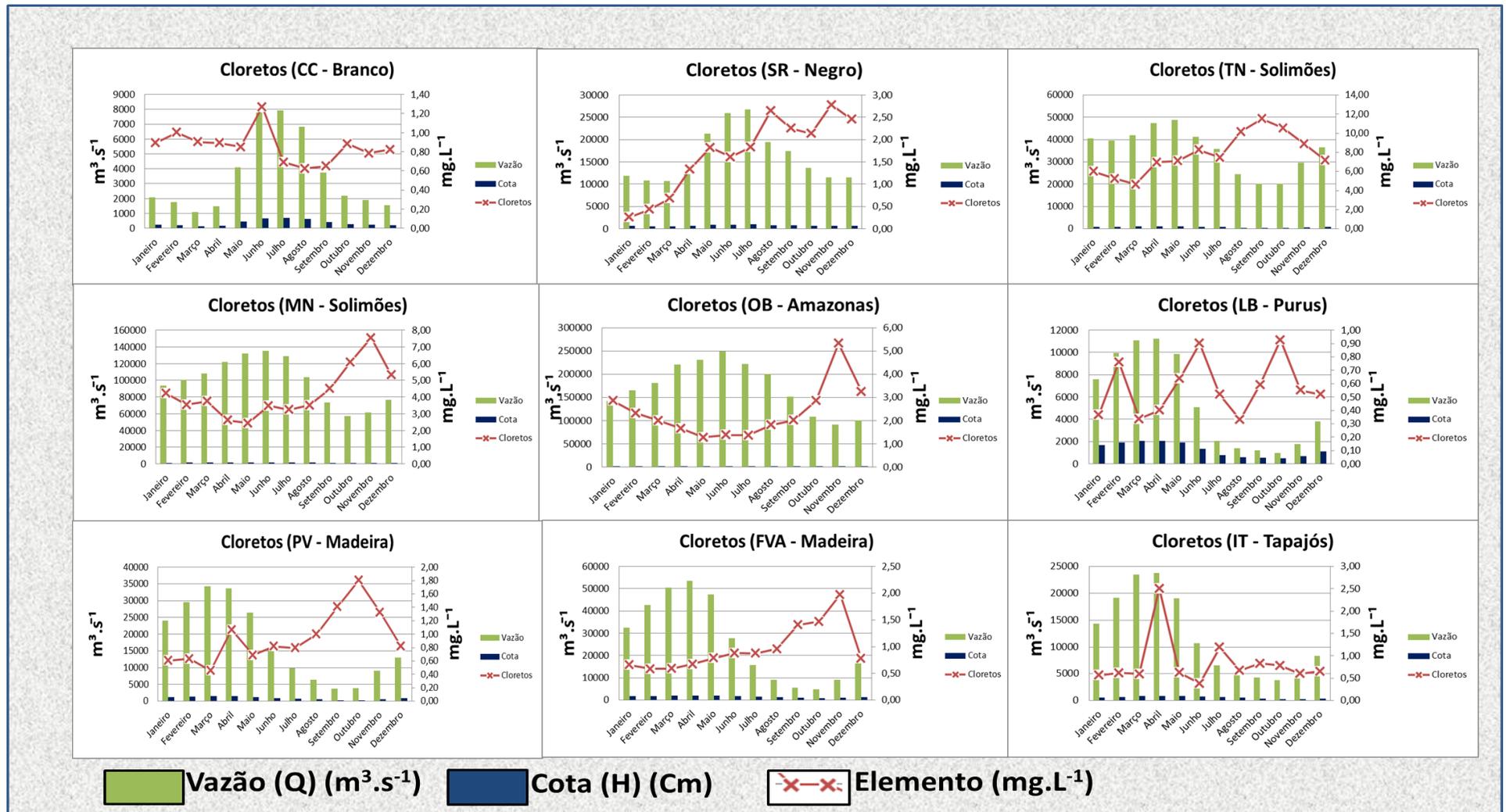
Para silício (Figura 30) em CC apresenta comportamento distinto em relação aos outros elementos, visto que nesta estação, dependem da variação das cotas e/ou vazões para seu crescimento, porém essa dependência não é tão marcante como em outros elementos estudados, apresenta também nessa estação, um leve decréscimo à medida que a vazão e cota vai aumentando e aumento quando a cota e vazão diminui. Observa-se essa dependência da cota e vazão para o aumento de silício nas estações de MN, que assim como em CC apresenta um leve aumento, OB, IT que com os outros elementos era independente e FVA, porém nessa última estação essa dependência só ocorre no primeiro semestre do ano (Figura 30).

Figura 27 Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 –  $\text{HCO}_3^-$ .



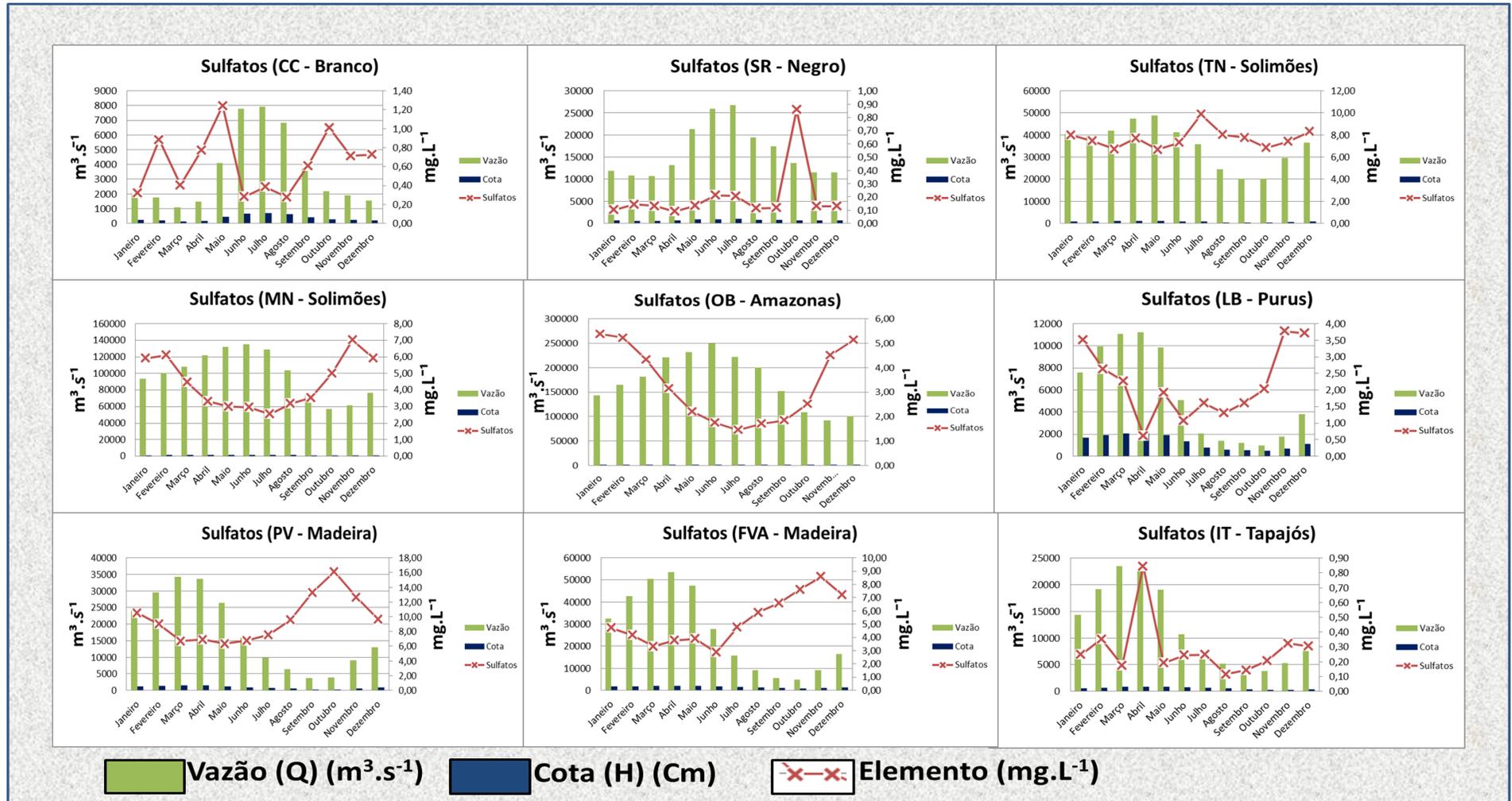
CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 28: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 – CI.



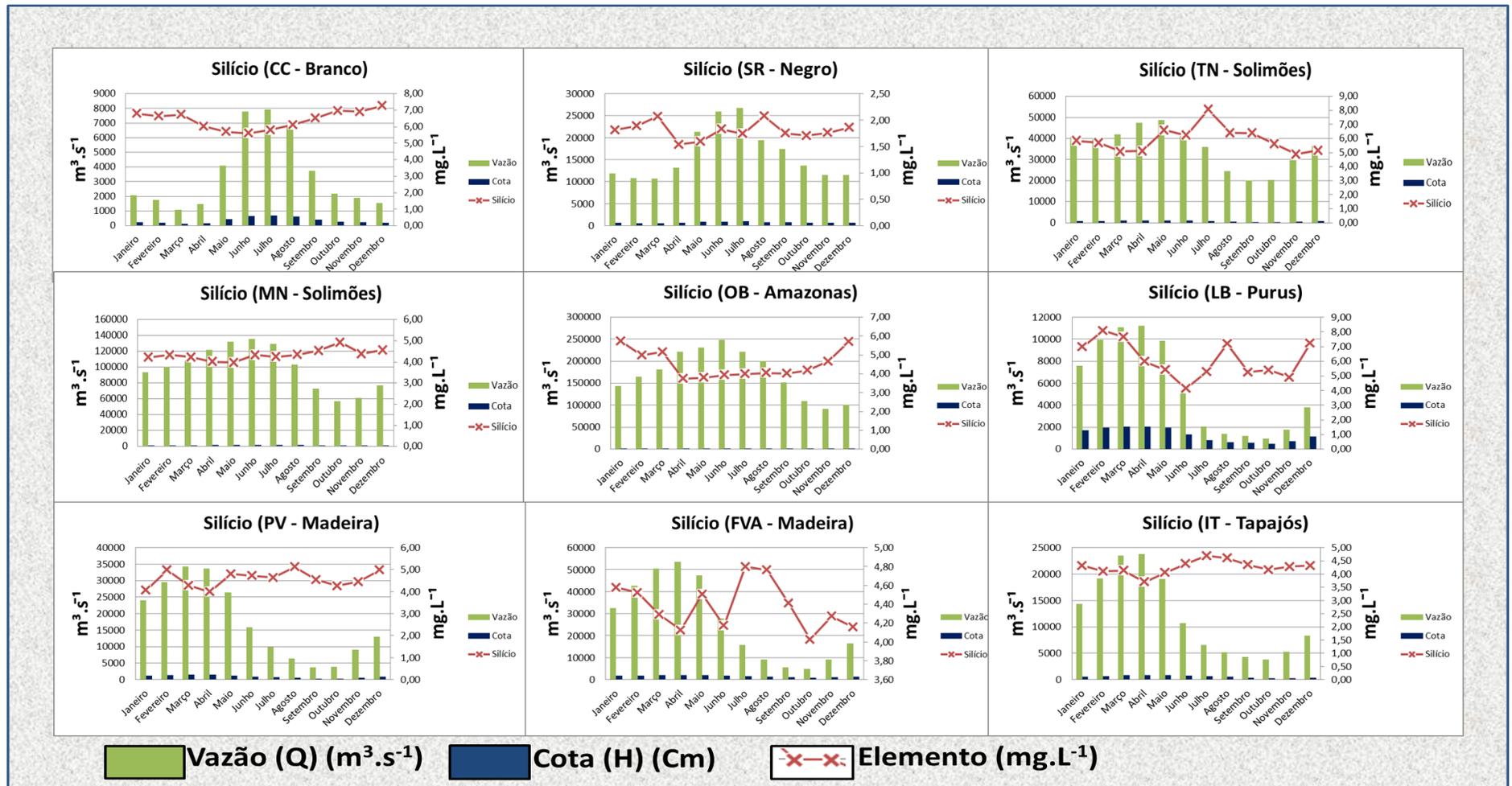
CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 29: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 –  $\text{SO}_4^{2-}$ .



CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

Figura 30: Comportamento entre as médias de cota, vazão e concentração média da matéria iônica dissolvida calculada a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010 - Si



CC – Caracará; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; FVA – Fazenda Vista Alegre; PV – Porto Velho; LB – Lábrea; IT – Itaituba.

## 5.4 Análises estatísticas

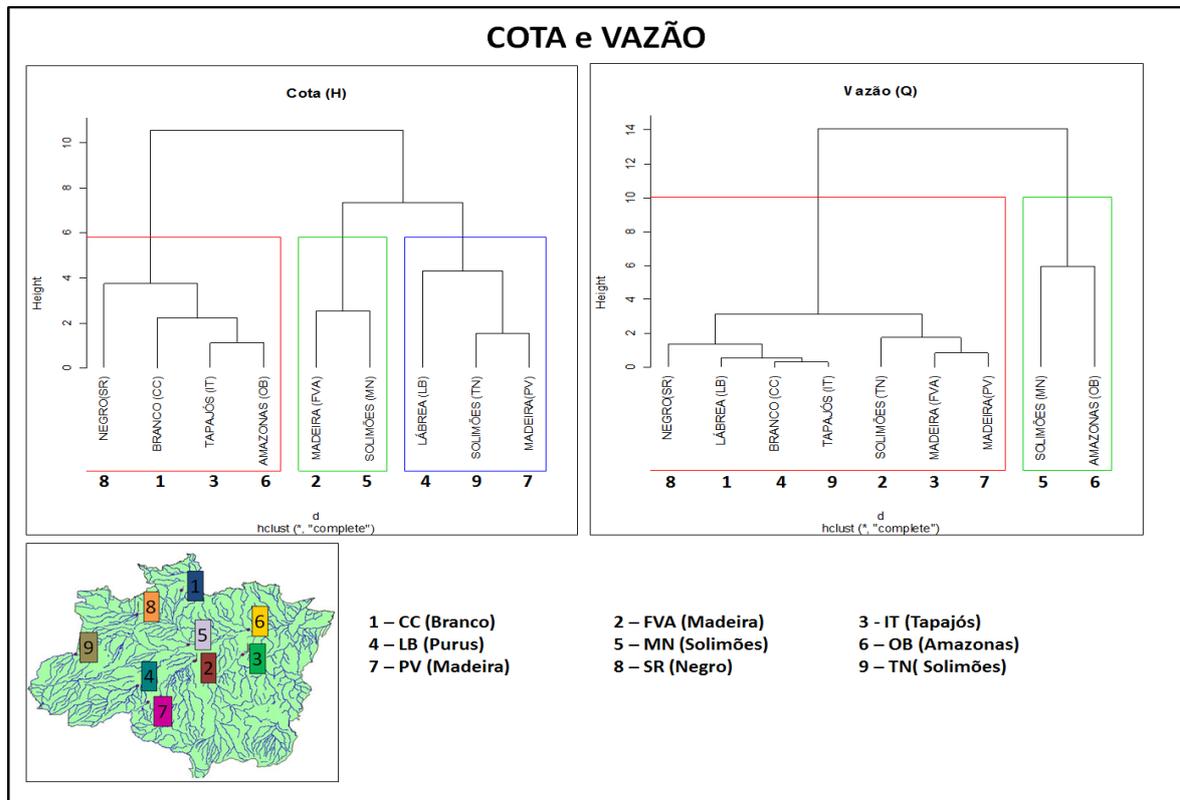
Para a análise dos dados, além dos cálculos de desvio padrão e coeficiente de variação, recorreu-se a análise estatística. Utilizando das médias das concentrações dos íons, cotas e vazões da base definitiva e com o auxílio do software Action 2.3, se fez análise multivariada Cluster e a correlação linear de Pearson. A análise de Cluster foi feita, para verificar a existência de algum grau de similaridade entre os rios, íons e estações, bem como, uma heterogeneidade entre os grupos formados e correlação linear de Pearson foi feita para verificar a origem dos íons formados.

### 5.4.1 – Análise de Cluster

A análise de agrupamento (*cluster*) permite agrupar objetos semelhantes segundo suas características, fornecendo uma descrição mais concisa e compreensível das observações. Nesse estudo, foram elaboradas análises mensais para cota (Figura 31), vazão (Figura 32) e os íons (Figura 33 e Figura 34). Para cada figura elaborada foi dada uma numeração (0 a 9), nas quais o número (0) representa a similaridade/heterogeneidade das estações e seus respectivos rios e os números 1 a 9 representa a similaridade/heterogeneidade mensal de cada uma das estações e seus respectivos rios.

Para o nível dos rios (Cota), a Figura 31 de número mostra que as estações foram divididas em três grupos. O primeiro se refere às estações que apresentaram os menores valores de cota, o segundo e terceiro grupos são aquelas que apresentaram os maiores valores em ordem decrescente. O primeiro grupo é representado pela estação de Serrinha (SR) no rio Negro (8), Caracará (CC) no rio Branco (1), Itaituba (IT) no rio Tapajós (3) e Óbidos (OB) no rio Amazonas (6). O segundo grupo é representado pela estação de Fazenda Vista Alegre (FVA) no rio Madeira (2) e Manacapuru (MN) no rio Solimões (5) e o terceiro grupo é representado por Lábrea (LB) no rio Purus (4), Tab+Naz (TN) no rio Solimões (9) e Porto Velho (PV) no rio Madeira (7). Para vazão as estações foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo apresentam as menores vazões e o segundo grupo as maiores vazões. O primeiro grupo está subdividido em mais dois grupos, no qual as estações de SR - (8), CC - (1) e LB - (4) apresentam os menores valores de vazão e as estações de TN - (9), FVA - (2), IT - (3), e PV - (7) apresentam um valor intermediário. O segundo grupo da vazão estão as estações que contribuem com os maiores valores em ordem crescente, a estação de MN - (5) no Solimões e a estação de OB - (6) no Amazonas (Figura 31).

**Figura 31: Análise estatística calculada a partir das médias das concentrações da cota no período de 1995 a 2010 - (Cluster – cota e vazão)**



**CC – Caracarái; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth**

De modo geral, observa-se que SR e CC tanto no que se refere a cota quanto vazão estão localizadas nos mesmos grupos. A estação de MN apresenta os maiores valores de cota e vazão, porém Óbidos, apesar de possuir umas das menores cotas, apresenta as maiores vazões (Figura 31).

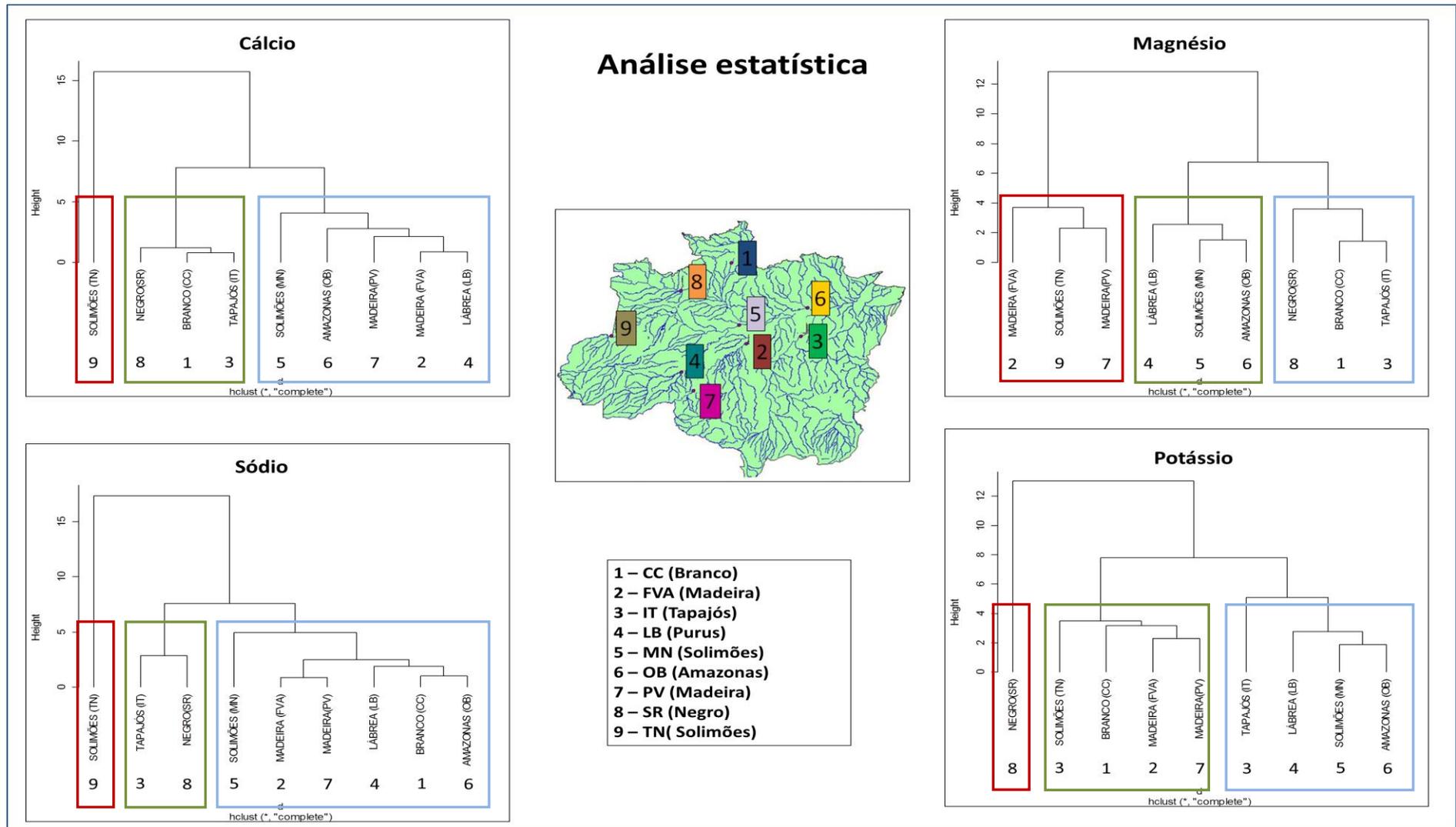
As Figuras 32 e 33 apresentam a análise estatística para os íons maiores. Na Figura 32, o cálcio está dividido em três grupos: o primeiro representa a estação com as maiores concentrações, simbolizado por TN - (9), o segundo grupo representa as estações com valores menores de concentração, simbolizado por SR – (8), CC – (1) e IT – (3) (em ordem crescente) e o terceiro grupo são aquelas estações com valores intermediários de concentração, menores que o grupo 1 e maior que o grupo 2, simbolizado por MN – (5), OB – (6), PV – (7), FVA – (2) e LB – (4) (em ordem decrescente). Para Magnésio as estações estão divididas em três grupos: o primeiro pelas estações de maiores valores da concentração, simbolizadas por FVA (2), TN –(9) e PV (7), o segundo por valores intermediários da concentração LB – (4), MN – (5), OB – (6) e o terceiro com as estações de menor valor da concentração SR –(8), CC - (1) e IT (3), sendo que todos os grupos seguem uma ordem crescente. Sódio foi dividido em três

grupos com características similares: o primeiro grupo é representado por TN – (9), a estação com os maiores valores de concentração, o segundo representado pelas estações com menores valores de concentrações IT – (3) e SR – (8) (em ordem decrescente) e terceiro grupo possuem valores da concentração intermediários aos valores do grupo um e dois, sendo simbolizado por MN – (5), FVA – (2), PV – (7), LB – (4), CC – (1) e OB – (6). Potássio foi dividido em três grupos: o primeiro representado pela estação de menor concentração, SR – (8), segundo grupo de maior concentração simbolizado por TN – (9), CC – (1), FVA – (2), PV – (7) (em ordem crescente), o terceiro grupo com valores intermediários, representado por IT – (3), LB – (4), MN - (5) e OB – (6) (em ordem decrescente).

Na Figura 33, os bicarbonatos foram divididos em quatro grupos, sendo o primeiro representado pela estação de TN – (9), possui a maior concentração, o segundo grupo é representado por SR – (8), CC - (1) e IT – (3), são os elementos com as menores concentrações, seguindo uma ordem crescente, os grupo três e quatro são intermediários aos grupos um e dois em relação aos valores de concentração dos elementos e ambos possuem uma ordem decrescente, sendo o grupo três simbolizado por OB – (6), FVA - (2) e LB – (4) e o quatro por MN – (5) e PV - (7). Os cloretos foram divididos em três grupos: o primeiro representado por TN – (9), que possui a maior concentração. O segundo grupo possuem os menores valores e se encontra subdividido, este é representado por SR – (8); IT - (3); FVA - (2) e PV - (7) (se encontram em pares) e CC - (1) e LB – (4) (se encontram em pares), seguem uma ordem decrescente. O terceiro grupo, valores intermediários, também se subdivide em mais dois e segue uma ordem decrescente, sendo representado por MN – (5) e OB – (6). Os sulfatos foram divididos em três grupos.

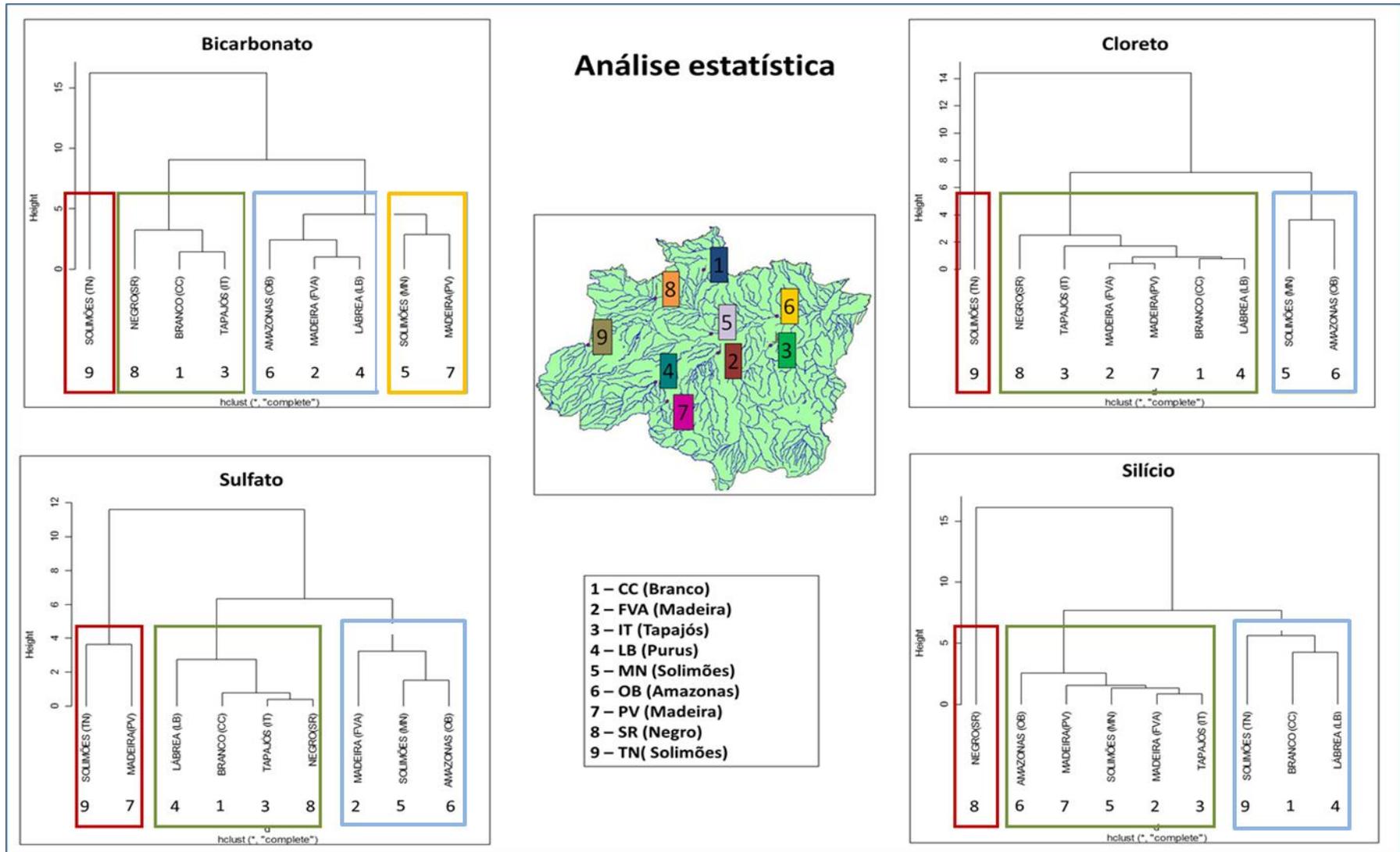
O primeiro grupo apresentam as estações com maiores valores de concentração, sendo estas TN – (9) e PV - (7), o segundo grupo as menores concentrações em ordem decrescente, representadas por LB – (4), CC - (1), IT - (3) e SR - (8) e o terceiro possui valores intermediários de concentração aos grupos um e dois, seguem uma ordem decrescente e são representados pelas estações de FVA - (2), MN – (5) e OB – (6). O silício apresenta três grupos: o primeiro grupo é representado por SR – (8), a estação de menor concentração, o segundo é representado por OB – (6), PV - (7), MN – (5), FVA - (2) e IT - (3) (ordem crescente) e o terceiro grupo pelas estações de maiores concentrações TN – (9), CC - (1) e LB – (4). Em comparação com os outros íons, observa-se que o silício, agrupou as estações com similaridade de modo inverso, iniciando o primeiro grupo com a estação de maior valor de concentração e terminou com as estações de maiores valores.

Figura 32: Análise estatística calculada a partir das médias das concentrações dos íons no período de 1995 a 2010 – (Cluster – Ca, Mg, Na).



CC – Caracaraí; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

Figura 33: Análise estatística - Cluster calculado a partir das médias das concentrações dos íons no período de 1995 a 2010 – Clusters (HCO, Cl, SO<sub>4</sub>, Si)



CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

### 5.4.2 – Correlação linear de Pearson

Para se obter a correlação existente entre os elementos e a origem dos mesmos, utilizou-se da correlação de Pearson, a qual mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas. Foi feita a correlação entre os ânions e cátions (bicarbonato e cálcio, magnésio, sódio, potássio e silício), (cloreto com cálcio, magnésio, sódio, potássio e silício) e (sulfato com cálcio, magnésio, sódio, potássio e silício), originando as Figuras 34, 35 e 36.

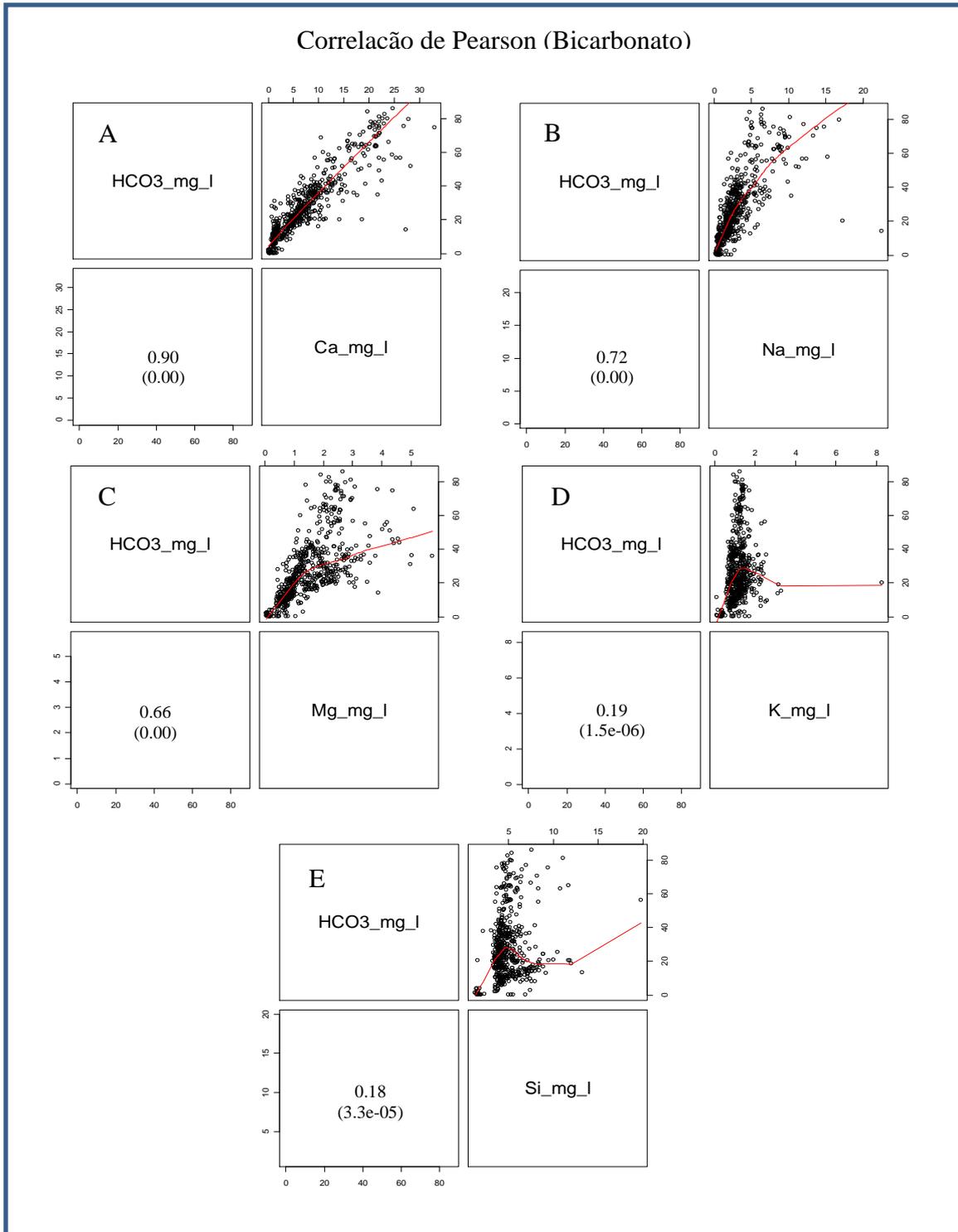
O coeficiente de correlação de Pearson normalmente é representado pela letra ( $r$ ). Este coeficiente varia entre os valores  $-1$  e  $1$ . O valor  $0$  (zero) significa que não há relação linear, o valor  $1$  indica uma relação linear perfeita e o valor  $-1$  também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de  $1$  ou  $-1$ , mais forte é a associação linear entre as duas variáveis, ou seja:

$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 \leq r < 0,1$	Ínfima positiva
$0$	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa

A Figura 34 representa a correlação do ânion bicarbonato com os demais cátions estudados. Observa-se que em todas as correlações do ânion com os cátions foram positivas e p-valores ( $1.5e-06$ ;  $3.3e-5$ ;  $0.00$ ). O p-valor nos informa se há uma correlação significativa ou não entre as variáveis. Se o p-valor for menor ou igual ao nível de significância  $\alpha$  pré-determinado (no caso de  $5\%$ ), significa que há correlação significativa entre as variáveis. Caso contrário, não haverá associação entre elas.

Em todas as correlações, observa-se que a maior delas se deu com cálcio (A),  $r = 0.90$  e p-valor ( $0.00$ ), significando que esta correlação é forte positiva e que há uma correlação significativa entre esses íons. Além do cálcio, observa-se que houve uma boa correlação com

**Figura 34: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (bicarbonato e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.**



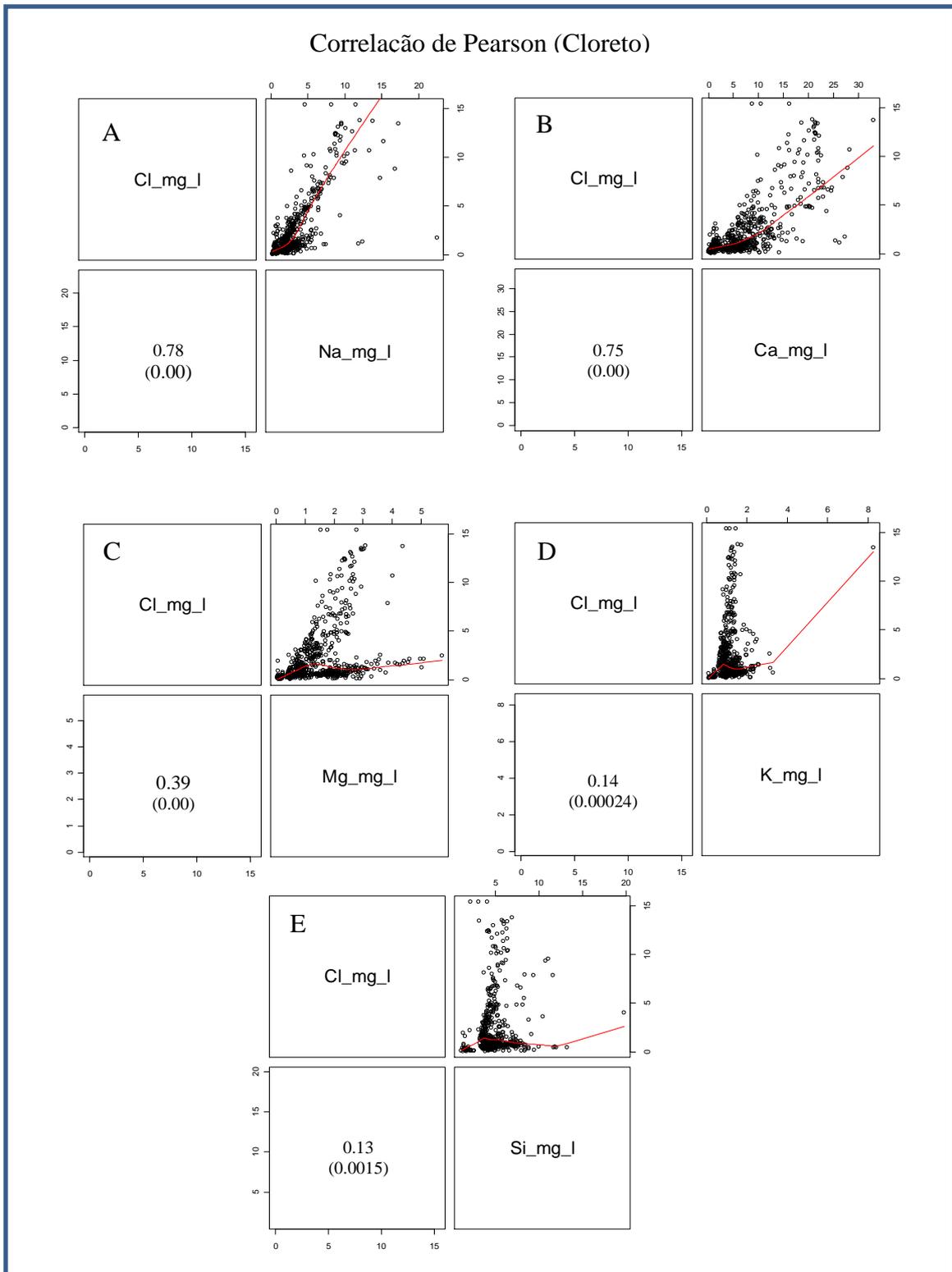
o cátion sódio (B) e magnésio (C), deram moderada positiva com  $r = 0.72$  (B),  $r = 0,66$  (C) e ambas com p-valor = 0.00 (correlação significativa); potássio (D) e silício (E) fraca positiva,  $r = 0,19$  (D),  $r = 0,18$  (E) com p-valor de  $1.5e-06$  (D) e  $3.3e-05$  (E) (significativa). Portanto,

observa-se que a origem de bicarbonatos encontrados nas estações estudadas, se dá em grande parte na forma de bicarbonato de cálcio  $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$  que ao entrar em contato com a água, se dissocia, em cálcio e bicarbonato. E em partes menores na forma de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e magnésio  $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ .

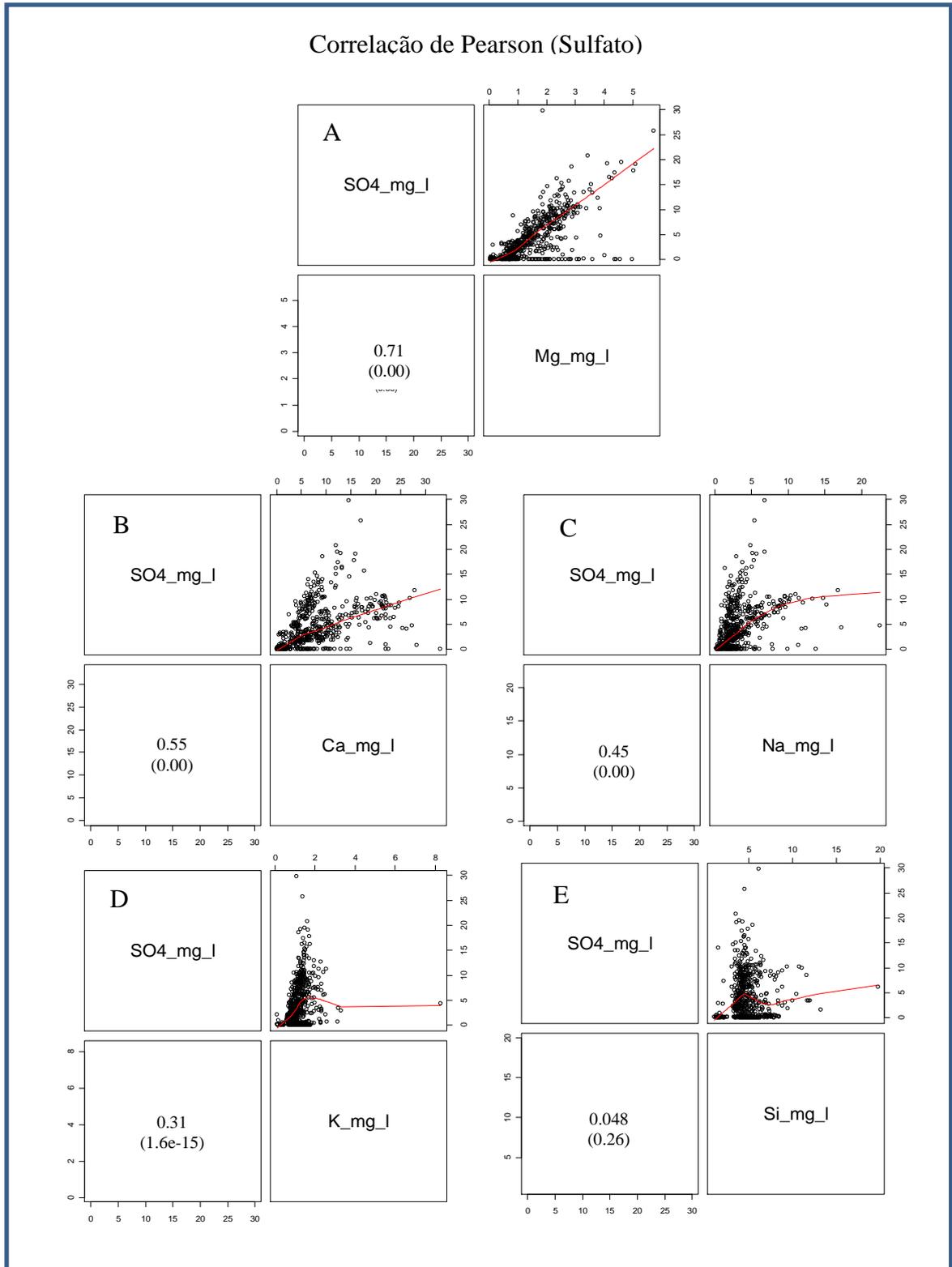
A Figura 35 representa a correlação do ânion cloreto com os demais cátions estudados. Observa-se que em todas as correlações do ânion com os cátions foram positivas e p-valores (0,00024; 0,0015; 0,00). Em todas as correlações, observa-se que a maior delas se deu com sódio (A),  $r = 0.78$  e cálcio (B),  $r = 0.75$  e para ambos, o p-valor (0,00), significando que esta correlação é moderada positiva e que há uma correlação significativa entre esses íons. Já para os outros elementos, magnésio (C), potássio (D) e silício (E), foram todas fracas positivas apresentando o valor de  $r = 0.39$  (C),  $r = 0.14$  (D) e  $r = 0.13$  (E). Logo, a origem dos íons cloretos encontrados nas estações se dá devido a presença de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) que se dissociam na água.

A Figura 36 representa a correlação do ânion sulfato com os demais cátions estudados. Observa-se que em todas as correlações do ânion com os cátions foram positivas e p-valores ( $1.5\text{e-}15$ ; 0,00; 0,26). Em todas as correlações, observa-se que a maior delas se deu com magnésio (A),  $r = 0.71$  seguido de cálcio,  $r = 0.55$  ambos com p-valor (0,00), significando que esta correlação é moderada positiva e que há uma correlação significativa entre esses íons. Já para os outros elementos, sódio (C) com  $r = 0.45$  e potássio (D) com  $r = 0.31$ , são considerados fracos positivos e silício (E) com  $r = 0.048$  é ínfimo positivo. Desta forma, a origem dos íons sulfatos encontrados nas estações se dá devido a presença principalmente de sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) e sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) que está presente na natureza sob a forma do mineral anidrita.

**Figura 35: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (cloreto e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.**



**Figura 36: Análise estatística – Correlação de Pearson calculada entre os íons (sulfato e cálcio, sódio, magnésio, potássio e silício) a partir das médias das concentrações dos elementos no período de 1995 a 2010.**



## 5.5 Cálculo do fluxo de matéria iônica dissolvida

A partir da base de dados, calculou-se o fluxo de elementos nas estações para cada período do ciclo, utilizando a equação:  $Q_s = Q * [EI] * C$ , onde:  $Q_s$  = Fluxo de matéria dissolvida;  $Q$  = Vazão;  $[EI]$  = Concentração do elemento e  $C$  = Constante 0,0864 (ton/dia). Assim como a concentração dos elementos, o balanço do fluxo de massa foi organizado por elementos, relacionando a concentração de cada com os meses e anos, onde foram obtidos as média totais de 95 a 2010 e as mensais, originando as Figuras 37 e 38 para as médias totais e 39, 40, 41, 42 para as médias mensais.

A Tabela 14 mostra o resultado da média em  $\text{ton.dia}^{-1}$  do fluxo dos elementos em suas respectivas estações. Observa-se que os menores fluxos ocorrem nos rios Branco, Negro e Purus e os maiores fluxos ocorrem nos rios Amazonas e Solimões (OB, MN e TN respectivamente). Seguindo a ordem decrescente (OB > MN > TN > FVA > PV > IT > LB > CC > SR). Quanto aos elementos, os menores são magnésio, cloreto e potássio e os maiores, bicarbonatos, cálcio e silício.

**Tabela 14: Média interanual  $\text{ton.dia}^{-1}$  do fluxo matéria dissolvida em suas respectivas estações, calculadas a partir da base definitiva no período de 1995 a 2010.**

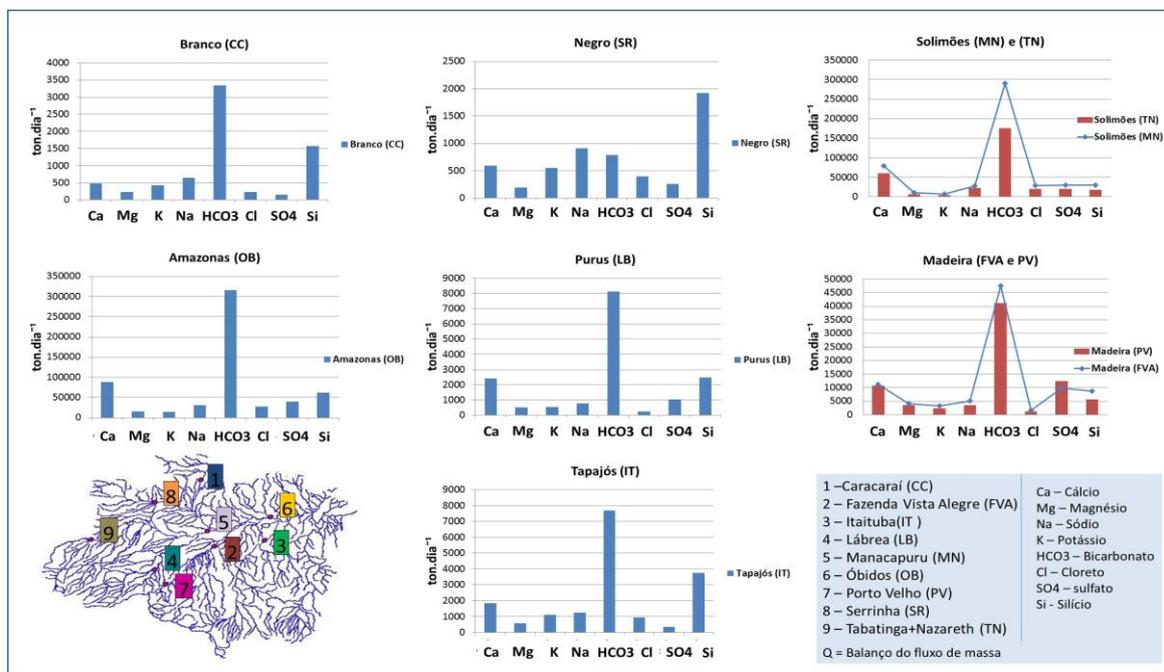
Balanço de fluxo de massa $\text{ton.dia}^{-1}$								
RIOS	Qs (Ca)	Qs (Mg)	Qs (K)	Qs (Na)	Qs (HCO3)	Qs (Cl)	Qs (SO4)	Qs (Si)
Branco (CC)	470,28	229,55	428,23	641,72	3344,68	234,99	148,73	1566,62
Madeira (FVA)	11110,82	4022,50	3309,59	5069,00	47483,53	1664,69	9912,22	8782,48
Tapajós (IT)	1823,38	575,40	1110,34	1251,87	7692,47	941,57	350,90	3739,54
Purus (LB)	2407,22	504,12	548,96	770,42	8139,86	250,71	1043,40	2487,55
Solimões (MN)	79614,35	10670,29	7374,78	27325,70	290138,44	29341,95	30503,23	30349,61
Solimões (TN)	60548,34	6968,34	3908,19	23114,17	175140,59	20588,12	20709,66	17678,66
Amazonas (OB)	88897,14	15747,76	14419,83	30503,40	315624,55	27866,50	39994,76	62418,06
Madeira (PV)	10720,66	3535,38	2343,01	3564,03	41200,63	1181,50	12321,03	5732,74
Negro (SR)	597,04	193,32	548,95	915,42	785,96	396,31	257,37	1925,46

CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

A Figura 37 mostra o fluxo de todos os elementos estudados por rio/estação. Observa-se que em quase todas as estações o íon bicarbonato apresenta maior concentração, com

exceção na estação de Serrinha no rio Negro, no qual o silício apresenta maior concentração, apresentando uma ordem decrescente diferenciada em relação as outras estações: silício, sódio, bicarbonato, cálcio, potássio, cloreto, sulfato e magnésio (Tabela15).

Figura 37: média do balanço do fluxo de massa nos rios em  $\text{ton.dia}^{-1}$



As ordens decrescentes dos fluxos dos elementos em suas respectivas estações encontram-se na Tabela 15.

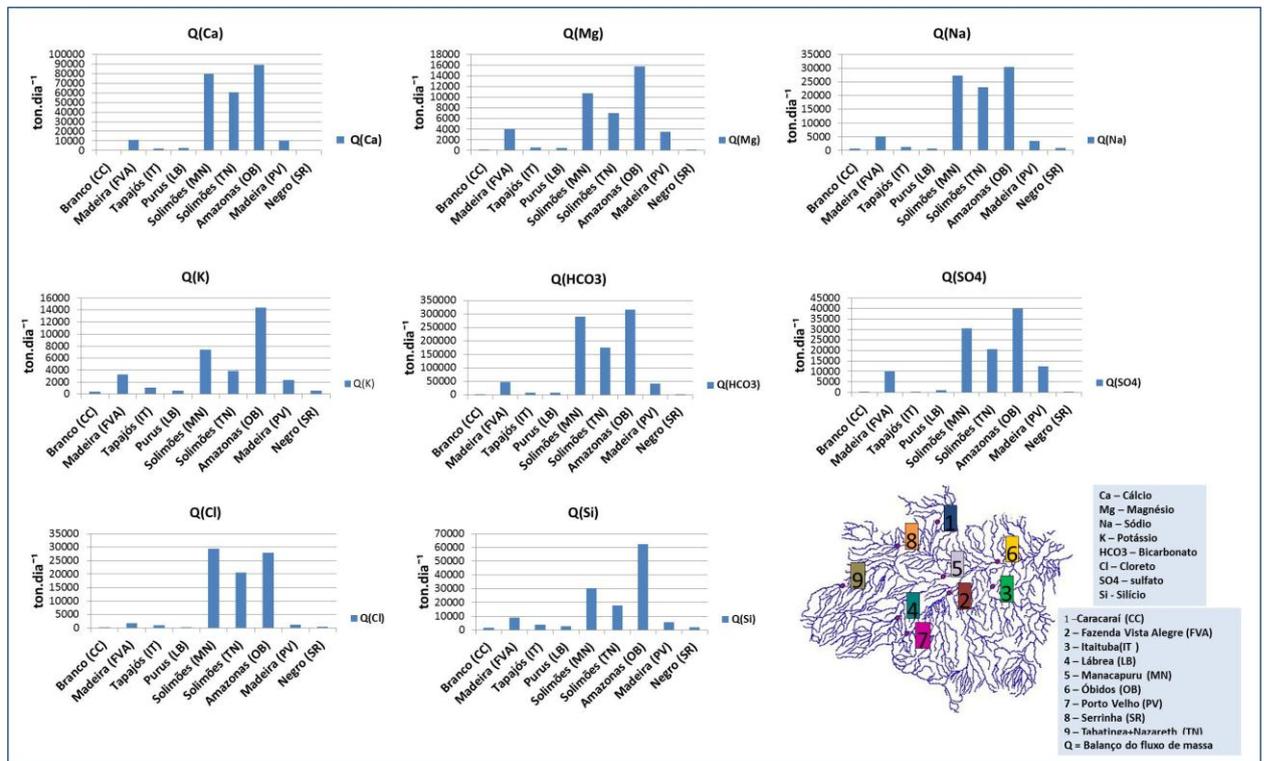
Tabela 15: Ordem decrescente de fluxo de matéria dissolvida nas estações

Ordem decrescente de Fluxo dos elementos maiores									
<b>Branco (CC)</b>	HCO <sub>3</sub>	Si	Na	Ca	K	Cl	Mg	SO <sub>4</sub>	
<b>Negro (SR)</b>	Si	Na	HCO <sub>3</sub>	Ca	K	Cl	SO <sub>4</sub>	Mg	
<b>Solimões (TN)</b>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Na	SO <sub>4</sub>	Cl	Si	Mg	K	
<b>Solimões (MN)</b>	HCO <sub>3</sub>	Ca	SO <sub>4</sub>	Si	Cl	Na	Mg	K	
<b>Amazonas (OB)</b>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Si	SO <sub>4</sub>	Na	Cl	Mg	K	
<b>Purus (LB)</b>	HCO <sub>3</sub>	Si	Ca	SO <sub>4</sub>	Na	K	Mg	Cl	
<b>Madeira (FVA)</b>	HCO <sub>3</sub>	Ca	SO <sub>4</sub>	Si	Na	Mg	K	Cl	
<b>Madeira (PV)</b>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	Si	Na	Mg	K	Cl	
<b>Tapajós (IT)</b>	HCO <sub>3</sub>	Si	Ca	Na	K	Cl	Mg	SO <sub>4</sub>	

CC – Caracará; FVA – Fazenda Vista Alegre; IT – Itaituba; LB – Lábrea; MN – Manacapuru; OB – Óbidos; PV – Porto Velho; SR – Serrinha; TN – Tabatinga+Nazareth

A Figura 38 mostra a situação contrária da Figura 37, concentração de cada elemento nas estações. a estação de OB no rio Amazonas, esta localizadas maiores concentrações de quase todos os elementos, com exceção do cloreto, no qual sua maior concentração se encontra na estação de MN no rio Solimões. De modo geral, em comparação com a literatura, procede a informação de que nas águas brancas ocorre maior incidência de bicarbonatos e cálcio e que as concentrações de cálcio nessas águas é superior a concentração de sódio e potássio, porém a concentração de magnésio não é superior a esses elementos, somente a potássio em algumas estações, como em TN, MN, OB, PV e FVA. Quanto ao rio de água preta, ele realmente é pobre em sólidos dissolvidos e a concentração de bicarbonatos é mais baixa, porém os valores de sódio e potássio não são superiores aos rios de água branca.

Figura 38: média do balanço do fluxo de massa por elemento em  $\text{ton.dia}^{-1}$



A Figura 39 mostra o fluxo mensal para cálcio e magnésio, a Figura 40 para os íons sódio e potássio, a Figura 41 bicarbonatos e cloretos e Figura 42 sulfatos e silício.

Na Figura 39, para cálcio, observa-se que em CC (rio Branco) os meses de maiores balanços do íon se encontram entre junho e agosto e julho é o mês de maior balanço com um total de aproximadamente  $1097 \text{ ton.dia}^{-1}$  e em março a menor com  $158 \text{ ton.dia}^{-1}$  do íon. Em SR (rio Negro), acontece o mesmo que em CC, sendo em julho com  $114 \text{ ton.dia}^{-1}$  e novembro  $372 \text{ ton.dia}^{-1}$ . No rio Madeira em FVA, apresenta a maior fluxo em março, com  $19477$

ton.dia<sup>-1</sup> e o menor 3013 ton.dia<sup>-1</sup> em dezembro, já em PV o maior em fevereiro com 19435 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em setembro com 3681 ton.dia<sup>-1</sup>. No rio Solimões em TN o maior fluxo foi em abril com 8621 ton.dia<sup>-1</sup> e em setembro o menor, 350 ton.dia<sup>-1</sup> e em MN o mês de abril apresenta 115212 ton.dia<sup>-1</sup> e outubro 4676 ton.dia<sup>-1</sup>. Para o rio Amazonas o maior fluxo do elemento se encontra em março com 125235 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em novembro com 5726 ton.dia<sup>-1</sup>. No rio Purus LB o maior fluxo se encontra em maio com 4719 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em outubro com 757 ton.dia<sup>-1</sup>. No rio Tapajós o maior fluxo está em abril com 8454 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em outubro com 379 ton.dia<sup>-1</sup>. Para magnésio, em CC os maiores fluxos se encontram no meio do ano, assim como em SR. Nas estações de FVA, PV, MN, TN, OB, LB, e IT os maiores fluxos se deram no primeiro semestre do ano e os menores no segundo semestre. Sendo que a estação OB apresenta o maior fluxo em abril com 23283 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em outubro com 9167 ton.dia<sup>-1</sup>.

Na Figura 40, para sódio nas estações de CC, FVA, PV, IT e LB apresentam os maiores fluxos no primeiro semestre do ano. Em SR, vai aumentando de janeiro a julho, depois diminui. Em MN, TN e OB, existem pouca variação quanto ao aumento e diminuição do fluxo em MN o maior fluxo está no mês de agosto com 36009 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em outubro 22482 ton.dia<sup>-1</sup>. Em TN o maior fluxo está em maio com 29152 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em setembro com 17311 ton.dia<sup>-1</sup>. Em OB o maior fluxo está em março 36414 ton.dia<sup>-1</sup> e o menor em outubro com 24230 ton.dia<sup>-1</sup>. Para potássio, com exceção de CC e SR que apresentam os maiores fluxos no meio do ano, as outras estações apresentam o maior fluxo no primeiro semestre do ano.

Na Figura 41, para bicarbonatos, os maiores fluxos em quase todas as estações se encontram no primeiro semestre do ano, em CC e SR esses valores estão no meio do ano. Assim como bicarbonatos, os cloretos em CC e SR possuem os maiores valores de fluxo no meio do ano, em PV, FVA, IT e LB no primeiro semestre do ano. Em TN, abril possui o maior valor (31124 ton.dia<sup>-1</sup>) e vai diminuindo até outubro. Em MN e OB aumentam e diminuem ao longo do ano até atingirem o maior valor, ambos em novembro.

Na Figura 42, para sulfato, em CC e SR apresentam maiores valores no segundo semestre do ano e nas outras estações no primeiro. Para silício, em CC e SR os maiores valores se encontram no meio do ano e nas outras estações no primeiro semestre.

Figura 39: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios calculados a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010 - cálcio e magnésio

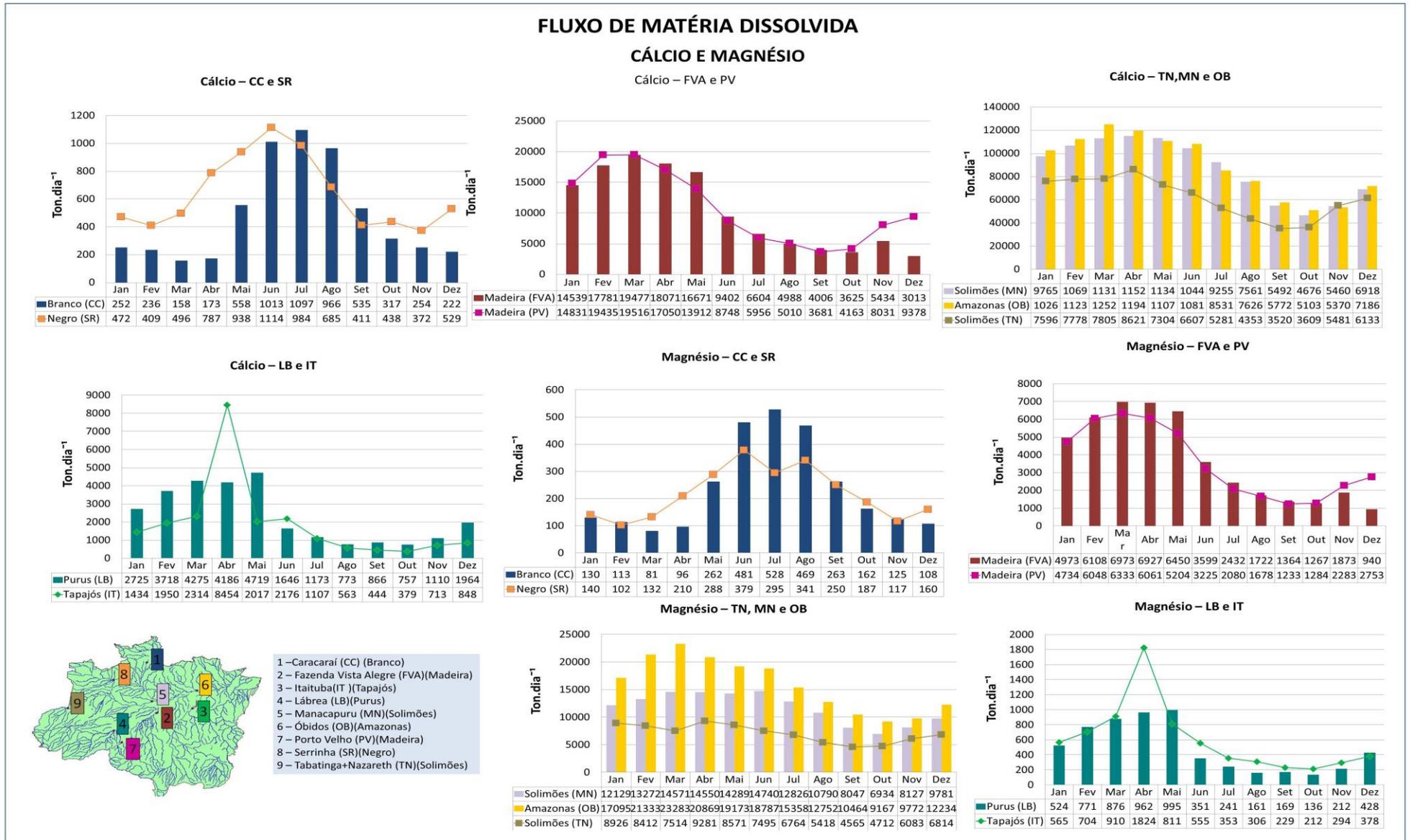


Figura 40: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010 - sódio e potássio

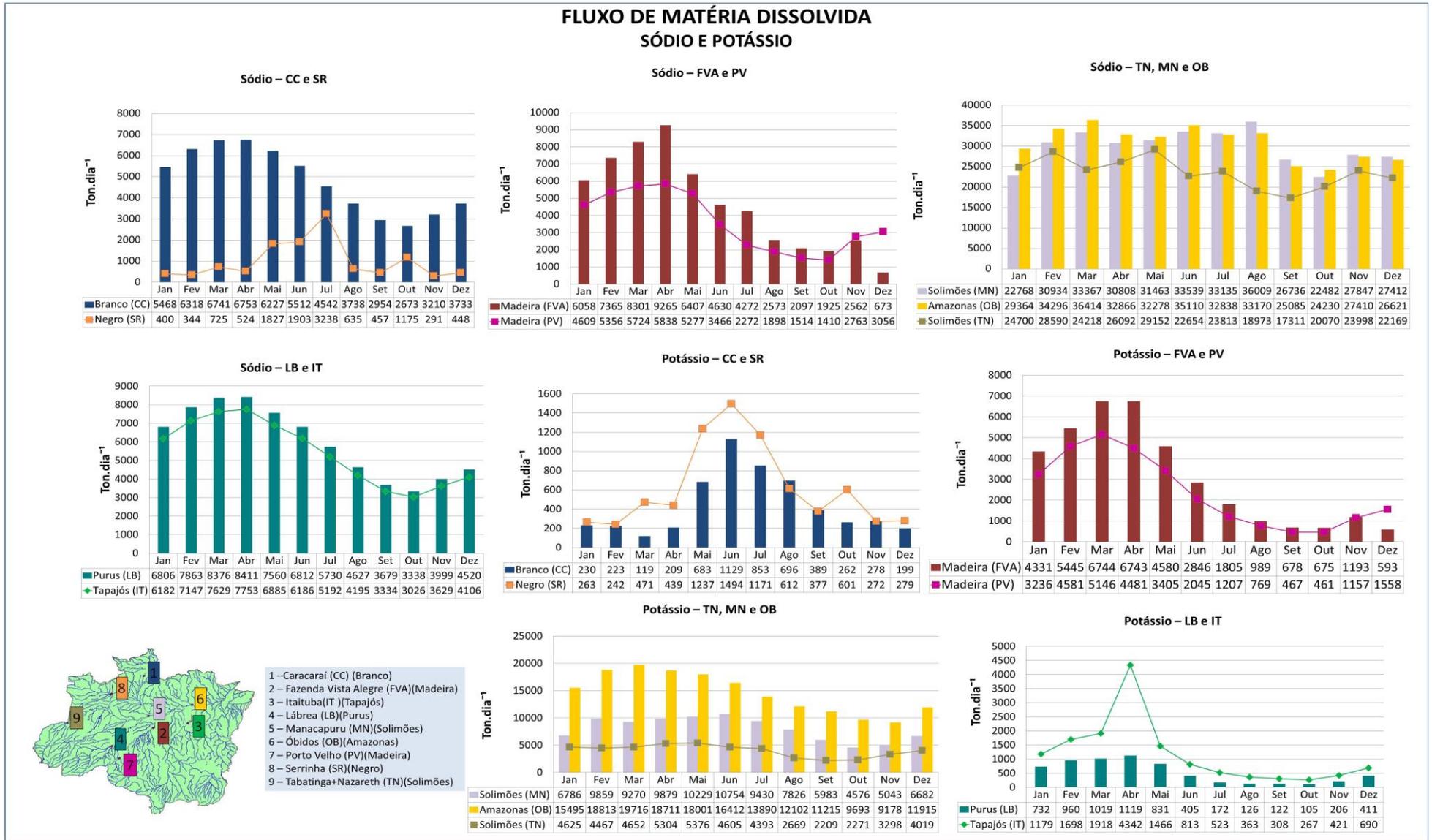


Figura 41: Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010– bicarbonato e cloreto

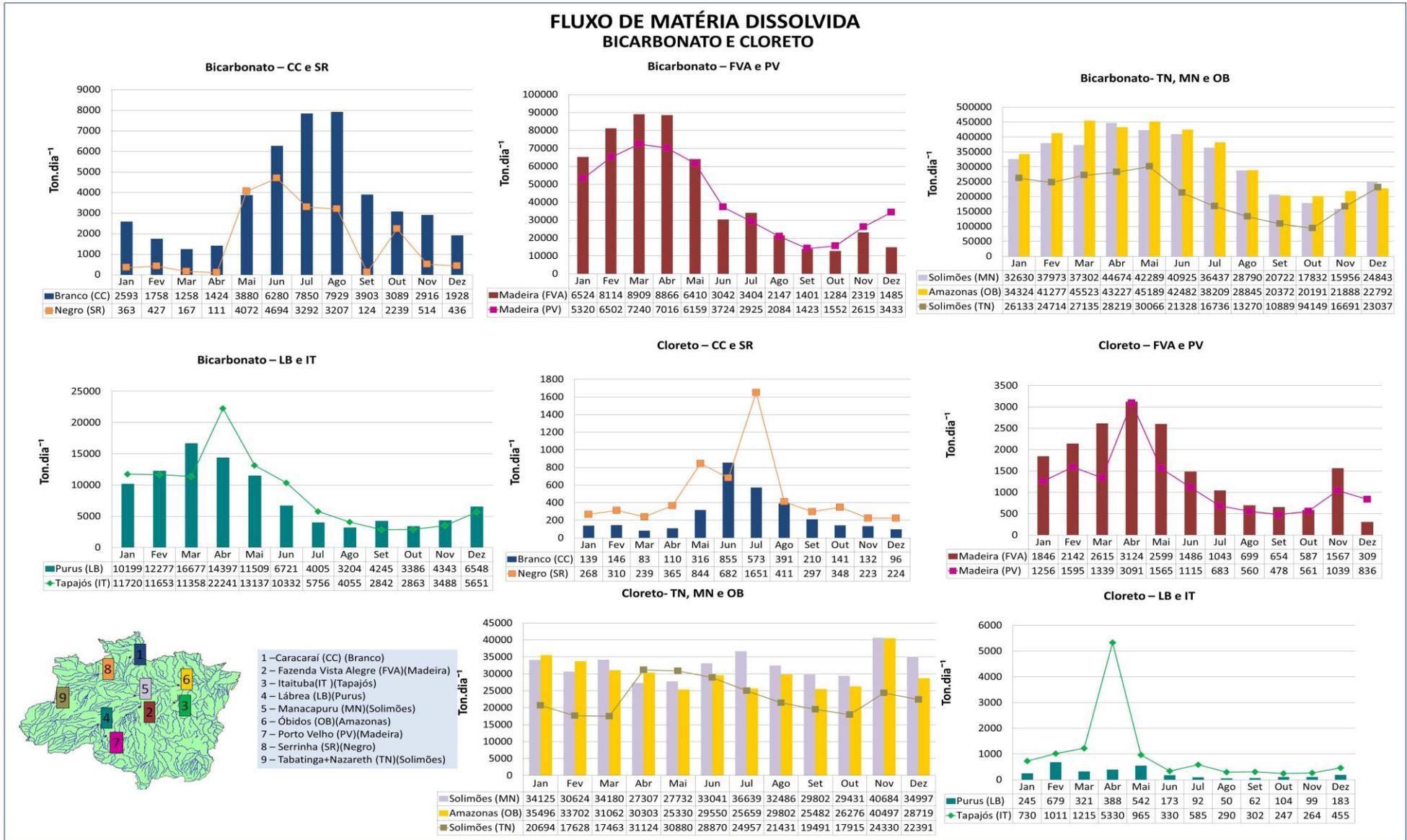
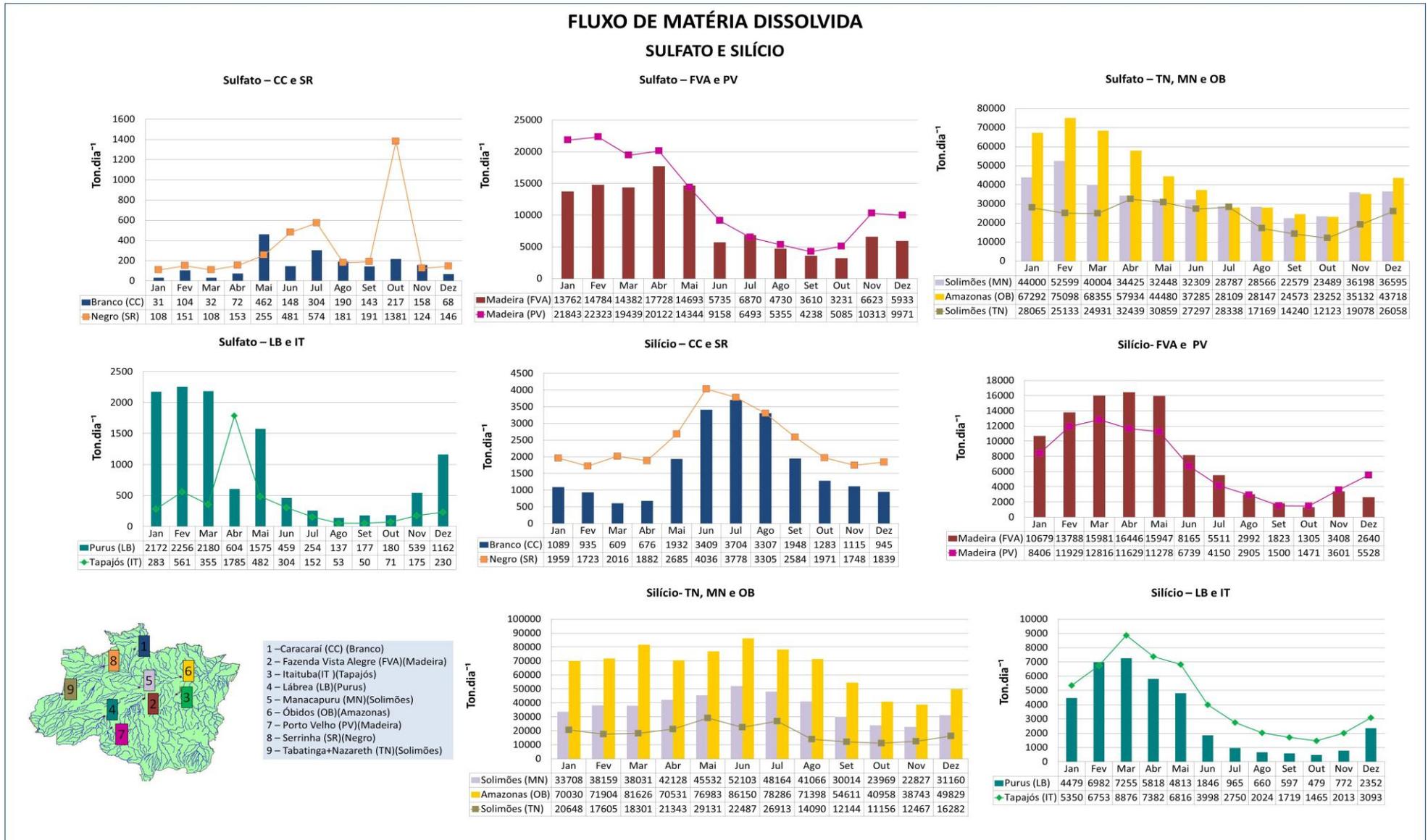


Figura 42 Cálculo da média mensal do fluxo de matéria dissolvida nos rios a partir da base definitiva, no período de 1995 a 2010:– sulfato e silício



## 5.6 Cálculo do Balanço de massa

Após o cálculo do fluxo de cada elemento, calculou-se o balanço de massa, dos quais foram geradas as Figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 e 52. As Figuras 49 a 52 que se encontram no ANEXOII. Para o cálculo do balanço de massa, utilizou-se a seguinte equação:

$$QSa + QSb + \dots + QSn + \Sigma = QSx ,$$

onde:

$QSa$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “a” a montante do ponto “c” num determinado curso d’água A;

$QSb$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “b” a montante do ponto “c” num determinado curso d’água B;

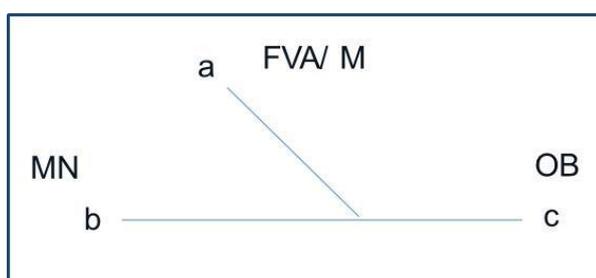
$QSn$  = fluxo de matéria dissolvida numa estação “n” a montante do ponto “c” porém num enésimo curso d’água;

$QSx$  = fluxo de matéria dissolvida na estação, ou ponto “x” num curso d’água x;

$\Sigma$  = valor positivo ou negativo conforme o efeito havido no trecho considerado entre os pontos “a”, “b”, “n” e “c”. Assim, para a ocorrência de sedimentação no trecho citado, será positivo e para ressuspensão ou produção de material em suspensão no trecho, será negativo.

De forma resumida, para se calcular o balanço de massa, é necessária que se tenha uma estação em um curso principal de uma bacia (c), outra no tributário deste curso (a) e mais a montante outra estação (b) (Figura 43)

**Figura 43: Esquema para escolha das estações no cálculo do balanço de massa**



Para entender o balanço e o que acontece nas três estações, como por exemplo, a contribuição que cada uma dá no fluxo de matéria dissolvida e de carga líquida, é necessário somar os resultados de fluxos observados nas duas estações a montante (parte superior (a) e (b)). O resultado obtido dessa somatória dará o valor que se esperaria obter na estação a jusante (parte inferior (c)). Logo, se  $a + b > c$  quer dizer que houve sedimentação ( $\Sigma+$ ), no caso se  $a + b < c$ , quer dizer que houve alguma contribuição, ou seja, re-suspensão ou produção ( $\Sigma-$ ).

Se escolheu como sendo o ponto (c) a estação de OB (Óbidos) no rio Amazonas, visto que esta é a principal estação que recebe o fluxo de descarga líquida e de elementos dissolvidos das outras estações. As estações mais próximas de OB é MN (Manacapuru - rio Solimões) (b) e FVA (Fazenda Vista Alegre - rio Madeira) (a) seu tributário. A estação de SR (Serrinha - rio Negro) também é um tributário (a) que se pode utilizar no balanço. Porém SR recebe contribuição de seu tributário, o rio Branco em CC (Caracaráí). Para contemplar o rio Negro nesse estudo, seria necessário adicionar junto a ele as contribuições de CC, para isso, criou-se a estação "M" que é a somatória de (SR+CC) no período de 1995 a 2010. Logo, o trecho escolhido se define em:

$$MN + FVA + M = OB$$

A Figura 44 mostra os resultados interanual obtidos nesse trecho em porcentagem. Apresenta a contribuição de carga líquida (vazão) e a contribuição de matéria dissolvida (íons maiores).

As Tabelas 16 e 17 mostram respectivamente, a quantidade mensal dada em porcentagem da contribuição de íons e de carga líquida no trecho e as Figuras 45, 46 e 47 mostra um resumo da Tabela 16.

A Figuras 48 mostra o resultado geral mensal do balanço de massa e as Figuras 49, 50, 51 e 52 no Anexo II, demonstram o resultado geral mensal do balanço de massa para cada estação (MN, FVA, M e OB), com a somatória de comparação (MN+FVA+M) e a vazão encontrada em cada estação.

Na Figura 44, observa-se que o rio o Solimões foi o que mais contribuiu tanto com carga líquida quanto de matéria dissolvida para o rio Amazonas. O rio Solimões contribui com cerca de 68% de carga líquida, o Madeira com 19% e o Negro com 19%. Para os elementos, houve apenas produção de potássio e silício. A produção de potássio foi de 53% no rio Solimões, 23% no rio Negro e 24% no rio Madeira. A produção de silício foi de 59% no rio Solimões, 24% no rio Negro e 17% no rio Madeira, os restantes dos elementos sedimentaram-se.

Nas Tabelas 16 e 17 observa-se que MN contribuiu mais que em FVA e M.. Para a carga líquida, a maior contribuição de MN foi em agosto com 74%, FVA foi em março com 30 % e M em outubro com 20% (Tabela 17). Comparando FVA e M observa-se que para os elementos, FVA contribuiu mais que M em alguns elementos como cálcio, magnésio, bicarbonato e sulfato (Tabela 16). Quanto a descarga líquida, comparando FVA e M, FVA teve as maiores contribuições de dezembro a maio e M de junho a novembro (Tabela 17).

Figura 44: Porcentagem da estimativa de fluxo de matéria dissolvida e vazão calculada a partir da a média global interanual (ton.dia<sup>-1</sup> e (ton.ano<sup>-1</sup>) no período de 1995 a 2010 e das estações de MN (rio Solimões) M (Negro) e FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas)

**BALANÇO DE MASSA - FLUXO MÉDIO DE CARGA LÍQUIDA E DE MATÉRIA DISSOLVIDA**

Rios/Estações	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição
	dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> Ca	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> Ca		dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> Mg	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> Mg	
Solimões (MN)	79614,35	29059238,35	85%	10670,29	3894657,60	66%
Negro (M)	3401,37	1241501,72	4%	1550,43	565907,81	10%
Madeira (FVA)	11110,82	4055449,07	12%	4022,50	1468211,81	25%
Amazonas (OB)	88897,14	32447456,55		15747,76	5747930,94	
MN+M+FVA	94126,55	34356189,14		16243,23	5928777,22	
Diferença	-5229,40	-1908732,59		-495,47	-180846,28	

Rios/Estações	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição
	dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> Na	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> Na		dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> K	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> K	
Solimões (MN)	27325,70	9973879,06	73%	7374,78	2691794,71	53%
Negro (M)	5064,79	1848649,38	14%	3246,36	1184921,38	23%
Madeira (FVA)	5069,00	1850185,88	14%	3309,59	1208000,86	24%
Amazonas (OB)	30503,40	11133742,81		14419,83	5263237,91	
MN+M+FVA	37459,49	13672714,33		13930,73	5084716,95	
Diferença	-6956,09	-2538971,52		3735,46	178520,96	

Rios/Estações	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição
	dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> HCO3	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> HCO3		dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> Cl	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> Cl	
Solimões (MN)	290138,44	105900530,70	81%	29341,95	10709812,95	89%
Negro (M)	20803,51	7593281,88	6%	1919,60	700654,74	6%
Madeira (FVA)	47483,53	17331489,45	13%	1664,69	607610,78	5%
Amazonas (OB)	315624,55	115202960,69		27866,50	10171270,73	
MN+M+FVA	358425,49	130825302,03		32926,24	12018078,47	
Diferença	-42800,94	-15622341,35		-5059,75	-1846807,74	

Rios/Estações	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição	Fluxo matéria	Fluxo matéria	Contribuição
	dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> SO4	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> SO4		dissolvida ton.dia <sup>-1</sup> Si	dissolvida ton.ano <sup>-1</sup> Si	
Solimões (MN)	30503,23	11133679,44	73%	30349,61	11077608,16	59%
Negro (M)	1271,83	464218,23	3%	1225,29	4472085,93	24%
Madeira (FVA)	9912,22	3617959,36	24%	8782,48	3205605,28	17%
Amazonas (OB)	39994,76	14598086,49		62418,06	22782591,25	
MN+M+FVA	41687,28	15215857,03		51384,38	18755299,37	
Diferença	-1692,52	-617770,53		11033,68	4027291,88	

OB = Óbidos  
 MN = Manacapuru  
 FVA = Fazenda Vista Alegre  
 M = (Serrinha+Caracaraí)

Rios/Estações	Carga Líquida Vazão m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	Contribuição
Solimões (MN)	101094,18	68%
Negro (M)	19057,62	13%
Madeira (FVA)	27483,25	19%
Amazonas (OB)	177372,8148	
MN+M+FVA	147635,05	
Diferença	29737,76284	

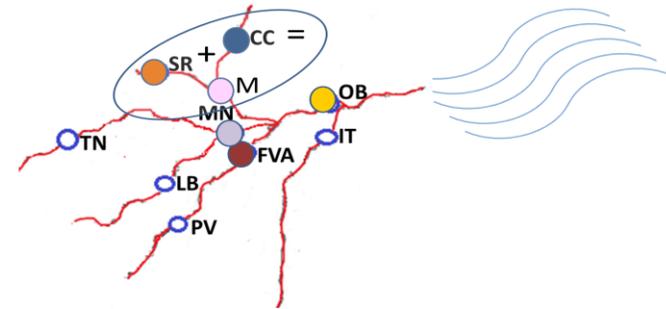


Tabela 16: Porcentagem mensal de íons (MN + FVA+ M = OB) no período de 1995 a 2010

		MN+FVA+M = OB											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>MN</b>	85%	84%	84%	84%	84%	87%	88%	88%	87%	88%	88%	93%
	<b>FVA</b>	13%	14%	14%	13%	12%	8%	6%	6%	6%	7%	9%	4%
	<b>M</b>	2%	2%	2%	2%	4%	5%	6%	6%	6%	5%	3%	3%
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>MN</b>	67%	65%	64%	64%	63%	70%	72%	73%	71%	73%	74%	83%
	<b>FVA</b>	27%	30%	31%	30%	28%	17%	14%	12%	12%	13%	17%	8%
	<b>M</b>	6%	5%	5%	6%	8%	13%	14%	16%	17%	14%	9%	9%
<b>Na<sup>+</sup></b>	<b>MN</b>	72%	75%	74%	71%	71%	70%	71%	83%	80%	76%	79%	87%
	<b>FVA</b>	19%	18%	19%	21%	14%	10%	9%	6%	6%	7%	7%	2%
	<b>M</b>	9%	7%	7%	8%	15%	20%	20%	11%	14%	18%	14%	11%
<b>K<sup>+</sup></b>	<b>MN</b>	56%	59%	54%	59,42%	59%	61%	68%	79%	78%	64%	62%	74%
	<b>FVA</b>	36%	33%	39%	40,56%	26%	16%	13%	10%	9%	9%	15%	7%
	<b>M</b>	8%	8%	7%	0,01%	14%	23%	18%	10%	13%	27%	24%	19%
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>MN</b>	80%	80%	78%	82%	83%	87%	84%	84%	85%	83%	78%	88%
	<b>FVA</b>	16%	17%	19%	16%	13%	6%	8%	6%	6%	6%	11%	5%
	<b>M</b>	4%	3%	3%	2%	4%	6%	8%	10%	9%	11%	10%	6%
<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>MN</b>	92%	90%	90%	85%	83%	83%	89%	92%	93%	94%	94%	96%
	<b>FVA</b>	5%	6%	7%	10%	8%	4%	3%	2%	2%	2%	4%	1%
	<b>M</b>	3%	4%	3%	6%	9%	13%	8%	6%	4%	5%	3%	3%
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>MN</b>	74%	76%	72%	65%	65%	82%	77%	83%	84%	86%	84%	85%
	<b>FVA</b>	23%	21%	26%	33%	29%	15%	18%	14%	13%	12%	15%	14%
	<b>M</b>	3%	2%	2%	2%	6%	3%	5%	3%	2%	2%	1%	1%
<b>Si</b>	<b>MN</b>	61%	62%	61%	62%	61%	64%	65%	67%	64%	66%	64%	69%
	<b>FVA</b>	19%	22%	26%	24%	21%	10%	7%	5%	4%	4%	10%	6%
	<b>M</b>	19%	15%	14%	14%	18%	26%	27%	28%	32%	30%	26%	25%

MN = Manacapuru; FVA = Fazenda Vista Alegre; M = Serrinha+ Caracará

Tabela 17: Porcentagem mensal de carga líquida (MN + FVA+ M = OB) no período de 1995 a 2010

		Vazão											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>MN</b>		67%	65%	64%	64%	64%	68%	73%	74%	73%	73%	73%	72%
<b>FVA</b>		23%	27%	30%	28%	23%	14%	9%	7%	6%	6%	11%	15%
<b>M</b>		10%	8%	7%	8%	12%	18%	19%	19%	21%	20%	16%	12%

MN = Manacapuru; FVA = Fazenda Vista Alegre; M = Serrinha+ Caracará

A partir da Tabela 16, para demonstrar de forma resumida a contribuição do fluxo mensal de matéria iônica dissolvida nos rios da Amazônia, obteve-se as Figuras 45, 46 e 47. Na Figura 45 (cálcio, bicarbonato, cloreto e sulfato), observa-se que o rio Negro e Madeira, contribuíram em uma faixa de 0-25%, enquanto o Solimões contribuiu de 75-100% de fluxo de matéria dissolvidas para o rio Amazonas. Na Figura 46 (magnésio, sódio, e potássio), o rio Negro e Madeira, contribuíram em uma faixa de 0-25%, enquanto o Solimões contribuiu de 50 -75% de fluxo de matéria dissolvidas. Na Figura 46 (silício) o rio Negro, contribuí com uma faixa de 25 - 50%, enquanto o Madeira com 0-25% e o Solimões contribui em uma faixa 50 -75% de fluxo de matéria dissolvidas.

Figura 45: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).

### CONTRIBUIÇÃO MENSAL DE CÁLCIO , BICARBONATO, CLORETO E SULFATOS NOS RIOS NEGRO,SOLIMÕES, MADEIRA E AMAZONAS - (PERÍODO 1995-2010)

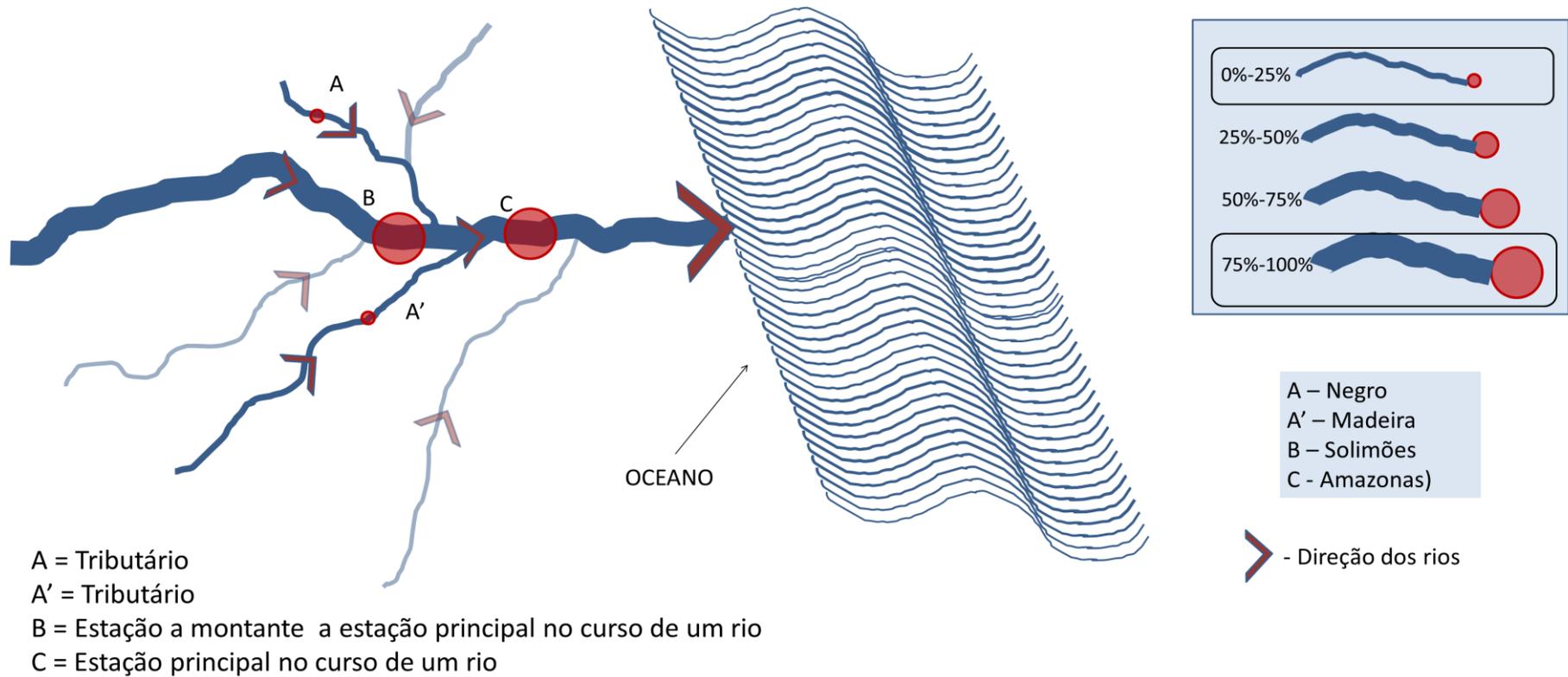


Figura 46: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).

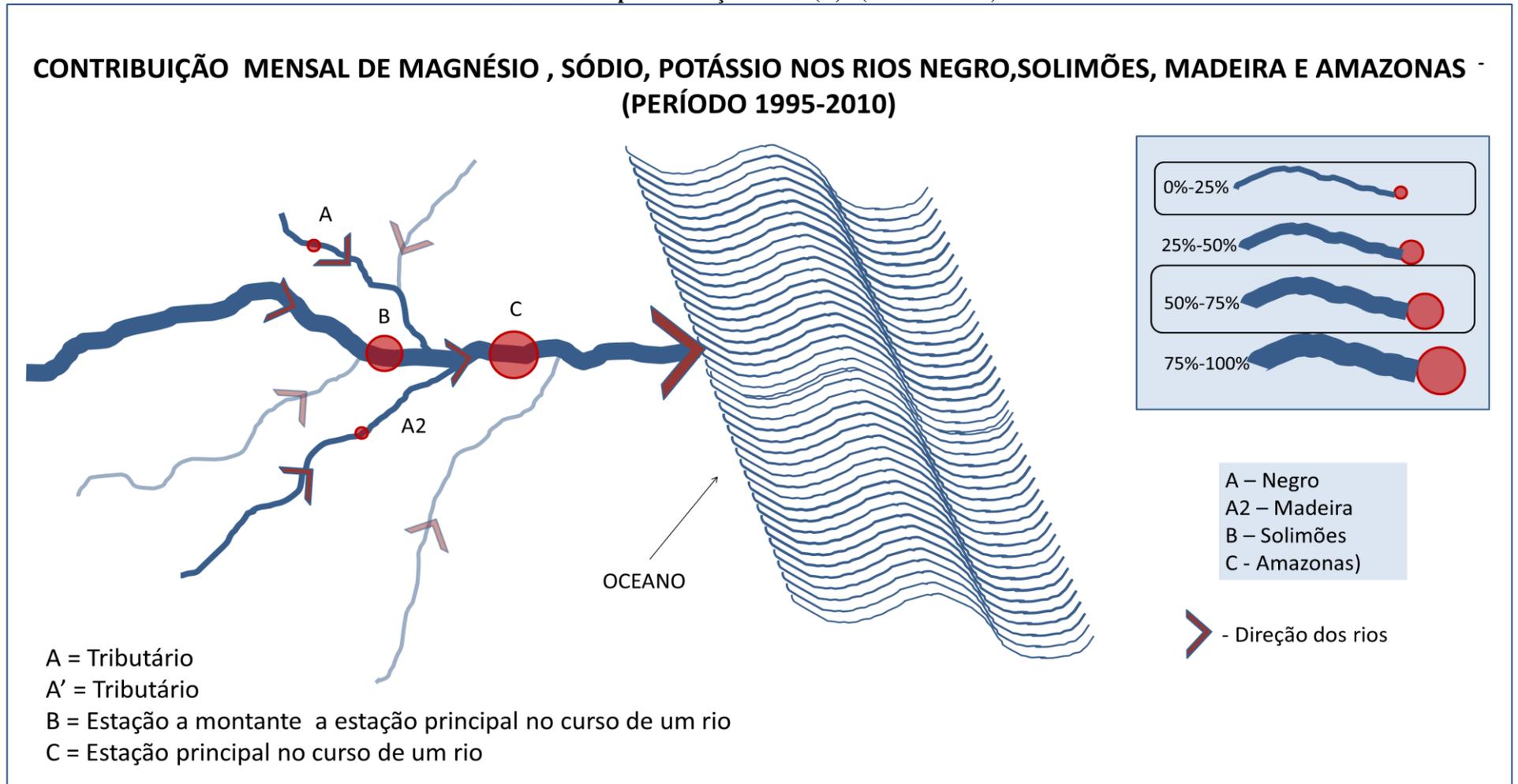
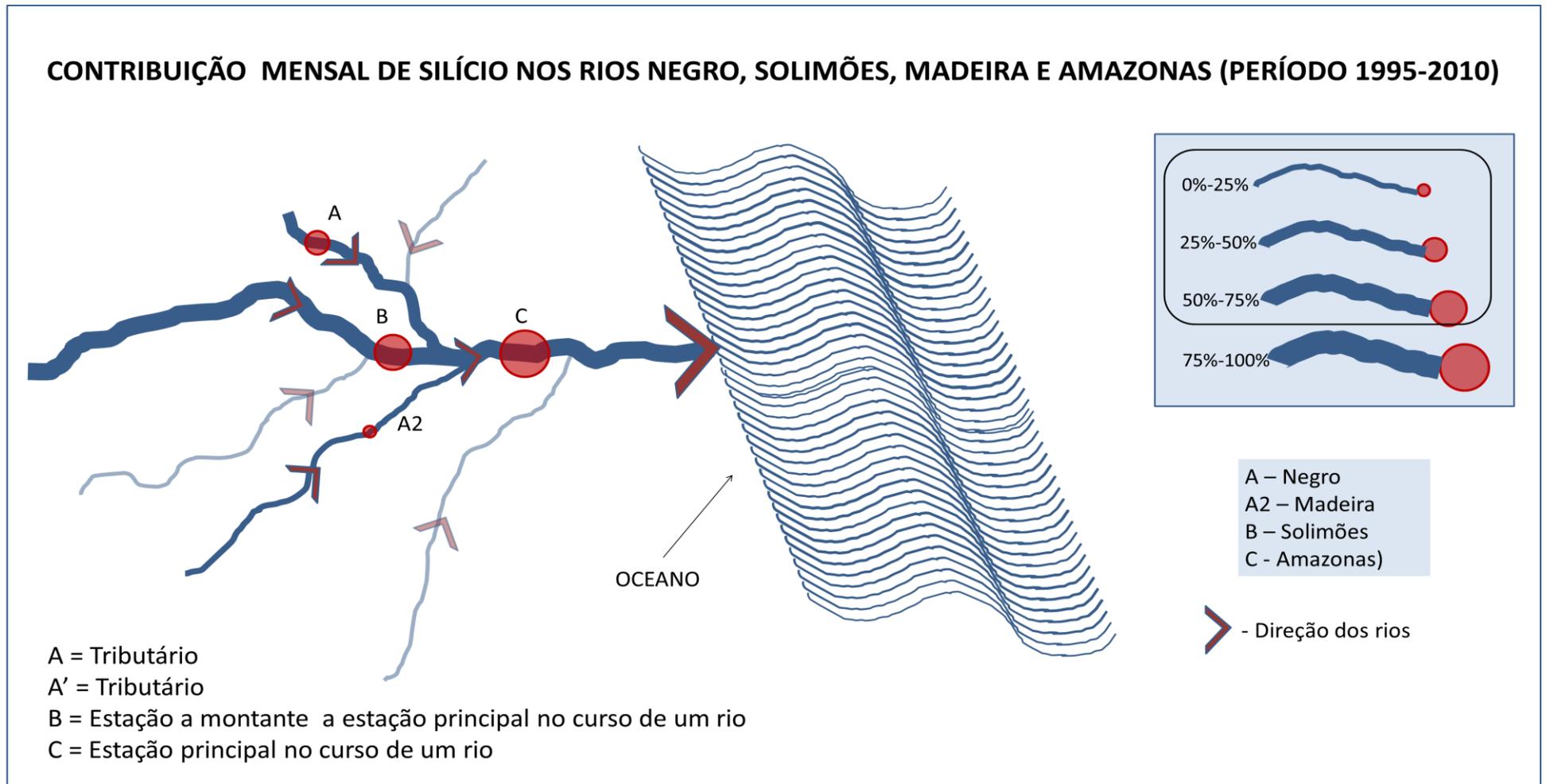


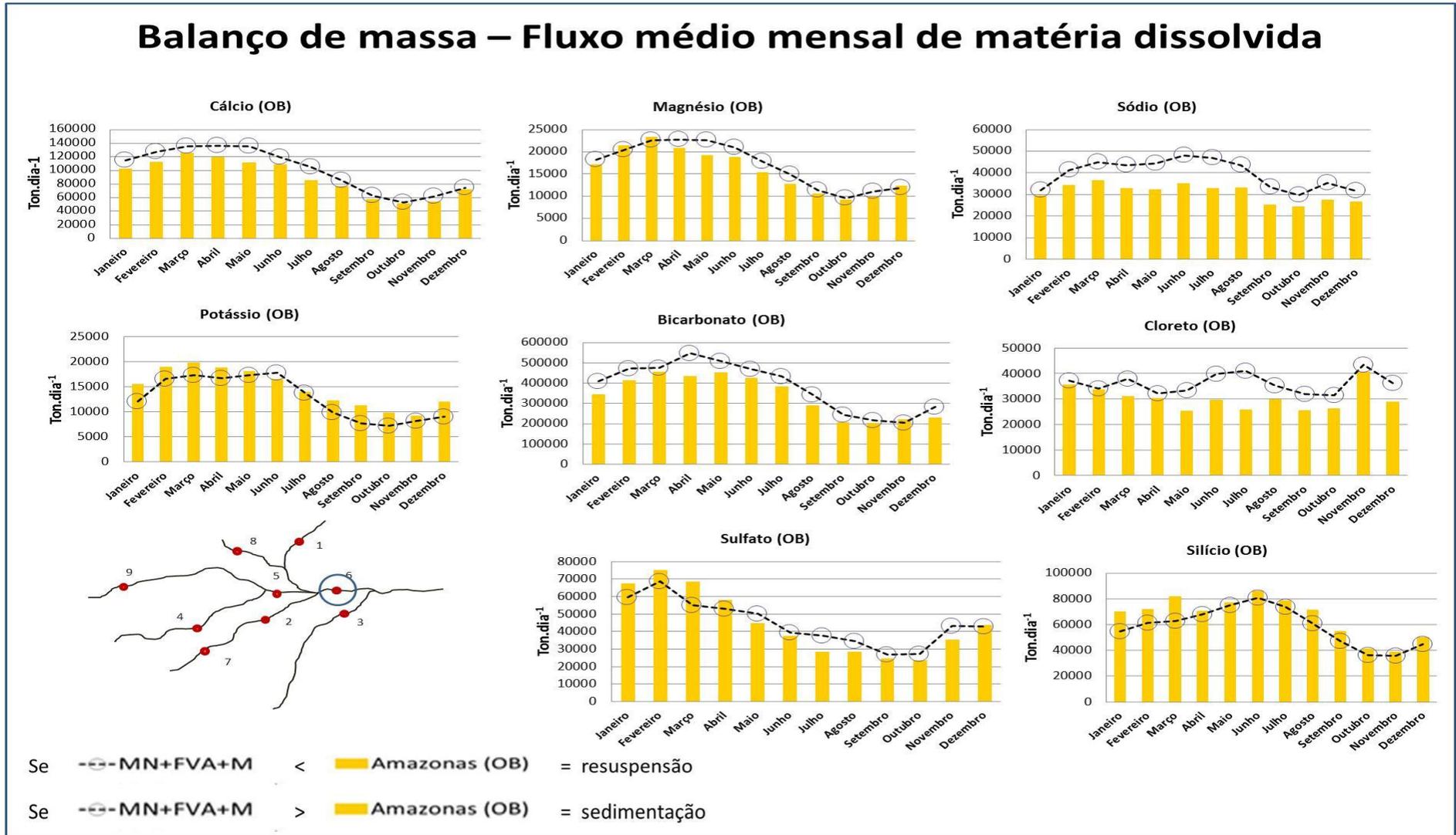
Figura 47: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal nas estações de MN (B) - (rio Solimões) M (A) - (Negro) e FVA (A2) - (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (C) - (rio Amazonas).



No que diz respeito à capacidade de sedimentação e resuspensão da matéria iônica dissolvida mensal, obteve-se as Figura 48,49,50,51 e 52. A Figura 48 mostra o resultado final da somatória (M+MN+FVA) do fluxo mensal de matéria iônica dissolvida das estações MN (rio Solimões), M (Negro) e FVA (rio Madeira) em comparação a estação principal OB no rio Amazonas. As Figuras 49, 50,51e 52 (ANEXO II) mostra a estimativa de fluxo de matéria dissolvida mensal individuais de cada uma das estações da somatória, juntamente com a estação de OB em comparação a vazão média interanual mensal dessas estações.

Na Figura 48, observa-se que cálcio, sódio e cloreto possuem a tendência a sedimentar (linha da somatória MN+FVA+M, acima da linha da estação de comparação OB) em todos os meses. Silício tende a ressuspender (linha da somatória MN+FVA+M, abaixo da linha da estação de comparação OB) em todos os meses. Bicarbonato tende a sedimentar na maioria dos meses e ressuspender em apenas um mês. Magnésio sedimenta em quase todos os meses e ressuspende em três meses. Sulfato ressuspende em cinco meses e o restante sedimenta. Para cálcio, houve sedimentação e a contribuição percentual de MN foi 84% a 93%, FVA de 4% a 14% e M de 2% a 6% (Tabela 16). Magnésio ressuspendeu apenas em fevereiro, março e dezembro, sua contribuição, variou de 63% a 83% em MN, 8% a 31% em FVA e 5% a 17% em M. (Tabela 16). Para sódio, somente houve sedimentação, com variação de 70% a 87% em MN, 2% a 21% em FVA e 7% a 20% em M (Tabela 16). Para potássio, nesse trecho houve somente sedimentação no mês de junho, variando de 54% a 79% em Mn, 9% a 41% em FVA e 0,01% a 27% em M (Tabela 16). Os bicarbonatos, ressuspenderam-se apenas em novembro, o restante dos meses houve sedimentação com variação de 78% a 88% em MN, 5% a 19% em FVA e 2% a 11% em M. (Tabela 16). Os cloretos sofreram sedimentação em todos os meses, variando de 83% a 96% em MN, 1% a 10% em FVA e 3% a 13% em M. (Tabela 16). Os sulfatos sedimentaram-se de maio a novembro e o restante dos meses ressuspenderam-se, variando de 65% a 86% em MN, 12% a 33% em FVA e 1% a 5% em M. (Tabela 16). Para silício houve apenas ressuspensão, variando de 61% a 69% em MN, 4% a 26% em FVA e 14% a 32% em M. (Tabela 16).

Figura 48: Balanço de massa mensal de matéria iônica dissolvida no período de 1995 a 2010



## 6 CONCLUSÃO

A partir da série histórica de 15 anos (1995-2010) da base de dados do Ore-Hybam, foram obtidos 5.221 dados de íons maiores. Através do registro da variabilidade da Bacia como um todo pela análise interanual e mensal, houve alguns valores discrepantes de coeficiente de variação, isso se deve a presença de alguns valores superiores em comparação com valores registrados no mesmo período.

No que diz respeito à variabilidade sazonal das cotas nos rios estudados, pode-se afirmar que os resultados obtidos confirmam com o que foi encontrado por outros autores. Sabe-se que na parte superior da Bacia Amazônica os índices pluviométricos ocorrem de maio a junho, enquanto na parte inferior da Bacia de dezembro a março. Nos resultados obtidos, na parte norte da Bacia, nos rios Branco e Negro, apresentam maiores valores em junho e julho respectivamente. Na parte intermediária da Bacia Solimões-Amazonas, variam entre maio e junho e na parte inferior da Bacia nos rios Purus, Madeira e Tapajós as maiores cotas ocorrem entre abril e maio. Quanto a variabilidade da descarga, o Amazonas apresenta a maior valor, apesar de apresentar uma das menores cotas, o inverso ocorre com o Purus, ele apresenta uma das menores vazões, porém a apresenta uma das maiores cotas.

Quanto as concentrações de elementos maiores, os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) apresentam as maiores concentrações em todas as estações e a maior concentração comparado aos outros íons. Pode-se afirmar que os valores encontrados das concentrações dos elementos maiores nesse estudo, ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^+ > \text{Si} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ ) são semelhantes aos valores médios mundiais de espécies químicas dissolvidas mais abundantes: ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^+ > \text{Si} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ ). Ainda sobre as concentrações dos elementos, a maioria das maiores concentrações dos elementos estudados, apresentam-se nos rios de água branca (Solimões ( $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), Madeira ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Purus ( $\text{Si}$ )) e as menores no rio de água preta (Negro) seguido do rio de água clara (Tapajós), o que é de se esperar, visto que os rios amazônicos são classificados de acordo com essas características, sendo de águas brancas possuem elevada carga de sedimentos em suspensão, os de águas pretas, são pobres em sólidos dissolvidos e em suspensão e os de águas claras apresentam pouco material em suspensão. Porém na literatura diz que os rios de água preta apresentam maiores concentrações de sódio e potássio, isso não ocorreu nesse estudo. Outra observação, é o rio Branco em CC, que é classificado de modo geral como rio de água branca, porém em relação as concentrações dos elementos, apresenta as características dos rios de água preta, com concentração muito inferior comparadas a outros rios também classificado como de água

branca, como é afirmado na literatura que diz que devido a esta característica desse rio, muitos autores acabam o classificando como rio de águas semibrancas.

Quanto ao comportamento dos elementos maiores em relação à cota e vazão, os resultados obtidos, demonstram que na grande maioria dos elementos, são independentes das concentrações das cotas e vazões, ou seja, na medida em que ocorrem as maiores cotas ou vazões, as concentrações dos elementos estão baixas e quando as concentrações desses elementos se encontram elevadas, as cotas e vazões possuem valores menores.

As análises estatísticas mostraram que na análise de Cluster de forma geral em cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto e sulfato as estações de SR (rio Negro) rio de água preta, IT (rio Tapajós) rio de água clara e CC (rio Branco) rio de água branca pertencem ao mesmo grupo, logo apresentam características semelhantes, como descritos anteriormente, são as estações que apresentam os menores valores de concentração. Quanto a correlação de Pearson, de forma geral mostrou que existe uma ótima correlação entre bicarbonato e cálcio e bicarbonato com sódio, cloreto com cálcio, cloreto com sódio e sulfato com magnésio. Na literatura, diz que o solo da Amazônia é resultante da grande diversidade geológica, aliada ao diferenciado relevo, sob altas temperaturas e precipitações pluviométricas características do clima equatorial quente super úmido e úmido que é o amazônico, favorece os processos de intemperização de rochas e lixiviação dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos (CÁUPER, 2006), logo a análise de correção de Pearson confirmam esses resultados, indicando a presença dos elementos maiores dissolvido que podem apresentar-se em combinações de diferentes sais, como bicarbonato de cálcio, bicarbonato de sódio, cloreto de cálcio, cloreto de sódio e sulfato de magnésio.

Para o cálculo de fluxo, Observa-se que os menores fluxos ocorrem nos rios Branco, Negro e Purus e os maiores fluxos ocorrem nos rios Amazonas e Solimões (OB, MN e TN respectivamente). Seguindo a ordem decrescente (OB > MN > TN > FVA > PV > IT > LB > CC > SR). Em relação aos elementos, há maior fluxo de bicarbonato, seguido de cálcio, conforme as concentrações brutas desses elementos ( $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Si} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ ). Em 1997, Mortatti et al encontrou para  $\text{HCO}_3^-$   $131,5 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ ,  $\text{SiO}_2$   $38,1 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$  e  $\text{Ca}^{2+}$   $33,9 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ . Para esses elementos, se encontrou respectivamente  $115,2 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ ,  $22,8 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$  e  $32,4 \times 10^6 \text{ ton.ano}^{-1}$ , ou seja, são valores aproximados. Quanto aos resultados obtidos do balanço de massa mostram que o rio Solimões é o maior contribuinte no fluxo de elementos maiores para a estação de Óbidos e de seus tributários, o rio Madeira é seu maior contribuinte.

## 7 REFERÊNCIAS

AMARAL, M.T; VALE, R.C.S. Biodiversidade Amazônica. Conferência Biodiversidade na Amazônia X Mudanças climáticas: causas e conseqüências. 60ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Campinas ,SP. 2008. Disponível em: < <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/biodiversidade-amazonica/biodiversidade-amazonica-2.php>> Acesso em 17 de fevereiro de 2010

ANA a – Agência Nacional de Águas – Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/hibam/>> Acesso em: 20 de jun de 2009.

ANA b – Agência Nacional de Águas – Disponível em:  
<<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaA.asp>> Acesso em: 25 de ago de 2009.

APHA - American Public Health Association. Standart Methods for the examination of water and wastewater. 16 ed. Washington, 1985.

AUCOUR, A.M.; TAO, F.X.; TURC, P.M.; SEYLER, P.; SHEPPARD S.; BENEDETTI, M.F. The Amazon River: behaviour of metals (Fe, Al, Mn)and dissolved organic matter in the initial mixing at theRio Negro/Solimões confluence: Chemical Geology, n. 197, p. 271-285, 2003.

BENEDETTI, M. et al, 2003. Carbon and metal concentrations, size distributions and fluxes in major rivers of the Amazon basin. Hidrological Processes, 17: 1363-1377.

BARSA a. Encyclopedia Britannica do Brasil Ltda.Volume 2. Rio de Janeiro – São Paulo, 1995. p.223.

BARSA c. Encyclopedia Britannica do Brasil Ltda.Volume 13. Rio de Janeiro – São Paulo, 1995. p.91.

BARSA d. Encyclopedia Britannica do Brasil Ltda.Volume 1. Rio de Janeiro – São Paulo, 1995. p.516

BARSA e. Encyclopedia Britannica do Brasil Ltda.Volume 1. Rio de Janeiro – São Paulo, 1995. p.23.

BARSA f. Encyclopedia Britannica do Brasil Ltda.Volume 1. Rio de Janeiro – São Paulo, 1995. p.390.

CAMPOS, Z. E. S. Parâmetros físico-químicos em igarapés de água clara e preta ao longo da rodovia BR-174 entre Manaus e Presidente Figueiredo – AM. 1994. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Fundação Universidade do Amazonas – INPA/FUA, Manaus.

CÁUPER, G.C.B. Biodiversidade Amazônica – Volume 1 - 2006. Disponível em:  
<[www.povosamazonia.am.gov.br/pdf/bio\\_voll.pdf](http://www.povosamazonia.am.gov.br/pdf/bio_voll.pdf) > Acesso em: 15 de set de 2012.

- CARVALHO, I. G. Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos. Salvador: Bureau Gráfica e Editora Ltda, 1995. 213p.
- CERQUEIRA, W. Rio Amazonas. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/brasil/rio-amazonas.htm>> Acesso em: 29 de ago de 2009.
- CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>> Acesso em 25 de jan de 2010.
- CHAPMAN, Deborah. Water Quality Assessments. A guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 1. ed. London: Capman &Hall,1992.
- CUNHA, Hillândia Brandão; PASCOALOTO, Domitila. Hidroquímica dos Rios da Amazônia. Centro Cultural dos Povos da Amazônia. Manaus, 2006. Disponível em: <[http://www.povosamazonia.am.gov.br/pdf/res\\_hid\\_qui.pdf](http://www.povosamazonia.am.gov.br/pdf/res_hid_qui.pdf)> Acesso em: 15 de dez de 2009.
- DEVOL, A.H., Forsberg, B.R., Richey, J.E., Pimentel, T.P., 1995. Seasonal variation in chemical distributions in the Amazon (Solimoes) River: a multiyear time series. Global Biogeochem. Cycles 9 (3), 307-328.
- EDMOND, J.M., Palmer, M.R., Measures, C.I., Grant, B., Stallard, R.F., 1995. The fluvial geochemistry and denudation rate of the Guayana Shield in Venezuela, Colombia, and Brazil. Geochim. Cosmochim. Acta 59, 3301-3325.
- ESTEVES, Francisco. Fundamentos de Limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FERREIRA, J.R., Devol, A.H., MartineUi, L.A., Forsberg, B.R., Victoria, R.L., Richey, J.E., Mortatti, J., 1988. Chemical composition of the Madeira River: seasonal trends and total In: Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers. Mitt. Geol. Paläontol. Inst. Univ. Hambourg, SCOPE/UNEP Sonderband (66), pp. 63-75.
- FIGUEIREDO, Ricardo. II Congresso Internacional de Ecologia Humana na Amazônia. Apresentação de palestra intitulada Ciclos Biogeoquímicos na Amazônia: estudos hidrogeoquímicos em bacias hidrográficas. 2005
- FILIZOLA, Naziano; GUYOT, Jean. Balanço de fluxo de sedimentos em suspensão da Bacia Amazônica. Workshop Geotecnologias aplicadas as áreas de várzea da Amazônia. – Manaus: Ibama, 2007.
- FILIZOLA, et al,2002. In: RIVAS, Alexandre & FREITAS, Carlos Edwar de Carvalho. Amazônia: uma perspectiva interdisciplinar. Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 2002.
- FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). Revista Brasileira de Geociências..41(4): 587-596, dezembro de 2011.Disponível em:< [ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/viewFile/17886/17367](http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/viewFile/17886/17367)> Acesso em: 15 de set de 2012.

GIBBS, R.J., 1967. The geochemistry of the Amazon River system. The factors that control the salinity, composition and concentration of the suspended solids. Geol. Soc. Am. Bull. 78, 1203-1232.

GERARD, M.; SEYLER, P.; BENEDETTI, M.F.; ALVES, V.P.; BOAVENTURA, G.R.; SONDAG, F. Rare earth elements in the Amazon basin: Hidrological Processes, n. 17, p. 1379-1392, 2003.

GUYOT, Jean Hidrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. *Etudes & Thèses*, ORSTOM, Paris, 1993.

GUYOT, Jean. JOUANNEAU, J.M; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.; MAILLET, N.; LAGANE, C. ; Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, 2007.

HIBAM. Disponível em: <[http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/methodeelts\\_sp.htm](http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/methodeelts_sp.htm)> Acesso em 29 de Ago de 2009.

MARTINELLI, L. et al, 1989. Descarga de sólidos dissolvidos totais do Rio Amazoas e seus principais tributários. *Geochim. Brasil*, 3(2): 141-148.

MENIN, M. Amazônia: diversidade biológica e história geológica. Disponível em: <<http://www.zoologiaufam.xpg.com.br/Aulas%20Vertebrados%202012/HistoriaBiodiversiad eAmazonia.pdf>> Acesso em: 17 de fevereiro de 2010.

MONTEIRO, Telma. Complexo Hidrelétrico do rio Tapajós. Disponível em : <<http://www.foe.org.br/opiniaoprint.cfm?id=346781>> Acesso em: 01 de set de 2010.

MOREIRA, J. E. Inventário Hidrelétrico do rio Madeira. 2002. Disponível em:<[http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=inventario%20rio%20madeira&source=web&cd=3&cad=rja&sqi=2&ved=0CC8QFjAC&url=http%3A%2F%2Fphilip.inpa.gov.br%2Fpubl\\_livres%2FDossie%2FMad%2FDocumentos%2520Oficiais%2FRio%2520Madeira%2520inventario%2FVOL.1%2Fcap%25201.DOC&ei=4u5MUPOdOpTi9gT6kYCoCA&usg=AFQjCN F0dN-qXcADq0aUwliOH8VjgqBLJw](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=inventario%20rio%20madeira&source=web&cd=3&cad=rja&sqi=2&ved=0CC8QFjAC&url=http%3A%2F%2Fphilip.inpa.gov.br%2Fpubl_livres%2FDossie%2FMad%2FDocumentos%2520Oficiais%2FRio%2520Madeira%2520inventario%2FVOL.1%2Fcap%25201.DOC&ei=4u5MUPOdOpTi9gT6kYCoCA&usg=AFQjCN F0dN-qXcADq0aUwliOH8VjgqBLJw)> Acesso em: 20 de agosto de 2012.

MORTATTI, J. et al, 1997. Balanço de alteração e erosão química na Bacia Amazônica. . *Geochim. Brasil*, 11 (1): 099-111.

NETO, A.R. Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira. Tese de doutorado. 2006. Disponível em:<[www.coc.ufrj.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=300&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+nonauthorized+domain.+%28www.google.com.br%29](http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=300&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+nonauthorized+domain.+%28www.google.com.br%29)> Acesso em: 17 de fevereiro de 2010.

NUNES de Mello J.A, BARROS, WG,. Enchentes e vazantes do rio Negro medidas no porto de Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 31(2): 331-337, 2001.

ORE- HYBAM - Disponível em: <[http://mafalda.teledetection.fr/hybam/ore-hybam/index.php?lang\\_config=br](http://mafalda.teledetection.fr/hybam/ore-hybam/index.php?lang_config=br)> Acesso em: 29 de ago de 2009

ORE-HYBAM (b). Disponível em:

<[http://www.ore-hybam.org/index.php/por/choixstation/selbassin?list\\_sta=choix](http://www.ore-hybam.org/index.php/por/choixstation/selbassin?list_sta=choix)> Acesso em 23 de Fev de 2010.

ORE-HYBAM (c). Disponível em:

<<http://www.ore-hybam.org/index.php/por/Tecnicas/Analises-em-laboratorio>> Acesso em 24 de Mai de 2010.

PNRH –Plano Nacional de Recursos Hídricos – Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>> Acesso em: 29 de out de 2009.

PORTAL AMAZONIA . Disponível em:  
<<http://portalamazonia.globo.com/pscript/amazoniadeaaz/artigoAZ.php?idAz=365>> Acesso em: 01 de set de 2010.

REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B. Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação. 2.º Edição Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo – 2002. Disponível em:<[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos\\_agua\\_doce/variacoes\\_da\\_quantidade\\_e\\_e\\_da\\_qualidade\\_dos\\_recursos\\_hidricos.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_doce/variacoes_da_quantidade_e_e_da_qualidade_dos_recursos_hidricos.html)>Acesso em: 17 de fevereiro de 2010.

RICHEY, J. et al, 1989. Sources and Routing of the Amazon River Flood Wave. Global Biogeochemical Cycles, Vol.3. N.3, p.191 -204.

RICARDO, Mateus. et al. Análise e aplicação de perfiladores acústicos doppler para medição de vazão em pequenas centrais hidrelétricas. In: VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008, Belo Horizonte.

RODDAZ, Martin; VIERS, Jérôme ; BRUSSET, Stéphane ; BABY, Patrice ; BOUCAYRAND, Carole ; HÉRAIL, Gérard. Controls on weathering and provenance in the Amazonian foreland basin: Insights from major and trace element geochemistry of Neogene Amazonian sediments: Chemical Geology, n. 226, p.31-65, 2006.

SEYLER, Patrick; BOAVENTURA, Geraldo. Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin: Hydrological Processes, n. 17, p. 1345-1361, 2003.

SHUKLA, J., NOBRE, C.A. e SELLERS, P. Amazon Deforestation and Climate Change. Science, 247, 1322-5, 1990.

SIOLI, H., 1957. Sedimentation im Amazonasgebiet. Geologische Rundschau, 45:608-633.

SIOLI, H. 1964. General features of the limnology of Amazonia. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie 15: 1053–1058.

SIOLI, H. 1965. Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flusse. Amazoniana 1: 74–83.

SIOLI, H. Tropical River as Expressions of their Terrestrial Environments. In: GOLLEY, F.B; MEDINA, E. (Eds). Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Reserarch. Berlin: Springer-Verlag. 1975. p. 289-312.

SIOLi, H. Tropical River: The Amazon. In: Whitton, B.A, ed. River Ecology. Berkeley: U.C. Press. 1975. p. 461-487.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses; and river types. In: SIOLI, H. (Ed.). The Amazon. Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht: Dr. W. JUNK Publishers, 1984. p. 127 - 165 p.

STALLARD, R.F., 1980. Major Element Chemistry of the Amazon River System. Ph.D. dissertation, MIT/WHOI.

STALLARD, RF, Edmond JM. 1983. Geochemistry of the Amazon: the influence of geology and weathering environment on the dissolved load. Journal of Geophysical Research 88: 9671–9688.

STALLARD, R.F., Edmond, J.M., 1987. Geochemistry of the Amazon, 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. J Geophys. Res. 92, 8293-8302.

VITAL, Helenice; STATTEGGER, Karl. Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River: Chemical Geology, n. 168, p.151-168, 2000.

VOLECHEN, V. Aspectos geográficos da Região Norte. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/30896706/Amazonia>> Acesso em 17 de fevereiro de 2010.

USSAMI, H. Bacia Hidrográfica do Rio Branco/RR. Estudos de Inventário Hidrelétrico.2010. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/MEIOAMBIENTE/Documents/AAI%20Branco/9%20-%20Inventario%20Hidreletrico%20Branco%20-%20Diagnostico%20Socioambiental%20-%20Parte%201.pdf>>acesso em:20 de agosto de 2012.

WELCOMME, RL, River fisheries FAO Fish. Tech. Pap., (262): 330, 1985.

ZEIDEMANN, V.K. O rio das águas negras, 2001. . Disponível em: <<http://ecologia.ib.usp.br/guiaignapo/images/livro/RioNegro02.pdf>> Acesso em: 15 de set de 2012.

.

## ANEXO I

**Tabela 18:** Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - cálcio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864) \*365.

Rios	Cálcio								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	88	1,65	0,40	24,21	3478,43	470,28	171653,58
Madeira (FVA)	05/97	10/10	71	5,56	1,92	34,44	27483,25	11110,82	4055449,07
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	1,61	2,19	136,41	11076,88	1823,38	665532,52
Purus (LB)	10/96	10/10	62	6,06	3,16	52,18	6183,34	2407,22	878635,31
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	10,11	2,41	23,87	101094,18	79614,35	29059238,35
Solimões (TN)	10/95	10/10	84	20,19	4,24	21,00	35455,71	60548,34	22100143,78
Amazonas (OB)	03/95	12/10	81	6,00	1,83	30,46	177372,81	88897,14	32447456,55
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	8,46	3,08	36,39	17227,97	10720,66	3913039,17
Negro (SR)	07/96	12/10	60	0,43	0,20	46,27	16010,95	597,04	217918,65

**Tabela 19: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - magnésio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.**

Rios	Magnésio								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	88	0,82	0,18	22,19	3478,43	229,55	83787,10
Madeira (FVA)	05/97	10/10	71	1,96	0,60	30,72	27483,25	4022,50	1468211,81
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	0,60	0,32	53,71	11076,88	575,40	210021,41
Purus (LB)	10/96	10/10	62	1,23	0,61	49,85	6183,34	504,12	184002,26
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	1,38	0,29	21,08	101094,18	10670,29	3894657,60
Solimões (TN)	10/95	10/10	84	2,37	0,56	23,81	35455,71	6968,34	2543445,79
Amazonas (OB)	03/95	12/10	81	1,07	0,34	31,55	177372,81	15747,76	5747930,94
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	2,72	0,89	32,56	17227,97	3535,38	1290414,76
Negro (SR)	07/96	12/10	60	0,14	0,06	46,57	16010,95	193,32	70560,50

**Tabela 20: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - sódio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.**

Rios	Sódio								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	88	2,40	0,91	38,08	3478,43	641,72	234226,76
Madeira (FVA)	05/97	10/10	70	2,73	1,36	49,75	27483,25	5069,00	1850185,88
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	1,01	2,00	197,32	11076,88	1251,87	456931,86
Purus (LB)	10/96	10/10	62	1,79	0,78	43,50	6183,34	770,42	281204,18
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	3,85	1,45	37,81	101094,18	27325,70	9973879,06
Solimões (TN)	10/95	10/10	84	8,13	3,23	39,69	35455,71	23114,17	8436671,31
Amazonas (OB)	03/95	12/10	80	2,19	0,97	44,10	177372,81	30503,40	11133742,81
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	2,92	1,18	40,63	17227,97	3564,03	1300870,49
Negro (SR)	07/96	12/10	54	0,69	0,89	128,38	16010,95	915,42	334128,50

Tabela 21: Características encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - potássio. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup>(Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.

Rios	Potássio								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	88	1,50	0,56	37,62	3478,43	428,23	156302,69
Madeira (FVA)	05/97	10/10	70	1,42	0,32	22,64	27483,25	3309,59	1208000,86
Tapajós (IT)	10/97	12/10	69	1,00	0,90	89,75	11076,88	1110,34	405274,72
Purus (LB)	10/96	10/10	62	1,13	0,29	25,81	6183,34	548,96	200370,43
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	0,98	0,30	30,31	101094,18	7374,78	2691794,71
Solimões (TN)	10/95	10/10	83	1,30	0,22	16,95	35455,71	3908,19	1426488,88
Amazonas (OB)	03/95	12/10	80	0,98	0,36	36,95	177372,81	14419,83	5263237,91
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	1,51	0,24	15,81	17227,97	2343,01	855199,64
Negro (SR)	07/96	12/10	54	0,44	0,32	71,66	16010,95	548,95	200366,71

Tabela 22: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - bicarbonatos. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> . QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.

Rios	Bicarbonatos								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	83	13,33	5,47	41,02	3478,43	3344,68	1220808,27
Madeira (FVA)	05/97	10/10	68	23,34	7,05	30,22	27483,25	47483,53	17331489,45
Tapajós (IT)	10/97	10/10	63	8,69	4,01	46,17	11076,88	7692,47	2807752,73
Purus (LB)	10/96	10/10	61	21,72	12,75	58,73	6183,34	8139,86	2971047,47
Solimões (MN)	03/95	11/10	79	36,61	8,54	23,33	101094,18	290138,44	105900530,70
Solimões (TN)	04/97	10/10	74	64,51	12,55	19,46	35455,71	175140,59	63926316,97
Amazonas (OB)	03/95	12/10	74	23,04	6,41	27,84	177372,81	315624,55	115202960,69
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	32,12	9,79	30,49	17227,97	41200,63	15038228,21
Negro (SR)	07/96	12/10	29	1,17	1,23	105,29	16010,95	785,96	286874,50

Tabela 23: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - cloreto. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.

Rios	Cloretos								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	83	0,86	0,40	46,20	3478,43	234,99	85769,96
Madeira (FVA)	05/97	10/10	69	0,94	0,60	63,96	27483,25	1664,69	607610,78
Tapajós (IT)	10/97	10/10	66	0,86	1,66	192,57	11076,88	941,57	343672,71
Purus (LB)	10/96	10/10	61	0,53	0,42	78,17	6183,34	250,71	91509,63
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	4,20	2,25	53,46	101094,18	29341,95	10709812,95
Solimões (TN)	10/95	10/10	75	8,24	3,42	41,54	35455,71	20588,12	7514663,71
Amazonas (OB)	03/95	12/10	76	2,28	1,80	78,89	177372,81	27866,50	10171270,73
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	0,98	0,67	68,17	17227,97	1181,50	431246,55
Negro (SR)	07/96	12/10	51	0,31	0,29	93,86	16010,95	396,31	144653,67

Tabela 24: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - sulfato. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.

Rios	Sulfatos								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	10/10	84	0,65	0,91	140,62	3478,43	148,73	54286,66
Madeira (FVA)	05/97	10/10	69	5,17	3,96	76,55	27483,25	9912,22	3617959,36
Tapajós (IT)	10/97	10/10	63	0,30	0,56	182,50	11076,88	350,90	128079,62
Purus (LB)	10/96	10/10	61	2,24	1,60	71,46	6183,34	1043,40	380840,36
Solimões (MN)	03/95	11/10	80	4,32	2,00	46,29	101094,18	30503,23	11133679,44
Solimões (TN)	10/95	10/10	75	7,75	3,71	47,91	35455,71	20709,66	7559024,12
Amazonas (OB)	03/95	12/10	76	3,07	1,58	51,52	177372,81	39994,76	14598086,49
Madeira (PV)	06/95	12/10	87	9,70	5,55	57,17	17227,97	12321,03	4497174,30
Negro (SR)	07/96	12/10	51	0,22	0,42	187,76	16010,95	257,37	93939,58

Tabela 25: Características gerais encontradas nas estações estudadas no período de 1995 a 2010 - silício. QD= Quantidade de dados. [média]= concentração média do elemento em mg.L<sup>-1</sup>. DP = Desvio Padrão. Cv = Coeficiente de variação. Q = Vazão em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. QS1 = Fluxo do elemento (Q\*concentração do elemento\*0,0864) em ton.dia<sup>-1</sup>. QS2 = fluxo do elemento em ton.ano<sup>-1</sup> (Q\*concentração do elemento\*0,0864)\*365.

Rios	Silício								
	Período de dados		QD	[méd]	Dp	Cv	Q	QS1	QS2
Branco (CC)	12/96	05/10	83	6,45	1,08	16,76	3478,43	1566,62	571815,16
Madeira (FVA)	05/97	10/10	60	4,39	0,79	18,02	27483,25	8782,48	3205605,28
Tapajós (IT)	10/97	04/10	61	4,25	0,55	13,02	11076,88	3739,54	1364930,66
Purus (LB)	10/96	03/09	48	6,34	2,43	38,40	6183,34	2487,55	907953,99
Solimões (MN)	03/95	10/08	69	4,35	0,64	14,77	101094,18	30349,61	11077608,16
Solimões (TN)	10/95	03/09	80	5,94	2,21	37,24	35455,71	17678,66	6452711,71
Amazonas (OB)	03/95	06/10	75	4,36	1,30	29,72	177372,81	62418,06	22782591,25
Madeira (PV)	06/95	11/09	74	4,56	0,86	18,85	17227,97	5732,74	2092449,57
Negro (SR)	07/96	07/08	48	1,81	0,38	21,11	16010,95	1925,46	702793,43

ANEXO II

Figura 49: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia<sup>-1</sup>) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro), FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Cálcio e Magnésio.

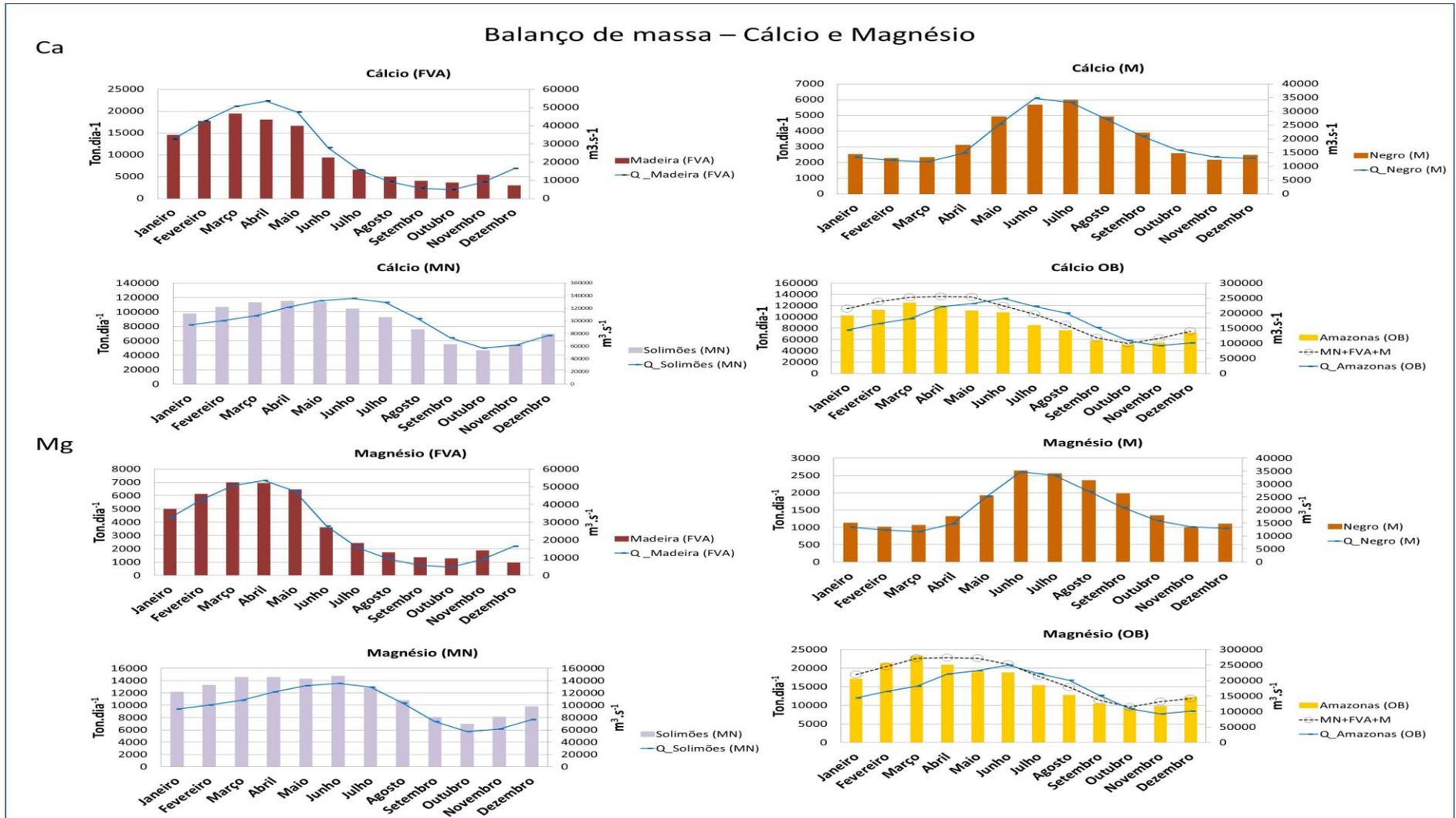


Figura 50 Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia<sup>-1</sup>) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro), FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Sódio e Potássio.

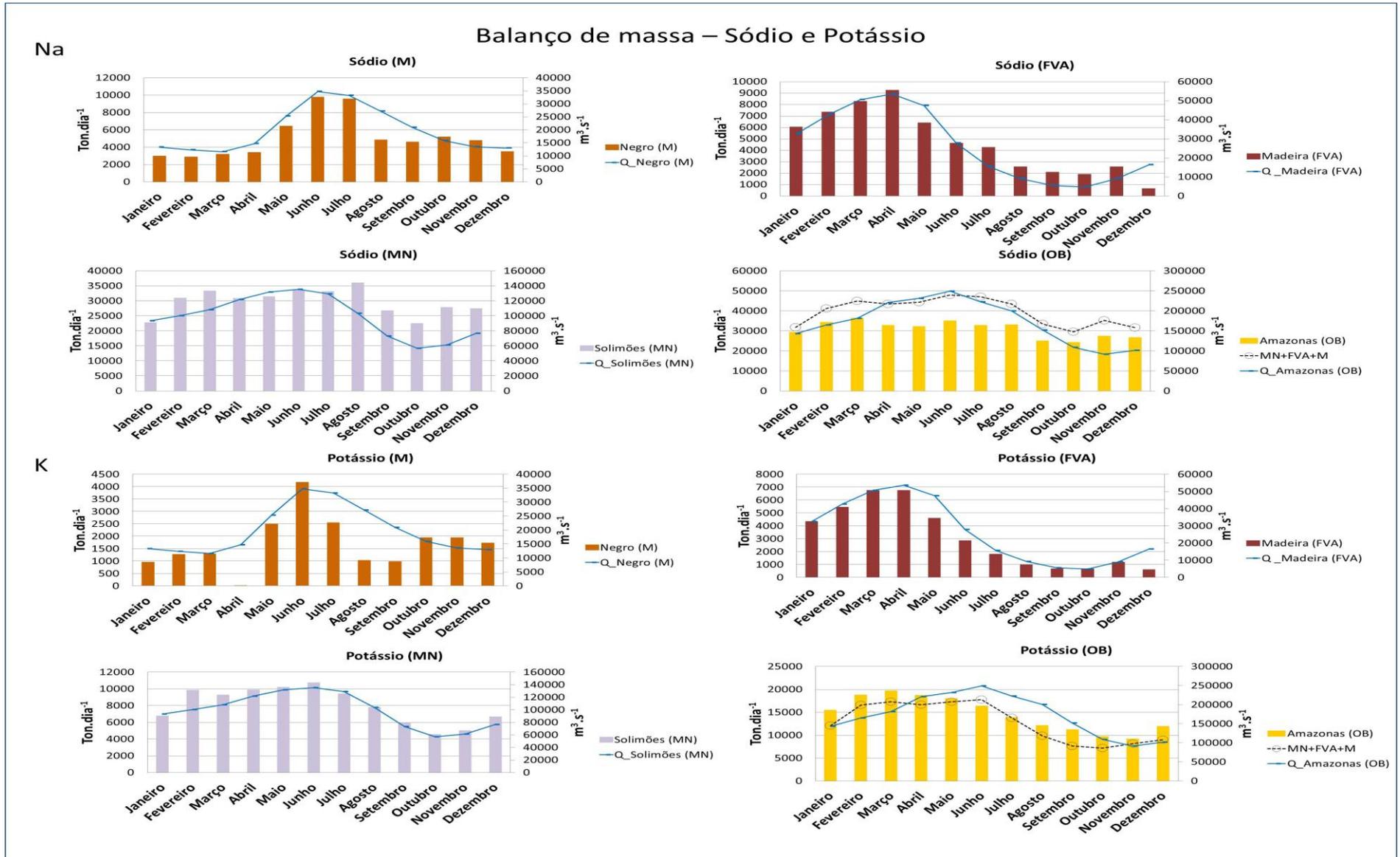


Figura 51: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal ( $\text{ton.dia}^{-1}$ ) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro), FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Bicarbonato e Cloreto.

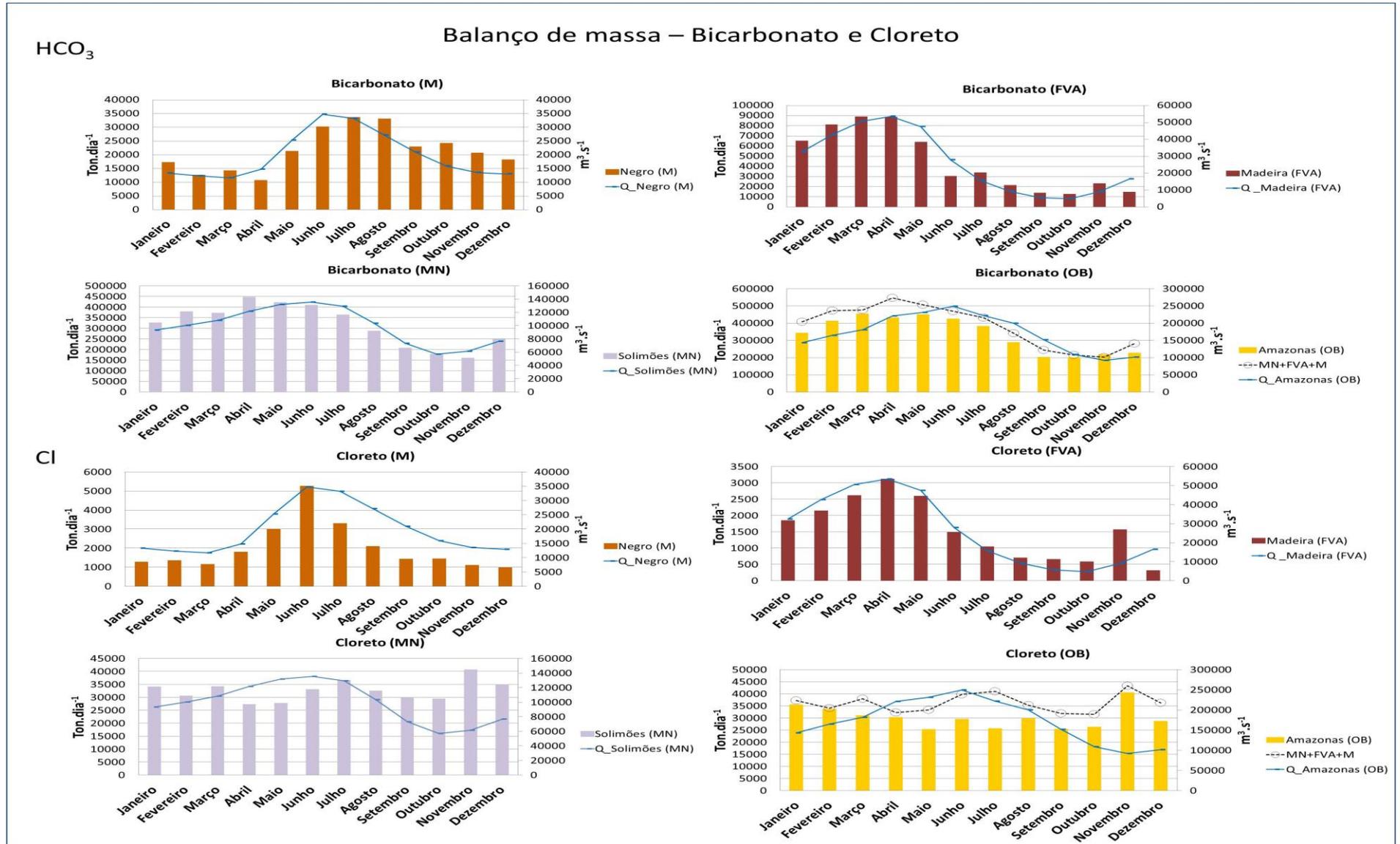


Figura 52: Estimativa de fluxo de matéria dissolvida global interanual mensal (ton.dia<sup>-1</sup>) e no período de 1995 a 2010 e da vazão média interanual mensal (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) das estações de MN (rio Solimões) M (Negro), FVA (rio Madeira) em relação aos valores obtidos para a estação de OB (rio Amazonas) – Sulfato e Silício.

