

## ÍNDICE

5.2 - Bióticos.....	1/32
5.2.1 - Fitoplâncton.....	1/32
5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados .....	1/32
5.2.1.2 - Densidade absoluta e densidade relativa .....	3/32
5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo.....	7/32
5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade no conjunto de dados considerando a densidade fitoplanctônica.....	11/32
5.2.1.5 - Diversidades de espécies ( $\alpha$ , $\beta$ , e $\gamma$ ) .....	17/32
5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas.....	19/32
5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas .....	21/32
5.2.1.8 - Curva de rarefação .....	24/32
5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nas águas baixas de 2009, 2010, 2011 e 2012. ....	25/32
5.2.1.10 - Discussão .....	31/32

## ANEXOS

- Anexo 5.2.1-1 - Lista de espécies fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012
- Anexo 5.2.1-2 - Densidade fitoplanctônica no mês de novembro 2012
- Anexo 5.2.1-3 - Biovolume fitoplanctônico (mm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>) do Rio Madeira, seus tributários e lagos e canais, na região de influência da UHE Santo Antônio do Rio Madeira, no mês de novembro/2012
- Anexo 5.2.1-4 - Abundância relativa das populações fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012
- Anexo 5.2.1-5 - Abundância de espécies de cianobactérias no mês de novembro de 2012
- Anexo 5.2.1-6 - Resultados da análise de cianotoxinas no Lago Cujubim no mês de novembro 2012

## 5.2 - BIÓTICOS

### 5.2.1 - Fitoplâncton

O presente relatório refere-se às amostragens realizadas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais no mês de novembro de 2012. No presente relatório são apresentados dados de Riqueza, Densidade Absoluta e Densidade Relativa e Biovolume das populações das algas planctônicas, que tiveram como base um total de 42 amostras quantitativas e 29 amostras qualitativas.

#### 5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados

A lista das espécies registradas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais em novembro de 2012, considerando as amostras quantitativas e qualitativas, encontra-se no **Anexo 5.2.1-1**. Alguns destes táxons estão representados na Prancha 1. No conjunto total de dados foram registradas 404 espécies distribuídas em 10 classes taxonômicas (62 cianobactérias, 11 criptofíceas, 08 dinoflagelados, 22 crisofíceas, 02 xantofíceas, 61 diatomáceas, 02 rafidofíceas, 22 euglenóides, 152 clorofíceas e 62 zignematofíceas- **Figura 5.2.1-1**). Esse número equivale a cerca de 10 % do número de táxons estimados para o fitoplâncton de águas continentais (Reynolds, 2006).

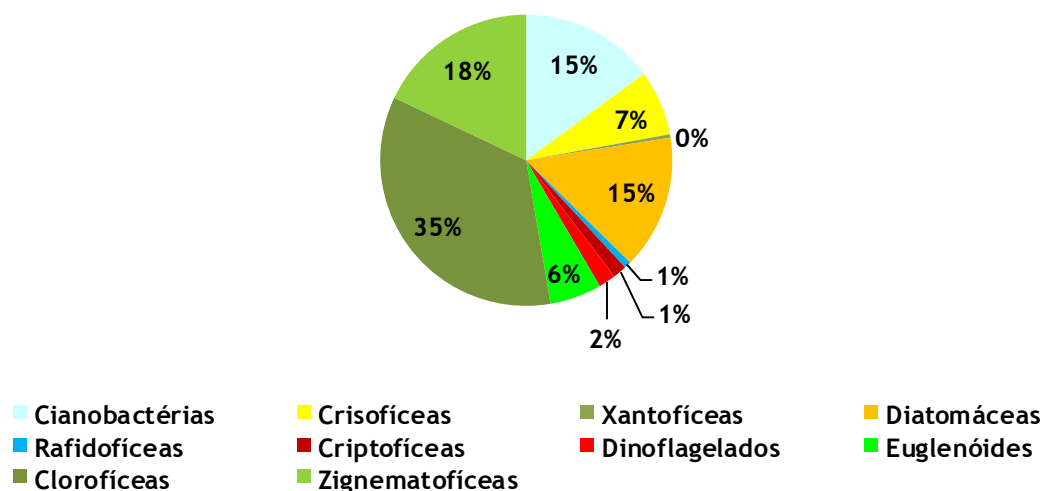


Figura 5.2.1-1 - Riqueza taxonômica total (%) considerando as amostras quantitativas e qualitativas nos três sistemas (rio Madeira, tributários e lagos e canais) avaliados em novembro de 2012.

As clorofíceas apresentaram a maior contribuição dentre os táxons, tanto no conjunto total dos dados dos três sistemas avaliados (35%), quanto nos sistemas avaliados separadamente (Figura 5.2.1-1). Ainda, considerando-se os compartimentos separadamente, nota-se uma maior contribuição de espécies de diatomáceas no rio Madeira (30%), se comparada à percentagem dessa classe nos tributários (14%) e lagos e canais (15%; Figura 5.2.1-1 O grupo das clorofíceas (43%) e criptofíceas (2%) foram os únicos com contribuição proporcional maior nos tributários se comparado aos demais compartimentos (Figura 5.2.1-2b). Foi observada uma maior contribuição de zignematofíceas nos lagos e canais (18%) se comparada à percentagem do rio Madeira (6%) e dos tributários (11% - Figura 5.2.1-1).

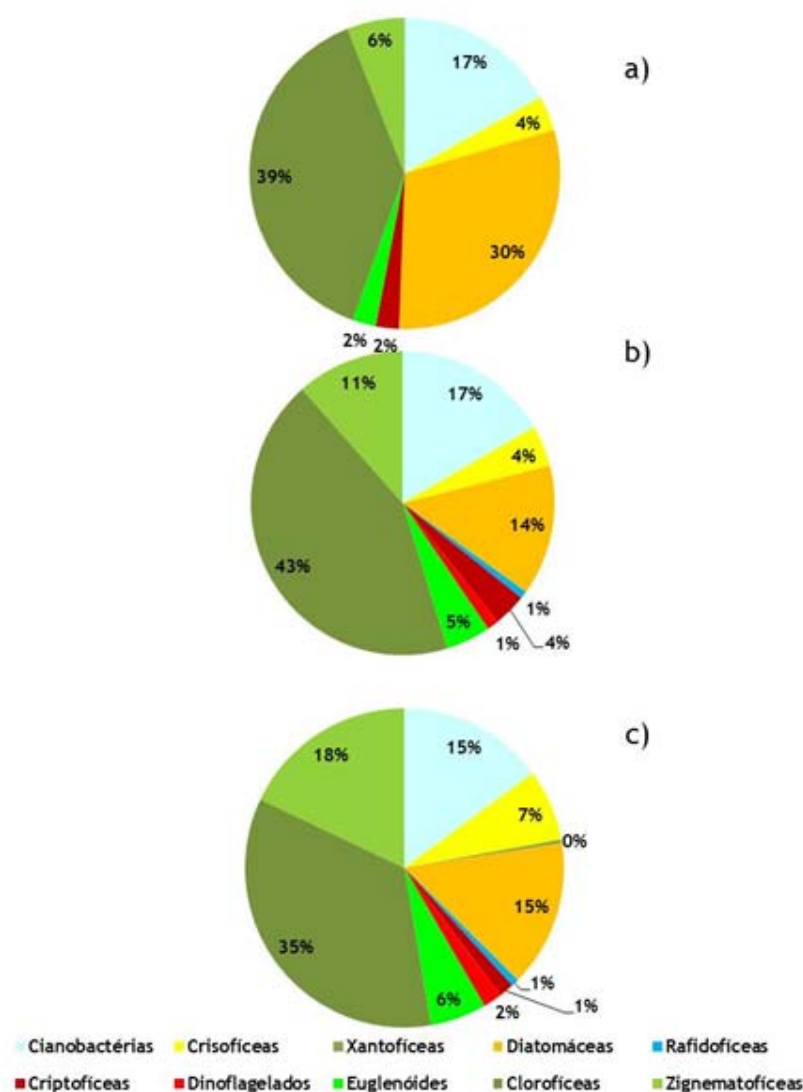


Figura 5.2.1-2 - Riqueza taxonômica total (%) a) rio Madeira, b) tributários e c) lagos e canais, considerando as amostras quantitativas e qualitativas, em novembro de 2012.

### 5.2.1.2 - Densidade absoluta e densidade relativa

As densidades das populações de algas, expressas em indivíduos por mililitro (ind/mL), no rio Madeira, tributários e lagos e canais encontram-se no **Anexo 5.2.1-3**. As densidades variaram desde a ausência total de algas nos tributários JATII-S e BEL-S a 35.940 ind/mL em CUJ. As densidades médias foram de 197 ind/mL no rio Madeira, 2.124 ind/mL nos tributários e 6.673 ind/mL nos lagos e canais.

A seguir, são apresentados os resultados de densidade absoluta e relativa do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários, bem como nos lagos e canais.

#### Rio Madeira

A densidade fitoplanctônica no rio Madeira variou de 70 ind/mL (JUS.03) a 362 ind/mL (MON.01) (**Figura 5.2.1-3 a**). A densidade média foi de 197 ind/mL. A composição das classes taxonômicas foi principalmente representada por clorofíceas, diatomáceas e cianobactérias, à exceção de MON.03 e MON.01, onde crisofíceas e criptofíceas estiveram presentes em pequena contribuição (5 a 10%). Em JUS.03 a composição das classes taxonômicas foi exclusivamente composta por clorofíceas (80%) e cianobactérias (20% - **Figura 5.2.1-3 b**).

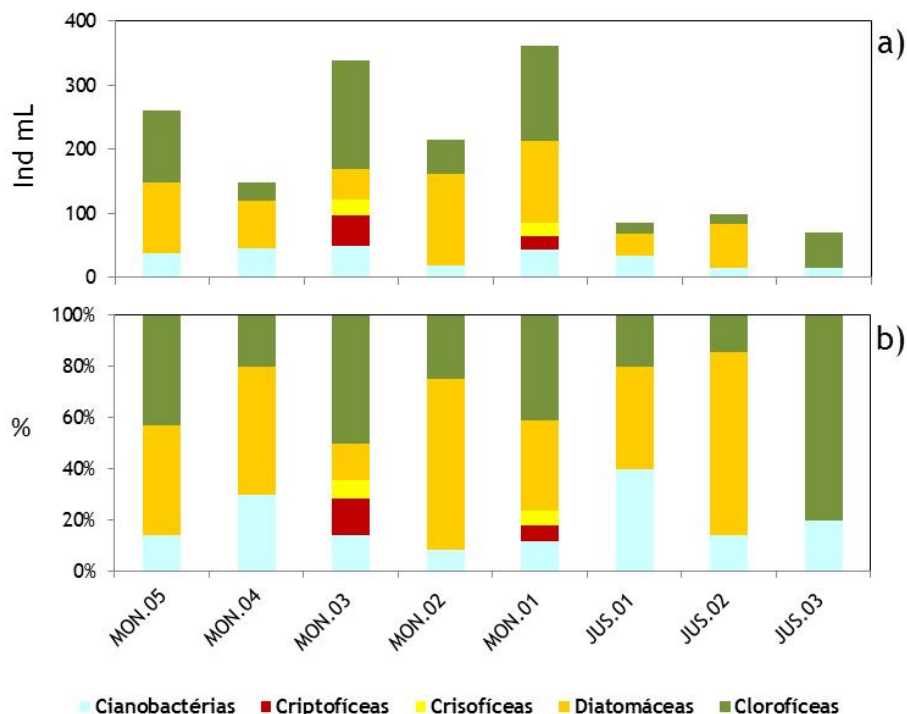


Figura 5.2.1-3 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) dos principais grupos taxonômicos da comunidade fitoplanctônica no rio Madeira, em novembro 2012.

## Tributários

Excluindo as amostras com ausência de algas que ocorreram em JAT II-S e BEL-S, a densidade fitoplanctônica nos tributários variou de 28 ind/mL (JAT I-F) a 22.432 ind/mL (TEO. 01-F; Figura 5.2.1-4 a). A densidade média foi de 2.12 4ind/mL. A densidade das diversas classes taxonômicas nos tributários apresentou marcada variabilidade. De forma geral, ocorreram maiores contribuições de cianobactérias, clorofíceas e diatomáceas (entre 10% a 100%) e menores de euglenóides, dinoflagelados, rafdofíceas e zignematofíceas (entre 2% a 20%). Criptofíceas contribuíram com aproximadamente 20% em JAC. 01-S, CRC-F e CEA. 01-S e com 60% em CEA-S; (Figura 5.2.1-4 b).

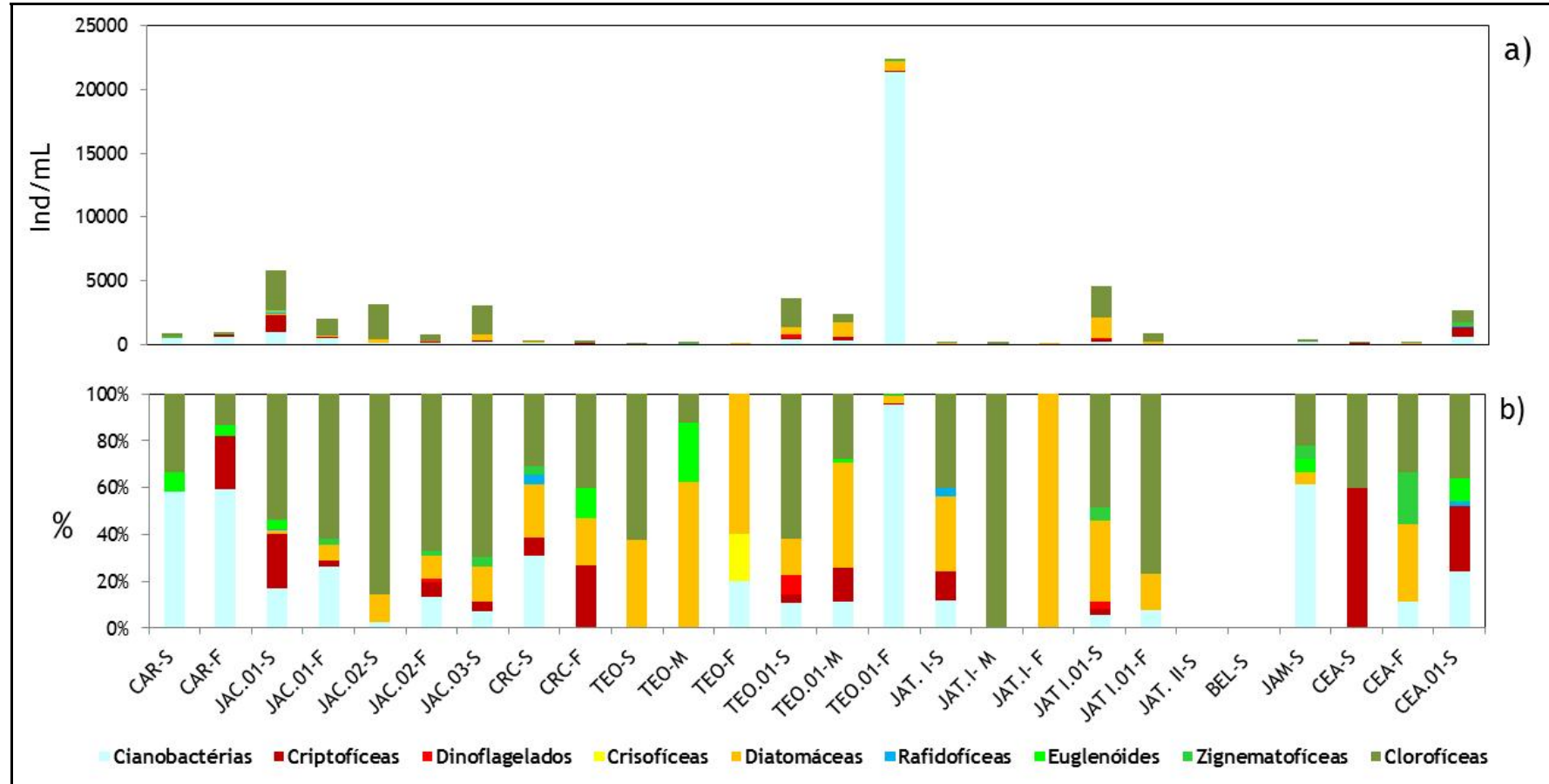


Figura 5.2.1-4 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplânctônica nos tributários em novembro de 2012.

## Lagos e canais

A densidade fitoplanctônica variou de 724 ind/mL (MIG) a 35.490 ind/mL (CUJ-Figura 5.2.1-5 a), sendo a densidade média de 6.673 ind/mL. Cianobactérias foram importantes em CUJ (~95%) e MIG (~70%). Clorofíceas e zignematofíceas (de 20% a 40%) foram às classes que mais contribuíram para a densidade fitoplanctônica nos lagos e canais à exceção de LC.02-S, onde os euglenóides corresponderam a aproximadamente 40%. No entanto, composição de classes taxonômicas variadas, como diatomáceas, crisofíceas, dinoflagelados e criptofíceas, contribuíram em conjunto com 20% (LC.03) a 60% para a densidade total em LC.01-S (Figura 5.2.1-5 b).

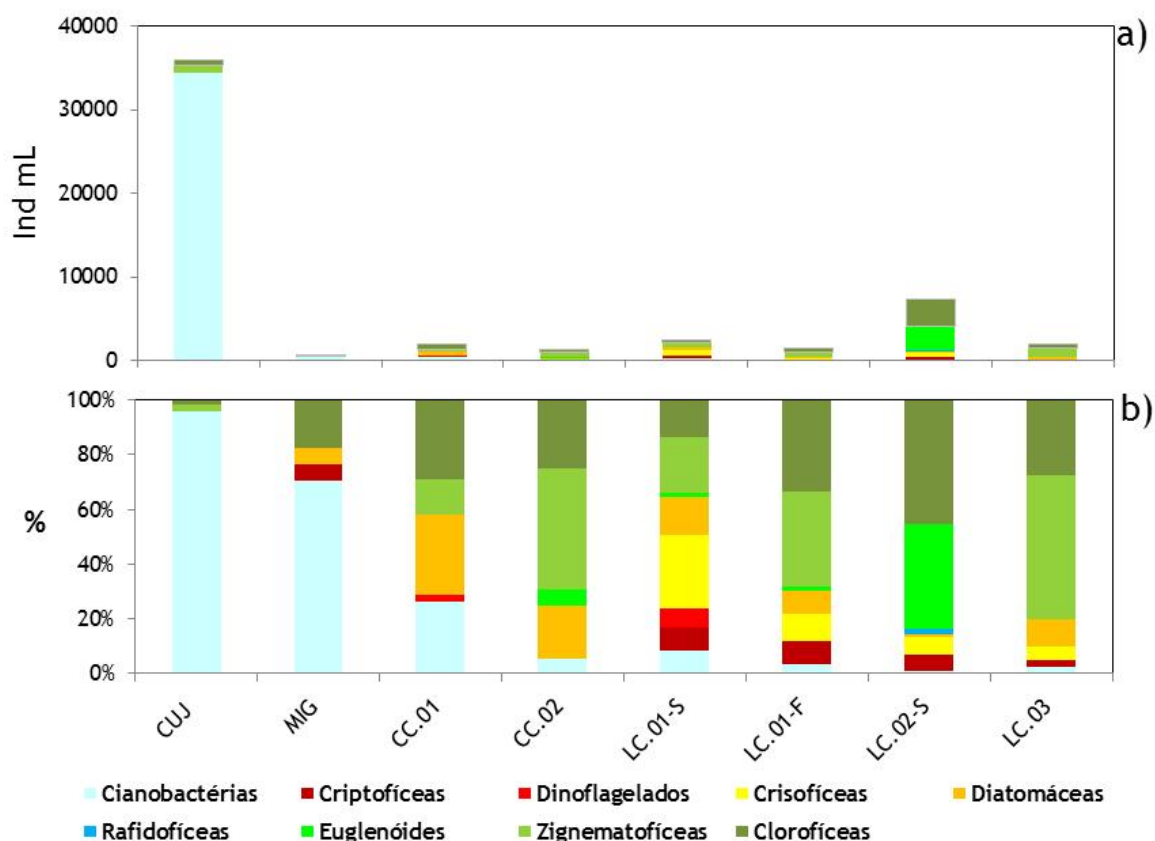


Figura 5.2.1-5 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos lagos e canais em novembro de 2012.



### 5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo

Os dados de biovolume das populações de algas, expressos em milímetros cúbicos por litro ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ), encontram-se no **Anexo 5.2.1-3**. O biovolume das populações de algas variou desde ausência total de algas, nos tributários JAT II-S e BEL-S a  $24,50 \text{ mm}^3/\text{L}$  em CUJ. O biovolume médio foi de  $0,13 \text{ mm}^3/\text{L}$  no rio Madeira,  $0,71 \text{ mm}^3/\text{L}$  nos tributários e  $6,0 \text{ mm}^3/\text{L}$  nos lagos e canais.

A seguir são descritos os resultados do biovolume fitoplanctônico para o rio Madeira, seus tributários e lagos e Canais.

#### Rio Madeira

O biovolume fitoplanctônico no rio Madeira variou de  $0,005 \text{ mm}^3/\text{L}$  (JUS. 03) a  $0,23 \text{ mm}^3/\text{L}$  (MON.05 - **Figura 5.2.1-6 a**). A composição das classes taxonômicas expressa em biovolume apresentou-se diferente de quando expressa em densidade, com maior contribuição das diatomáceas dado ao maior tamanho das espécies. Exceções foram MON.03 onde criptofíceas contribuíram com cerca de 60%, JUS.01 onde cianobactérias contribuíram com cerca de 80% e JUS.03 onde clorofíceas e cianobactérias foram exclusivas e contribuíram igualmente com cerca de 50% para o biovolume total (**Figura 5.2.1-6 b**).

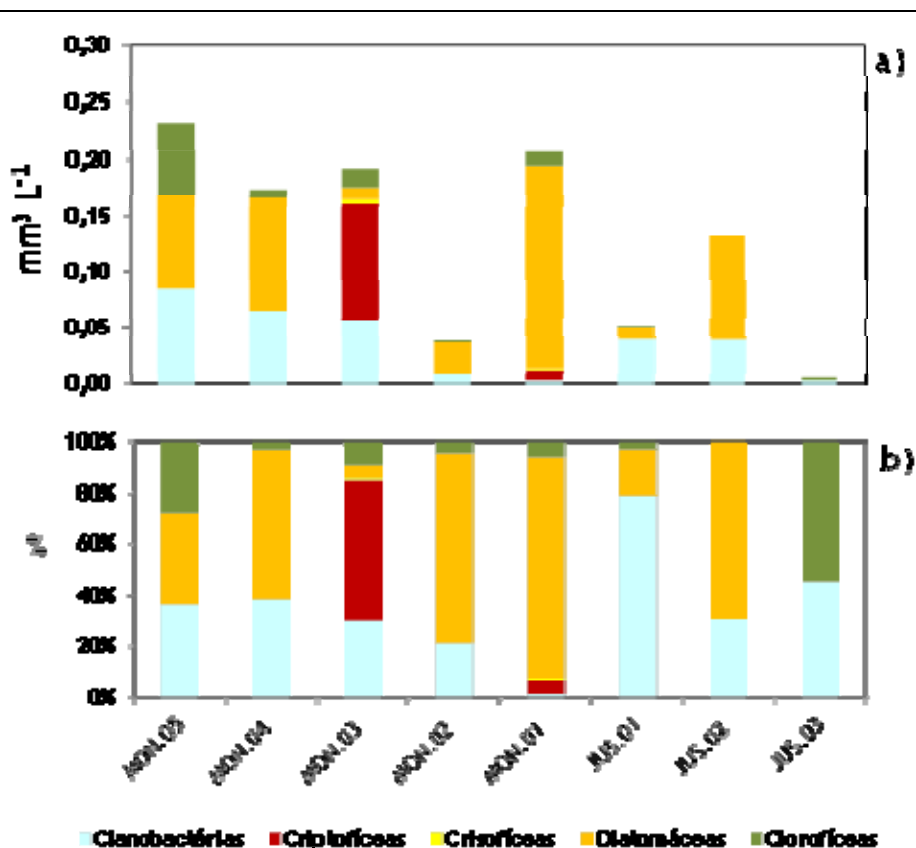


Figura 5.2.1-6 - a) Biovolume absoluto ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica no Rio Madeira em novembro de 2012.

## Tributários

Desconsiderando as amostras com ausência de algas, o biovolume fitoplanctônico nos tributários, variou de  $0,007 \text{ mm}^3/\text{L}$  (JAT I-F) a  $4,5 \text{ mm}^3/\text{L}$  (CEA-01-S). O biovolume médio foi de  $0,7 \text{ mm}^3/\text{L}$  (Figura 5.2.1-7 a). De uma forma geral a classe das diatomáceas foi a mais representativa para o biovolume total, sendo exclusiva em JAT I-F. No entanto, o fitoplâncton expresso em biovolume apresentou contribuição de outras classes taxonômicas como, por exemplo, rafidofíceas com cerca de 20% em CEA.01-S, cerca de 40% em JAC.01-S e CRC-S e aproximadamente 80% em JAT I-S), euglenóides (com aproximadamente 40% em TEO-M, 50% em TEO.01-F, 60% em CEA.01-S e cerca de 70% em CAR-S) e criptofíceas (principalmente em TEO.01-M com 50%, em CAR-F com 80% e em CEA.01-S com cerca de 98%). Dinoflagelados contribuíram com aproximadamente 30% do biovolume em TEO.01-S e JAT I.01-S (Figura 5.2.1-7b).

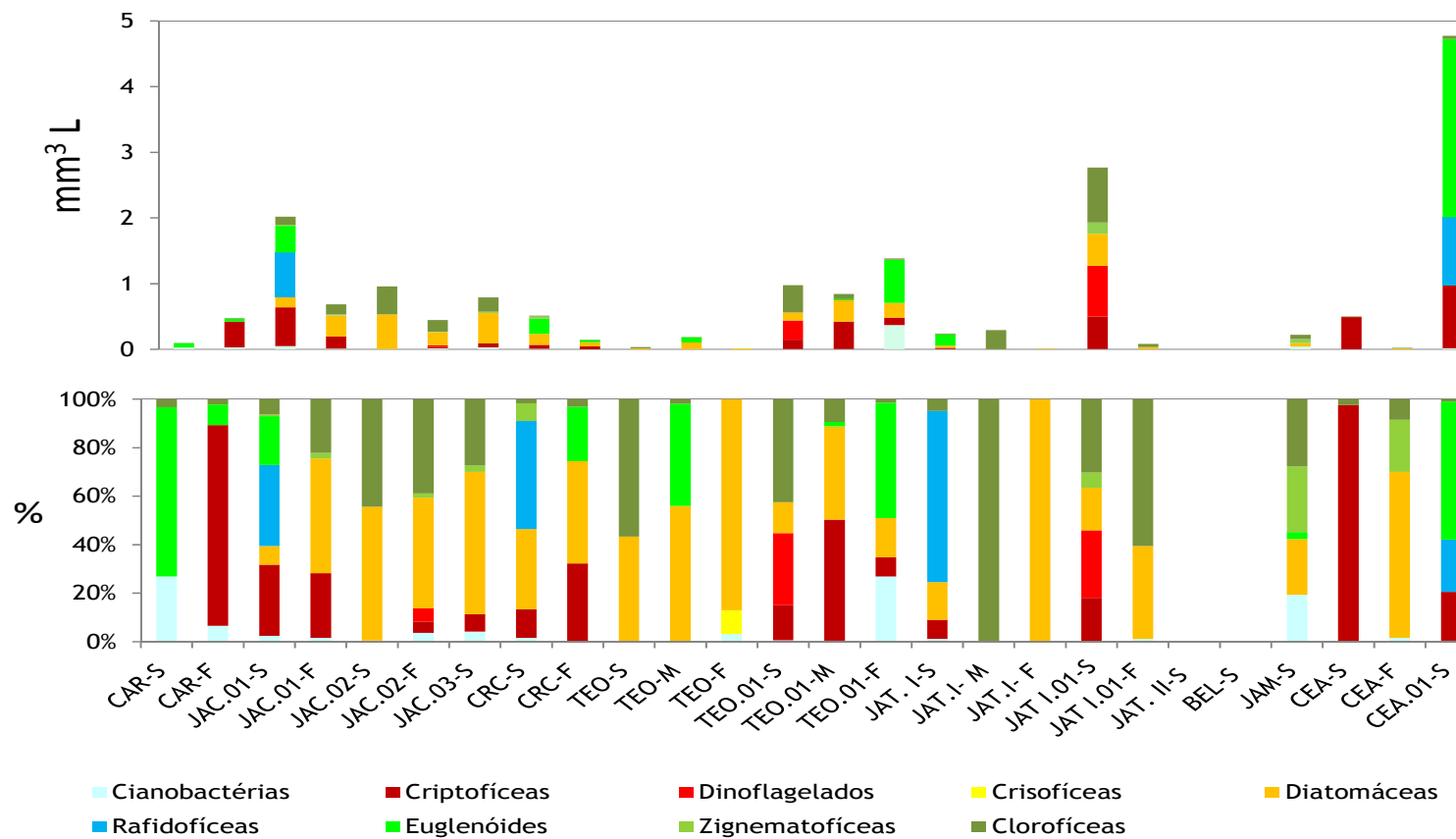


Figura 5.2.1-7 - a) Biovolume absoluto ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplânctônica nos tributários do rio Madeira em novembro de 2012.

## Lagos e canais

O biovolume fitoplanctônico nos lagos e canais variou de 0,26 mm<sup>3</sup>/L (MIG) a 24,5 mm<sup>3</sup>/L (CUJ). O biovolume médio foi 6,0mm<sup>3</sup>/L (Figura 5.2.1-8 a). A composição da comunidade fitoplanctônica foi variada entre lagos e canais e entre as estações amostrais de um mesmo lago. De uma forma geral, diatomáceas e zignematofíceas foram as classes que mais contribuíram para o biovolume, à exceção de LC.01-S e LC.02-S, onde dinoflagelados (~40%) e euglenóides (~70%) foram as classes mais importantes, respectivamente. Também em LC.02-S, rafidofíceas contribuíram com cerca de 30%. A classe das zignematofíceas foi a que mais contribuiu para o biovolume total em CUJ (~75%), diferentemente de quando expresso em densidade quando as cianobactérias foram mais expressivas (Figura 5.2.1-8 b).

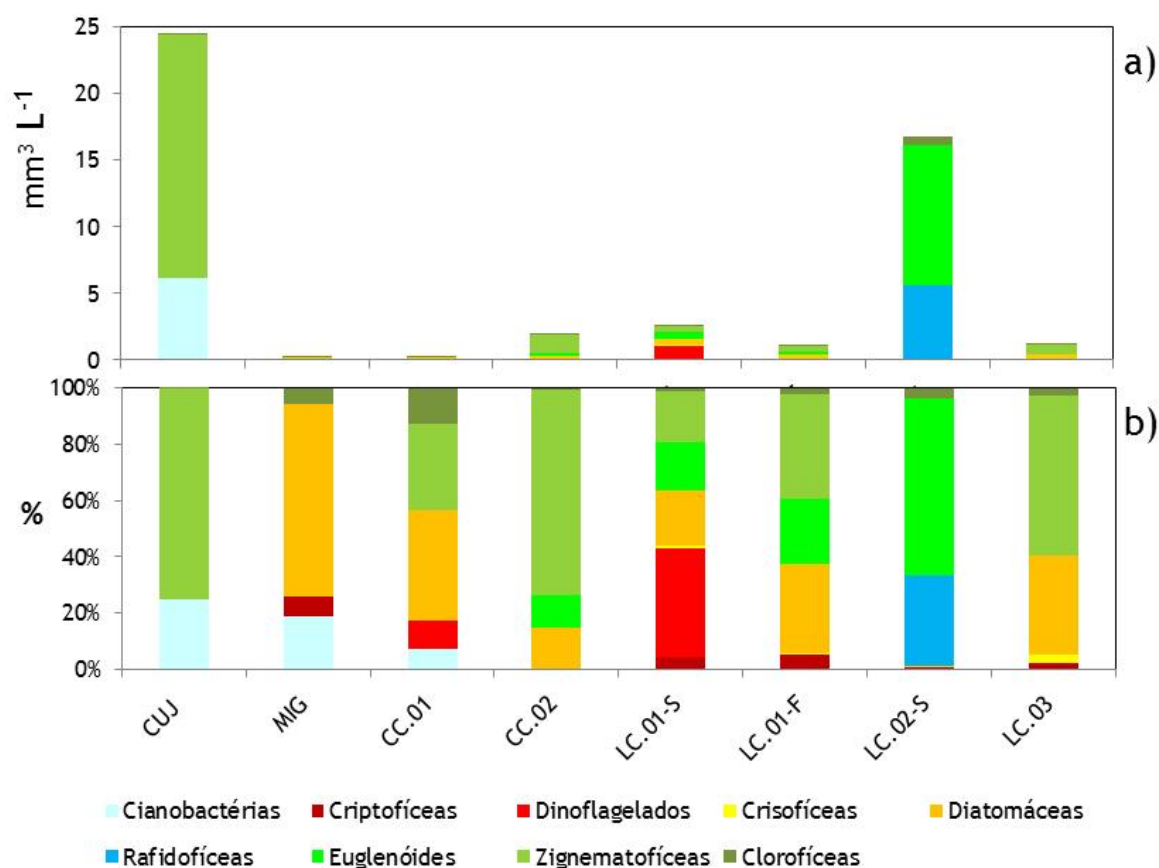


Figura 5.2.1-8 - a) Biovolume absoluto (mm<sup>3</sup>/L) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos lagos e canais em novembro de 2012.

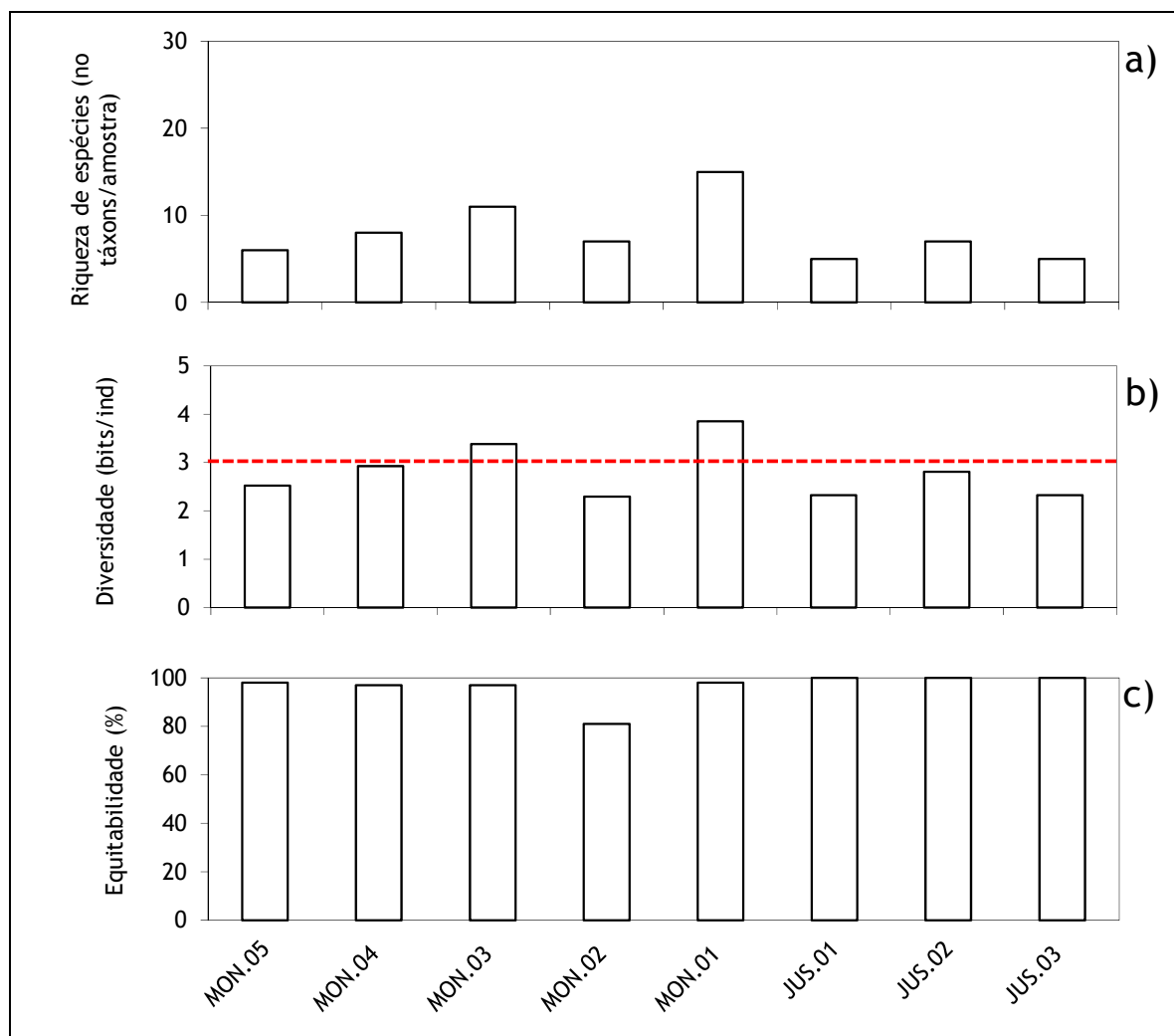
#### 5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade no conjunto de dados considerando a densidade fitoplanctônica

Com o objetivo de melhor expressar os resultados, as amostras com ausência total de algas (JAT II-S e BEL-S) não foram consideradas como valores mínimos para riqueza, diversidade e equitabilidade. Considerando os três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais), as maiores e menores riquezas de espécies e diversidade foram registradas em estações nos tributários. A riqueza de espécies variou de 2 táxons/amostra em JAT I-M e F a 27 táxons/amostra em JAC.03-S. A diversidade variou de 0,7 bit/ind em JAT I-M a 4,4 bits/ind em JAC.03-S. A equitabilidade variou de 22% em TEO.01-F a 100% em JUS.01, JUS.02, JUS.03 e TEO-F.

A seguir são descritos resultados de riqueza, diversidade específica e equitabilidade fitoplanctônica para o rio Madeira, seus tributários e lagos e canais.

##### Rio Madeira

Considerando-se o conjunto de dados no rio Madeira a riqueza de espécies variou de 5 táxons/amostra em JUS.01 e JUS.03 a 15 táxons/amostra em MON.01 (**Figura 5.2.1-9 a**). A riqueza de espécies média foi de 8 táxons/amostra. A diversidade variou de 2,3 bits/ind em MON.02, JUS.01 e JUS.03 a 4,0 bits/ind em MON.01 e foi considerada intermediária a alta (>2,0 bits/ind) em grande parte das amostras do rio Madeira (**Figura 5.2.1-9 b**). A diversidade média foi de 3,0 bits/ind. A equitabilidade variou de 81% em MON.02 a 100% a jusante da barragem (JUS.01, JUS.2 e JUS.03 - **Figura 5.2.1-9 c**), sendo em média 96%.



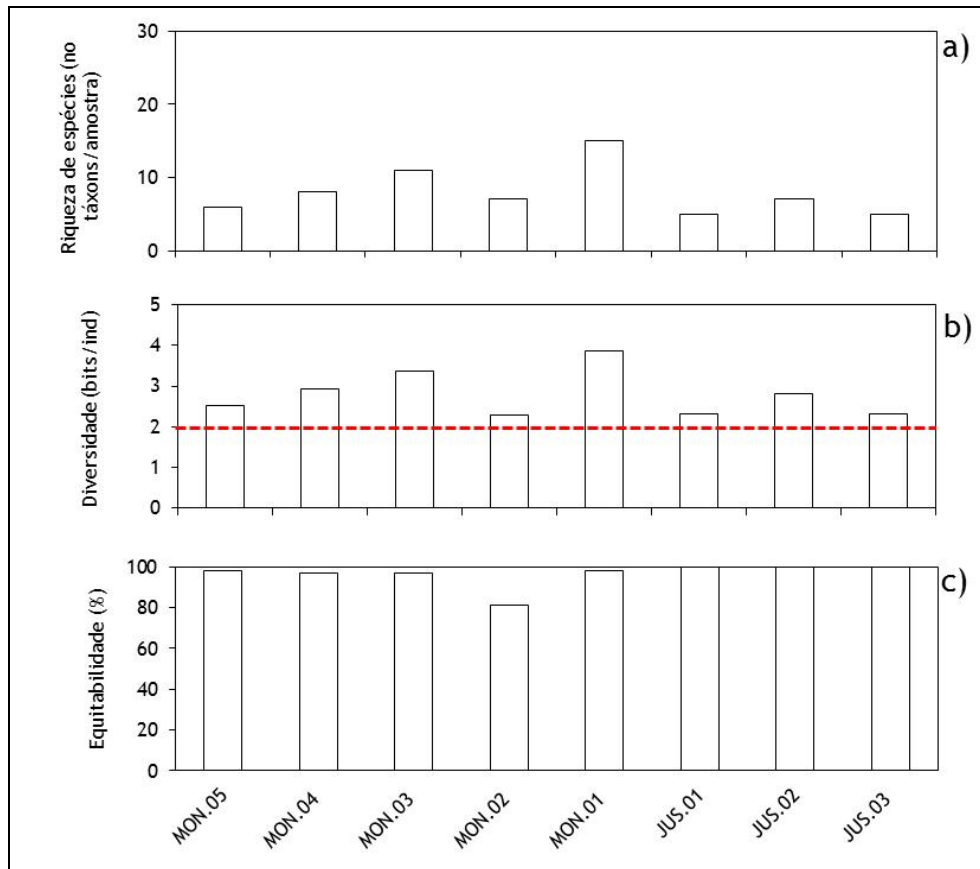


Figura 5.2.1-9 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade no rio Madeira no mês de novembro de 2012.

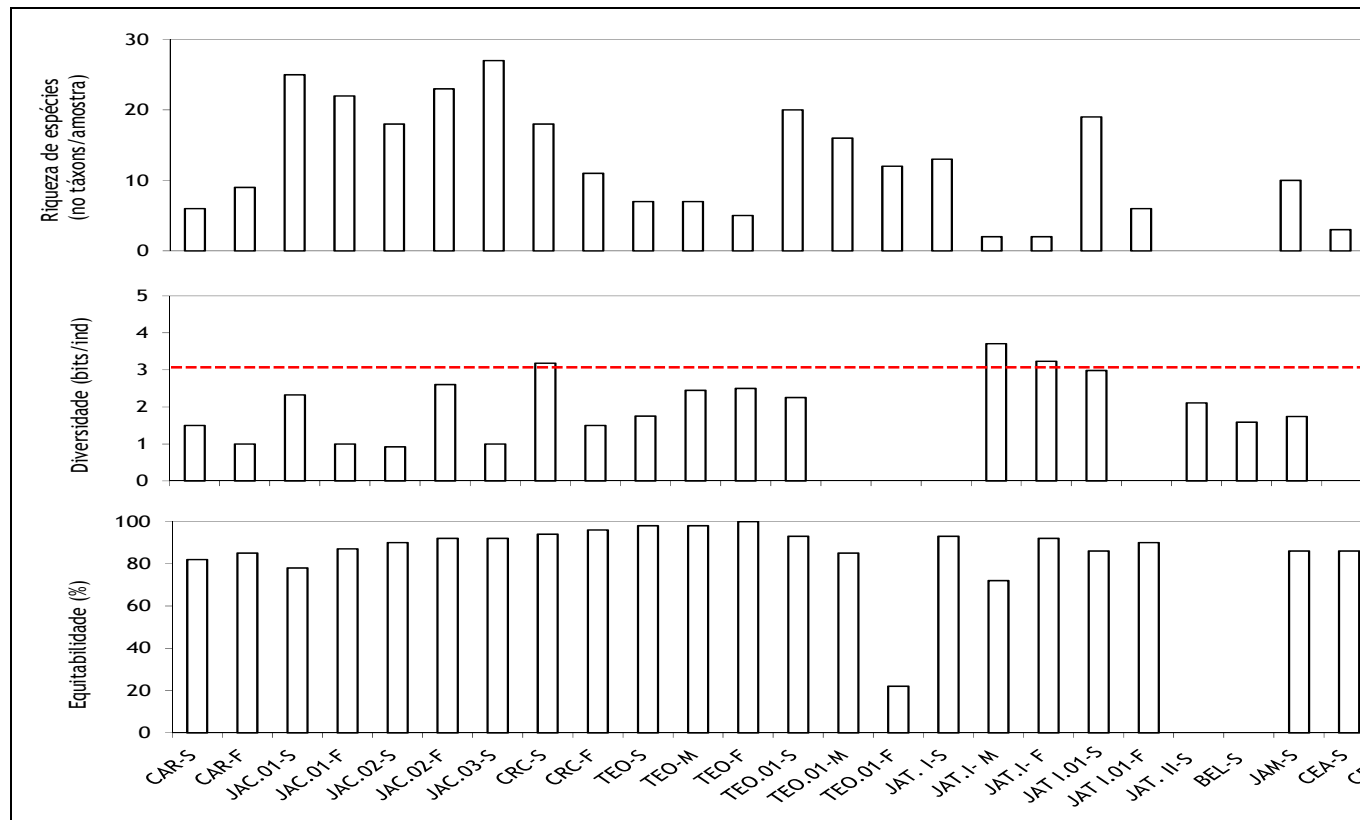
## Tributários

Considerando-se o conjunto de dados a riqueza de espécies variou de 2 táxons/amostra em JAT I-M e F a 27 táxons/amostra em JAC.03-S (Figura 5.2.1-10 a). A média da riqueza de espécies foi de 12 táxons/amostra. A diversidade variou de 0,7 bit/ind em JAT I-M a 4,4 bits/ind em JAC.03-S (Figura 5.2.1-10 b). A equitabilidade variou de 22% em TEO.01-F a 100% em TEO-F (Figura 5.2.1-10 c). A diversidade média foi de 2,7 bits/ind e a equitabilidade média de 80%.

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

2541-00-MLM-RL-0001-00

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas - Relatório 1/Fase de Operação





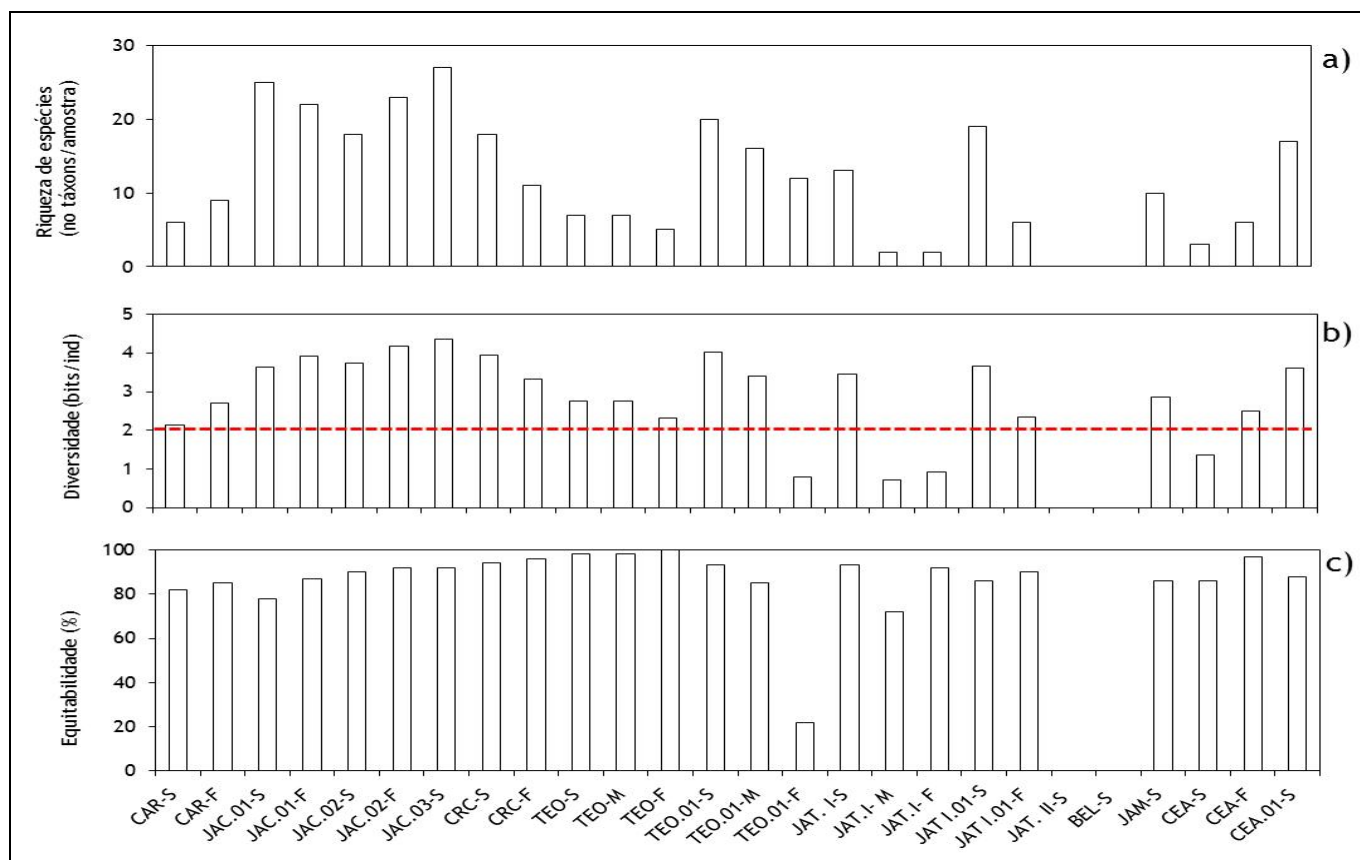
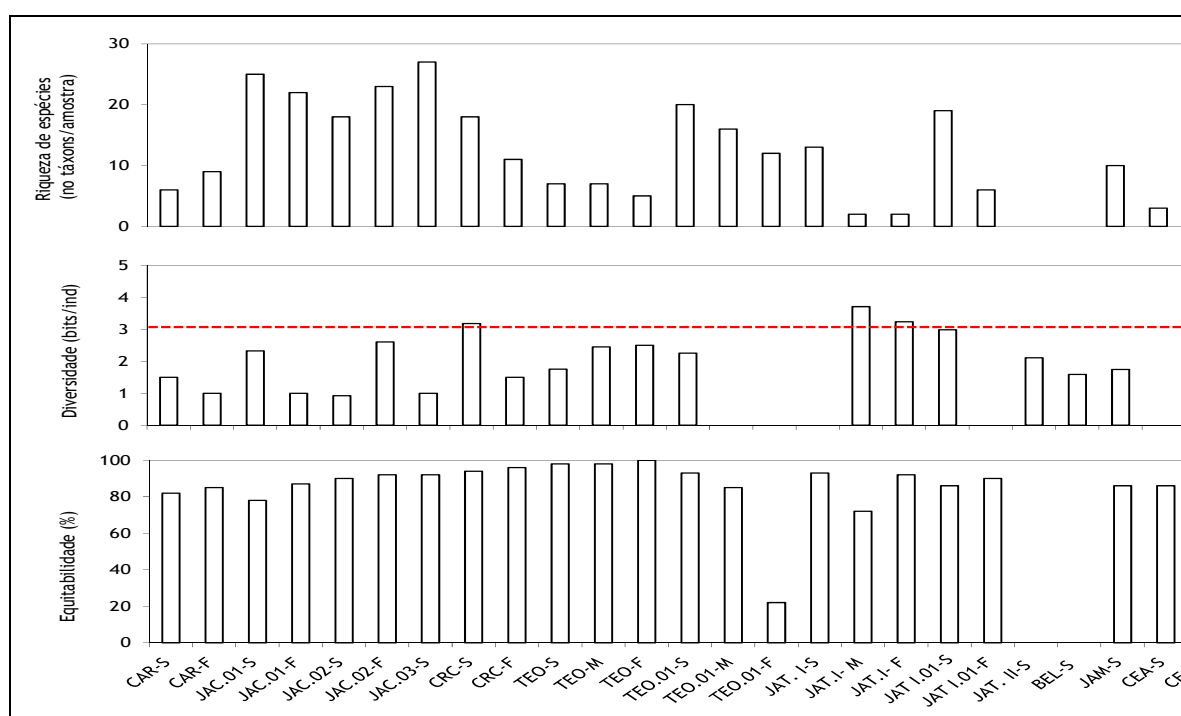


Figura 5.2.1-10 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade nos tributários do rio Madeira em novembro de 2012.

## Lagos e canais

Considerando-se o conjunto de dados, a riqueza de táxons variou de 9 táxons/amostra a 21 táxons/amostra em LC.01-S (Figura 5.2.1-11 a). A riqueza média foi de 17 táxons/amostra. A diversidade variou de 2,7 bits/ind em MIG a 4,0 bits/ind em LC.01-S (Figura 5.2.1-11 b). A equitabilidade variou de 66% em CUJ a 92% em CC.01 (Figura 5.2.1-11 c). A diversidade média foi de 3 bits/ind e a equitabilidade média de 83%.



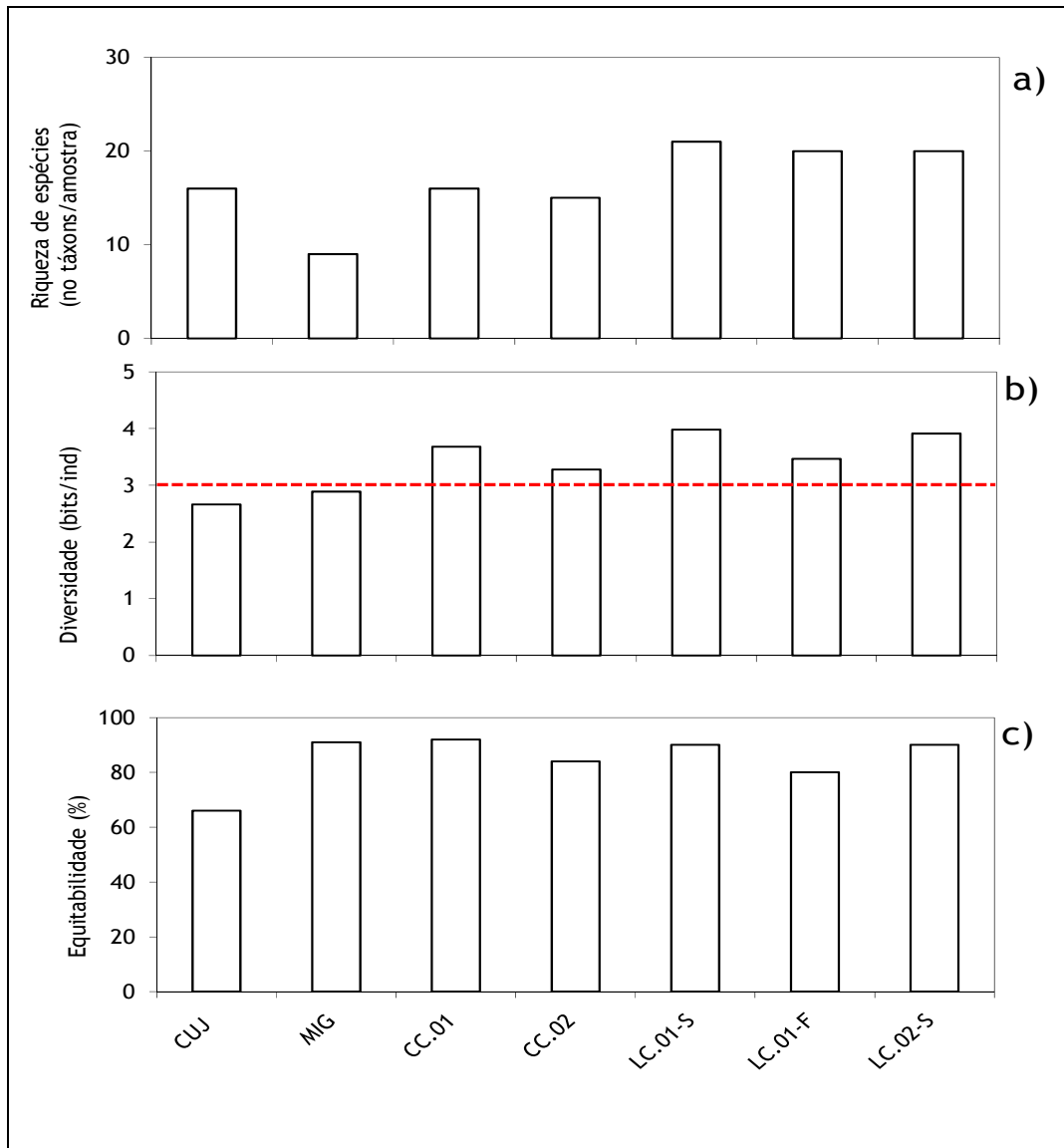


Figura 5.2.1-11 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade nos lagos e canais, em novembro de 2012.

### 5.2.1.5 - Diversidades de espécies ( $\alpha$ , $\beta$ , e $\gamma$ )

Considerando apenas as amostras quantitativas no conjunto total dos dados (rio Madeira + tributários + lagos e canais), a gama diversidade, expressa como a riqueza total de táxons da comunidade fitoplanctônica observada em toda a área amostrada no mês de novembro de 2012 foi de 165 táxons. Considerando cada sistema a gama diversidade foi de 34 táxons no rio Madeira, 115 táxons nos tributários e 73 táxons nos lagos e canais. (Quadro 5.2.1-1).

A alfa diversidade, expressa como a média do número de espécies, foi de 13 táxons considerando o conjunto total dos dados. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade foi de 8 táxons no rio Madeira, 14 táxons nos tributários e 17 táxons nos lagos e canais (**Quadro 5.2.1-1**).

A beta diversidade, que expressa uma estimativa do grau de intercâmbio das espécies entre habitats ou entre pontos de amostragem e que varia de 1% (alto intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies) a 100% (baixo intercâmbio e total heterogeneidade na composição de espécies), foi calculada, neste caso, levando-se em conta o intercâmbio entre: (i) os três sistemas, (ii) os pontos de amostragem de cada sistema e (iii) os sistemas aos pares. No conjunto total dos dados, a beta diversidade foi de 28% evidenciando relativamente elevado intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies. Considerando cada sistema em separado, as estações no rio Madeira e nos lagos e canais tiveram uma composição mais heterogênea (46% e 48% respectivamente) se comparada à composição nos tributários (30% - **Quadro 5.2.1-2**). Considerando os sistemas aos pares, a composição de espécies entre o rio Madeira vs. tributários e entre tributários vs. lagos e canais foi relativamente homogênea (beta diversidade de 29%). Porém entre o rio Madeira e lagos e canais a composição de espécies foi mais heterogênea (43%) evidenciando o menor intercâmbio de espécies entre esses dois sistemas (**Quadro 5.2.1-2**).

**Quadro 5.2.1-1 - Diversidades gama, alfa e beta no conjunto de dados (Geral), no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais em novembro de 2012.**

Diversidade\compartimento	Geral	Rio Madeira	Tributários	Lagos e canais
Gama	165	34	115	73
Alfa-média	13	8	14	17
Beta	28	46	30	48

**Quadro 5.2.1-2 - Diversidades gama, alfa e beta entre os sistemas aos pares em novembro de 2012.**

Compartimentos/diversidade	Gama	Alfa-média	Beta
Rio Madeira vs. Tributários	129	12	29
Tributários vs. Lagos e canais	151	14	29
Lagos e canais vs. Rio Madeira	92	12	43

### 5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas

O número de espécies por grupo taxonômico de acordo com sua contribuição para a densidade total em novembro de 2012 encontra-se no **Quadro 5.2.1-3**. A lista das espécies de acordo com sua contribuição para a densidade total encontra-se no **Anexo 5.2.1-4**. As populações fitoplanctônicas, quando expressas em densidade, foram em sua maioria representadas por espécies raras, em cada um dos três sistemas (31 espécies nos rio Madeira, 114 nos tributários e 72 nos lagos e canais). Apenas duas espécies (*Melosira varians* e *Nitzschia palea*, diatomáceas) no rio Madeira, uma espécie (*Synechococcus nidulans*, cianobactéria) nos tributários e uma espécie (*Plantolyngbya limnetica*, cianobactéria) nos lagos e canais, foram consideradas pouco abundantes (PA). Espécies abundantes e dominantes não foram registradas no mês de novembro de 2012.

**Quadro 5.2.1-3 - Número de espécies por classe taxonômica de acordo com a sua contribuição para a densidade total no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais no mês de novembro de 2012.**

	Rio Madeira				Tributários				Lagos e canais			
	Raras	Pouco	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco	Abundantes	Dominantes
		Abundantes				Abundantes				Abundantes		
Cianobactérias	5	0	0	0	19	1	0	0	12	1	0	0
Dinoflagelados	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
Criptofíceas	1	0	0	0	7	0	0	0	2	0	0	0
Crisofíceas	1	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	0
Diatomáceas	9	2	0	0	18	0	0	0	10	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	0	0	0	0	9	0	0	0	7	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	9	0	0	0	10	0	0	0
Clorofíceas	15	0	0	0	47	0	0	0	19	0	0	0
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>114</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>72</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### 5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas

A lista das espécies de cianobactérias registradas em novembro de 2012 e suas respectivas densidades, expressas em céls/mL em cada sistema, encontra-se no **Anexo 5.2.1-5**. Desconsiderando as amostras com total ausência de algas (JAT II-S e BEL-S) e num total de 40 amostras, não foram registradas cianobactérias em seis amostras, todas em tributários (CRC-F, TEO-S e M, JAT I-M e F e CEA-S). A densidade de cianobactérias variou de 24 céls/mL em CEA-F a 744.457 céls/mL em CUJ, sendo expressivamente maiores nesse lago se comparadas às demais estações de coleta no rio Madeira, tributários e demais lagos e canais (**Figura 5.2.1-12**).

No rio Madeira a densidade de cianobactérias variou de 107 céls/mL (MON.01) a 596 céls/mL (MON.05), sendo a densidade média de 401 céls/mL (**Figura 5.2.1-12 a**). As espécies que ocorreram em maior densidade no rio Madeira foram *Phormidium* sp.1 (1.710 céls/mL) e *Pseudanabaena limnetica* (964 céls/mL). Nos tributários a densidade de cianobactérias variou de 24 céls/mL em CEA-F a 26.331 céls/mL em TEO.01-F, sendo esta última a maior densidade de cianobactérias após a registrada em CUJ (**Figura 5.2.1-12b**). A densidade média nos tributários foi de 2.729 céls/mL. As espécies que ocorreram em maior densidade nos tributários foram *Synechococcus nidulans* (21.614 céls/mL), *Merismopedia tenuissima* (11.015 céls/mL), *Aphanocapsa incerta* (9.173 céls/mL) e *Aphanocapsa holsatica* (9.033 céls/mL). Nos lagos e canais a densidade de cianobactérias variou de 75 céls/mL (LC.02-S) a 744.457 céls/mL (CUJ - **Figura 5.2.1-12c**). A densidade média foi 94.274 céls/mL, porém, desconsiderando CUJ, a densidade média foi 67 vezes menor (1.391 céls/mL). As espécies que ocorreram em maior densidade nos lagos e canais foram *Planktolyngbya limnetica* (225.783 céls/mL), *Aphanocapsa delicatissima* (153.007 céls/mL), *Planktolyngbya brevicellularis* (151.218 céls/mL) e *Aphanocapsa incerta* (106.628 céls/mL). Todas essas espécies foram exclusivas de CUJ (**Anexo 5.2.1-5**).

No que se refere ao enquadramento das águas e seus usos múltiplos, a Resolução CONAMA 357/2005 inclui as densidades de cianobactérias (céls/mL) como um dos parâmetros a ser analisado, sendo de Classe 1 as águas com densidade de cianobactérias até 20.000 céls/mL; Classe 2 até 50.000 céls/mL; e Classe 3 até 100.000 céls/mL. Desta forma, considerando o conjunto de amostras analisadas, de acordo com o critério de densidade de cianobactérias, a maioria das águas apresentou densidades compatíveis com o limite estabelecido para águas de Classe 2 (densidade de cianobactérias < 50.000 céls/mL) e até mesmo da classe 1 (densidade de cianobactérias < 20.000 céls/mL).

Estas águas podem ser destinadas, portanto, a diversos usos, como ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Nossos resultados mostraram que no mês de novembro de 2012, apenas a estação CUJ (744.457 céls/mL) superou os valores limite de 50.000 céls/mL, preconizado para águas de Classe 2 e até mesmo para a Classe 3 (valor máximo 100.000 céls/mL). Dentre as espécies de cianobactérias registradas no lago Cujubim, apenas *Synechococcus nidulans* é considerada potencialmente tóxica (Sant'Anna et. al, 2008). Entretanto, as águas do lago Cujubim não são utilizadas para abastecimento doméstico e nem mesmo para recreação. Mesmo assim, foram analisadas as cianotoxinas na amostra de CUJ no mês de novembro de 2012. Os resultados obtidos para cianotoxinas foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado. Ver laudos no **Anexo 5.2.1-6.**



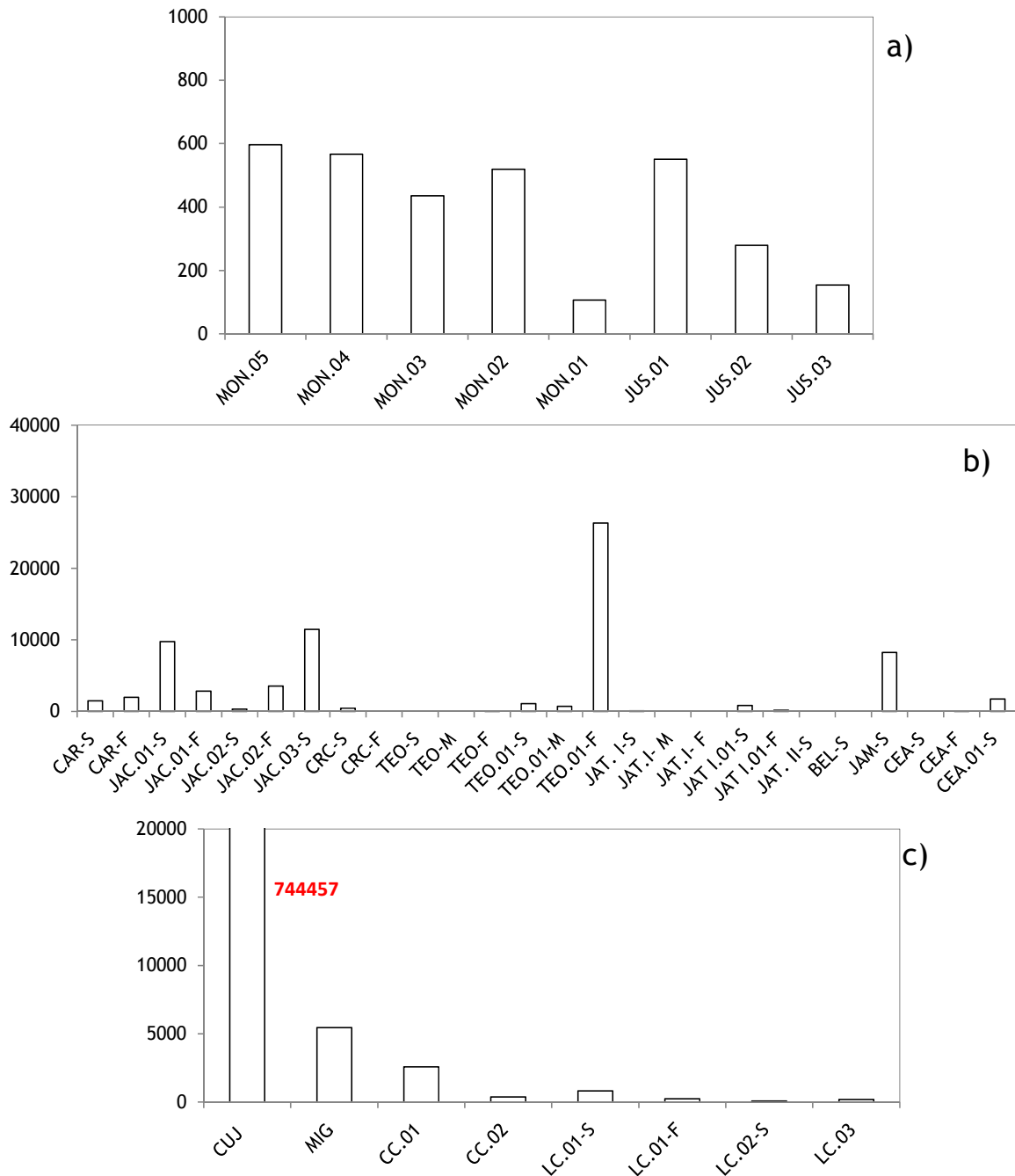


Figura 5.2.1-12 - Densidade de cianobactérias no rio Madeira (a), tributários (b) e lagos e canais (c) em novembro de 2012. Em vermelho valor máximo atingido em CUJ.

Vale ressaltar que, dados os fins para os quais as águas do rio Madeira, tributários e lagos e canais se destinam até então (Classe 2), os resultados de cianotoxinas foram inferiores aos estabelecidos pela Portaria 2.914 de 12 de novembro de 2011 do Ministério da Saúde, para água destinada ao consumo humano. No rio Madeira, ocorre captação de água destinada ao consumo humano, próximo à estação JUS.01. No entanto, a densidade de cianobactérias neste rio foi inferior a 20.000 céls./mL em todas as estações de amostragem. Nos demais compartimentos não há captação de água.

O lago que atingiu densidades de cianobactérias superiores ao estabelecido pela legislação está localizado a jusante da UHE Santo Antônio e, portanto, não está sob influência do empreendimento. Dessa forma, não confere risco de contaminação aos pontos de captação de água (situados a montante do local onde está o lago, tendo o rio Madeira como referência), por dispersão de células de cianobactérias. Embora não tenha sido detectada a ocorrência de cianotoxinas em novembro/2012, o uso das águas do lago Cujubim para abastecimento é desaconselhado.

### 5.2.1.8 - Curva de rarefação

É reconhecido que a riqueza de espécies das comunidades é influenciada pelo número de amostras e pela abundância em que as populações ocorrem (Williams 1964). Com o objetivo de comparar a riqueza de espécies encontrada nos três compartimentos estudados, tendo como base um número idêntico de indivíduos, foi utilizada a curva de rarefação proposta por Gotelli & Graves (1996). Para tanto, foi considerado o somatório das densidades fitoplanctônicas (ind/mL) em cada compartimento no mês de novembro de 2012. Os resultados da curva de rarefação para o mês de novembro foram diferentes daqueles encontrados nos relatórios anteriores, uma vez que os lagos e canais apresentavam maiores valores para a riqueza de espécies se comparados aos tributários. Notas-se, portanto uma inversão no número máximo de espécies registradas nestes dois sistemas. Considerando-se uma mesma unidade de esforço, a riqueza de espécies esperada foi maior nos tributários (115 espécies), seguida da riqueza registrada nos lagos e canais (73 espécies) e por fim do rio Madeira (34 espécies- ver item 5.2.1-5). Ainda, a não sobreposição dos intervalos de confiança das três curvas mostra que os tributários apresentaram o maior número de espécies exclusivas a este sistema (72 espécies). A riqueza esperada pela curva de rarefação padronizada mostra claramente diferenças significativas entre a riqueza de espécies nos diferentes sistemas, para uma mesma densidade (não há sobreposição dos intervalos de confiança entre as três curvas. Porém 14 espécies são compartilhadas entre os três sistemas (rio Madeira, tributários e lagos e canais); 22 espécies são exclusivamente compartilhadas entre

os tributários e lagos e canais e cinco espécies são exclusivamente compartilhadas entre o rio Madeira e os tributários. Nenhuma espécie foi compartilhada com exclusividade entre o rio Madeira e os lagos e canais. - Figura 5.2.1-13).

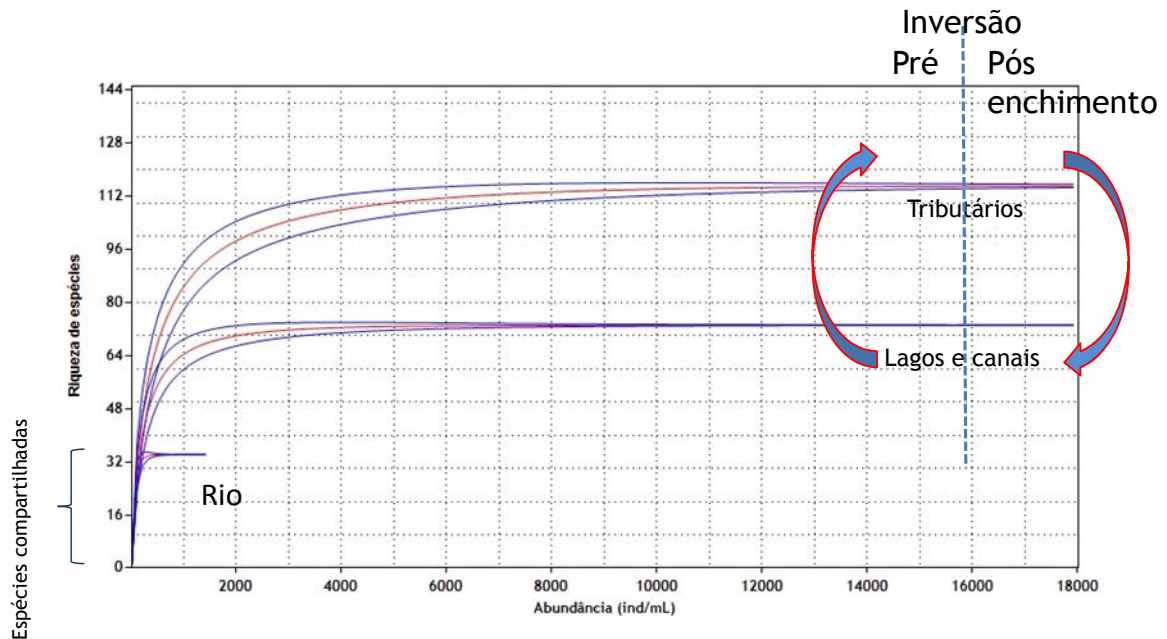


Figura 5.2.1-13 - Curva de rarefação para a comunidade fitoplanctônica do rio Madeira, tributários e lagos e canais em novembro de 2012 (riqueza de espécies esperada para uma densidade das populações padronizada, Gotelli & Graves, 1996). As linhas azuis representam 95% do intervalo de confiança para cada compartimento. As setas largas representam a inversão da riqueza de espécies entre lagos e canais e tributários nas fases de pré e pós-enchimento.

### 5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nas águas baixas de 2009, 2010, 2011 e 2012.

O fitoplâncton em grandes rios é principalmente controlado por fatores físicos como, vazão e velocidade da massa de água, conectividade com outros sistemas adjacentes, penetração da luz e temperatura da água. Assim, a dinâmica da comunidade fitoplanctônica em grandes rios geralmente apresenta baixa biomassa e alta riqueza e diversidade dada a ocorrência de muitas espécies esporádicas (Devercelli e O' Farrell, 2012).

Com o objetivo de avaliar possíveis mudanças na biomassa expressa em biovolume total ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ) e das principais classes taxonômicas (cianobactérias, criptofíceas, crisofíceas, diatomáceas,

euglenóides, clorofíceas e zignematofíceas), na riqueza de espécies e diversidade específica, comparou-se, através de testes estatísticos (ANOVA Post Hoc teste, nível de significância de 5%), os período de águas baixas de 2009 (pré-enchimento 1), 2010 (pré-enchimento 2), 2011 (enchimento) e 2012 (operação) do rio Madeira e seus tributários. Com o objetivo de identificar possíveis padrões ambientais considerando-se a biomassa fitoplanctônica (BV), condutividade (Cond.), pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água (T<sub>água</sub>), fósforo solúvel reativo (SRP), profundidade máxima (Z<sub>máx</sub>), íon nitrato (NNO<sub>3</sub>-), íon amonium (NNH<sub>4</sub>+) e sólidos em suspensão (SS) realizou-se Análises de Componentes Principais no rio Madeira, nos tributários e lagos e canais.

Considerando o rio **Madeira**, a biomassa e a riqueza de espécies não apresentaram diferenças significativas entre as diferentes águas baixas (**Figura 5.2.1-14 a e b**). A diversidade nas águas baixas de 2011 (enchimento) foi menor se comparada aos demais períodos de águas baixas (2009, pré-enchimento 1-  $p=0,002$ ; 2010, pré-enchimento 2-  $p<0,0001$  e 2012, operação-  $p=0,001$ ) (**Figura 5.2.1-14 c**). Nos **tributários**, a biomassa e a riqueza foram maiores nas águas baixas de 2011 (enchimento) e nas águas baixas de 2012 (operação) se comparada às águas baixas de 2010 (pré-enchimento 2;  $p=0,05$  - **Figura 5.2.1-14 d e e**). A diversidade foi maior nas águas baixas de 2012 se comparada às águas baixas de 2010 ( $p=0,01$ ) e se comparada às águas baixas de 2011 ( $p=0,005$  - **Figura 5.2.1-14 c**). Nos **lagos e canais** não houve diferença significativa da biomassa total entre os períodos de águas baixas, embora haja uma tendência de maiores biomassas nas águas baixas de 2012 (**Figura 5.2.1-14 g**). A riqueza de espécies foi maior nas águas baixas de 2012 se comparada às águas baixas de 2011 ( $p=0,01$ ) e se comparado às águas baixas de 2010 ( $p=0,05$  - **Figura 5.2.1-14 h**). A diversidade de espécies foi maior nas águas baixas de 2009 e de 2012, de forma que foram maiores se comparadas as águas baixas de 2010 ( $p=0,01$  e  $p=0,0001$ ) e de 2011 ( $p=0,001$  e  $p<0,0001$ ).

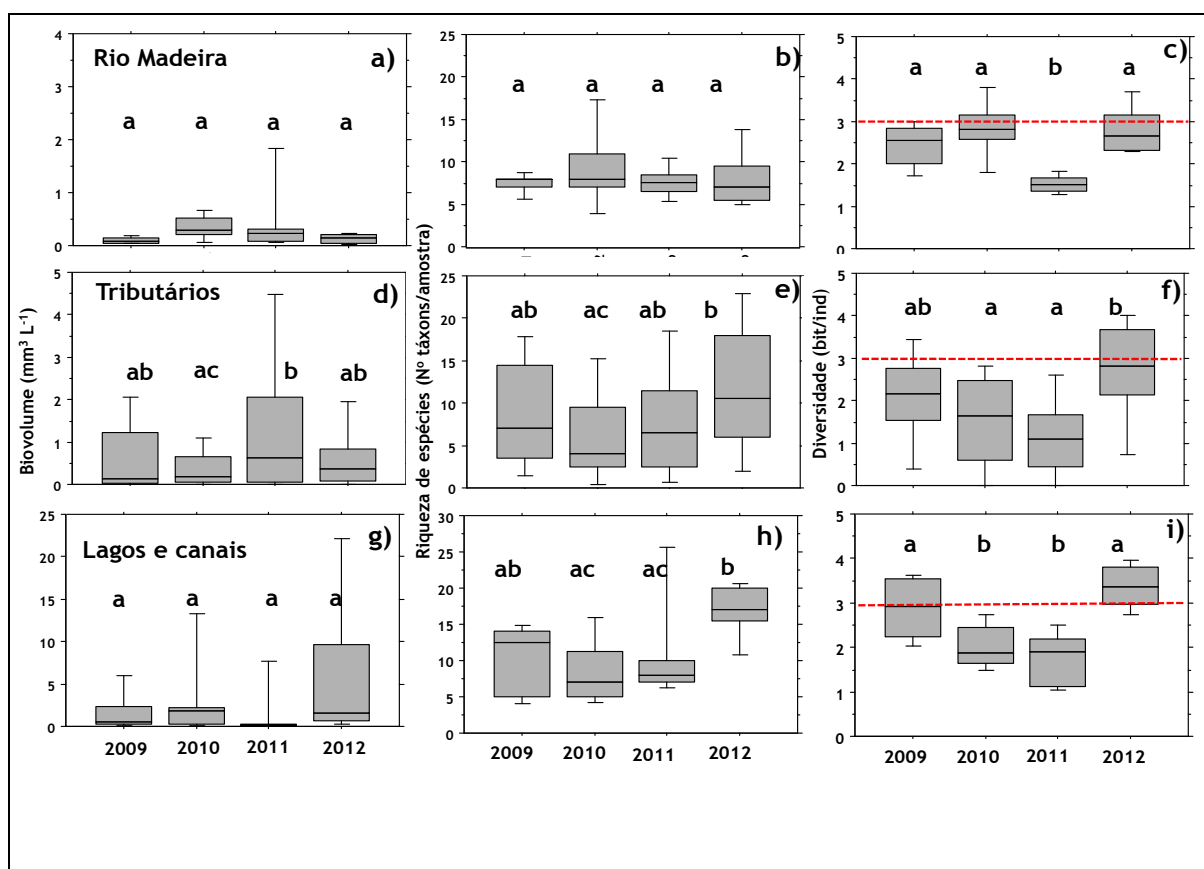


Figura 5.2.1-14 - “Box-plot” da biomassa ( $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$ ), da riqueza de espécies (número de táxons/amostra) e da diversidade (bits/ind), nas águas baixas de 2009, 2010, 2011 e 2012. a-c) no rio Madeira; d-f) nos tributários; g-i) nos lagos e canais. A linha dentro das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados, respectivamente. As letras acima das caixas quando diferentes significam diferença estatística (ANOVA Post Hoc teste). A linha vermelha pontilhada representa o limite considerado como alta diversidade.

No rio **Madeira** o primeiro ano da fase de pré-enchimento (2009) apresentou menores biomassas de diatomáceas, euglenóides e clorofíceas se comparada ao segundo ano (2010-Quadro 5.2.1-4). A fase de operação (2012) apresentou maiores biomassas de cianobactérias se comparada às fases de pré-enchimento de 2009 e de 2010 e menores biomassas de diatomáceas e clorofíceas se comparada às águas baixas de 2010. Nos **tributários** apenas a biomassa das criptofíceas foi maior nas águas baixas de 2012 (operação). Nenhuma outra classe taxonômica apresentou diferença significativa entre as diferentes fases do reservatório nos tributários (Quadro 5.2.1-4). Nos **lagos e canais** o primeiro ano da fase de pré-enchimento (2009) apresentou maiores biomassas de criptofíceas se comparado ao segundo ano (2010) e maiores biomassas de crisofíceas se comparada às demais fases (pré-enchimento 2, enchimento e operação). A biomassa das diatomáceas foi maior na fase de pré-enchimento 2010 se comparada as demais fases (pré-enchimento 1, enchimento e operação- Quadro 5.2.1-4).

**Quadro 5.2.1-4 - Resultado da ANOVA Post Hoc teste aplicado entre o biovolume das classes taxonômicas e os períodos de águas baixas de 2009, 2010, 2011 e 2012, no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais.**

Classe taxonômica/sistemas	Rio Madeira	<i>p</i>	Tributários	<i>p</i>	Lagos e canais	<i>p</i>
cianobactérias	2009< 2012	0,03				
	2010< 2012	0,04				
criptofíceas			2011<2012	0,03	2009>2010	0,05
crisofíceas					2009>2010	0,05
					2009>2011	0,05
					2009>2012	0,05
diatomáceas	2009<2010	0,01	2011>2012	0,01	2010>2009	0,003
	2010>2012	0,01			2010>2011	0,003
					2010>2012	0,01
euglenóides	2009<2010	0,007				
	2010>2011	0,007				
clorofíceas	2009<2010	0,02				
	2010>2012	0,02				

As análises de Componentes Principais mostraram as relações da biomassa do fitoplâncton, expressa em biovolume, e do ambiente (variáveis físicas e químicas) com os períodos de águas baixas nas diferentes fases do empreendimento (pré-enchimento, enchimento e operação) no rio Madeira e seus tributários. A análise revelou uma diferenciação da fase de operação das demais fases no rio Madeira e nos tributários. As variáveis que se relacionaram com a fase de operação no rio Madeira foram profundidade máxima, temperatura da água e íon nitrato. Nos tributários as variáveis que se relacionaram com a fase de operação foram profundidade máxima, temperatura da água, pH e condutividade. Ainda, no rio Madeira a fase de pré-enchimento de 2010 também foi diferenciada das demais pelas variáveis pH e condutividade. Vale ressaltar que o rio Madeira sempre apresentou períodos hidrológicos mais marcados do que os tributários.

Os dois primeiros eixos da ACP usando 11 variáveis abióticas e o biovolume total do fitoplâncton explicaram 52,59 e 52,05 e 43,22 % da variabilidade dos dados no rio Madeira, nos tributários e lagos e canais respectivamente (**Quadro 5.2.1-5**). As variáveis significativas para os dois primeiros eixos da análise e que se correlacionaram **positivamente ao eixo 1** foram: i) no rio Madeira - Condutividade (0,89), pH (0,84) e OD (0,51), ii) nos tributários - Profundidade máxima (Z<sub>máx</sub>, 0,75), Temperatura da água (T<sub>água</sub>, 0,89) e pH (0,84) e iii) nos lagos e canais- pH (0,71) e OD (0,85).

As variáveis que se correlacionaram **negativamente ao eixo 1** foram i) no rio **Madeira** - Turbidez (-0,94), Sólidos em Suspensão (SS, -0,84) e  $\text{NNH}_4^+$  (-0,51), ii) nos **tributários** - SS (-0,61) e  $\text{NNH}_4^+$  (-0,55) e iii) nos **lagos e canais** - SS (0,50), Cond (0,46),  $\text{NNH}_4^+$  (0,76) FSR (0,80). As variáveis que se correlacionaram **positivamente ao eixo 2** foram i) no rio **Madeira** SS (0,43) e  $\text{DBO}_5$  (0,49), ii) nos **tributários** -  $\text{NNO}_3^-$  (-0,81) e (FSR, 0,75) e iii) nos **lagos e canais** - Prof max (0,46) e FSR (0,50). As variáveis que se correlacionaram **negativamente ao eixo 2** foram: i) no rio **Madeira** -  $\text{Zmáx}$  (-0,75), Tágua (-0,86) e  $\text{NNO}_3^-$  (-0,63), ii) nos **tributários** - OD (-0,44) e iii) nos **lagos e canais** - Tágua (0,70), OD (0,71) e BV (0,47 - **Quadro 5.2.1-5**). O biovolume fitoplanctônico não foi significativo para os dois primeiros eixos tanto no rio Madeira quanto nos tributários. Assim, as diferenças encontradas na ACP ocorreram, principalmente, devido a mudanças ambientais se comparadas às biológicas (**Figura 5.2.1-15**).

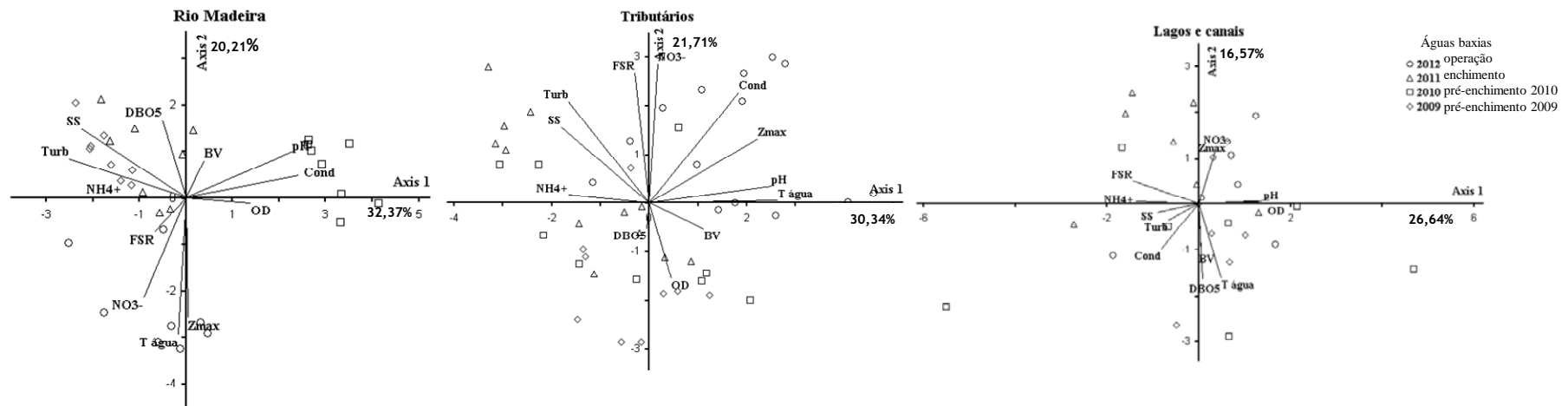


Figura 5.2.1-15 - Diagramas de ordenação derivados das Análises de Componentes Principais (ACP) aplicadas às variáveis ambientais e ao biovolume total do fitoplâncton no rio Madeira e seus Tributários nos períodos de águas baixas durante diferentes fases do reservatório: losango: pré-enchimento 2009, quadrado: pré-enchimento 2010, triângulo: enchimento 2011 e círculo: operação 2012. T água= temperatura da água, OD= oxigênio dissolvido, Turb=turbidez, Cond= condutividade, NO3-= íon nitrato, NH4+= íon amônio, SS= sólidos em suspensão, Zmáx=profundidade máxima, FSR=fósforo solúvel reativo, DBO 5= demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias e BV=biolume do fitoplâncton.



**Quadro 5.2.1-5 - Matriz entre os autovetores (variáveis) e porcentagem da variância explicada nos dois eixos das Análises de Componentes Principais aplicada às amostras dos períodos de águas baixas das diferentes fases do reservatório no rio Madeira e seus tributários. Números em vermelho e azul são as variáveis mais importantes que se relacionaram negativamente e positivamente aos dois primeiros eixos respectivamente.**

Compartimentos Variáveis/Eixos	Siglas	Rio Madeira		Tributários		Lagos e canais	
		1	2	1	2	1	2
Profundidade máxima (m)	Zmax	0.0176	-0.7595	0.7518	0.3764	0.0007	0.4671
Temperatura da água (°C)	T água	-0.0607	-0.8674	0.8900	0.0156	0.2737	-0.7076
Turbidez (NTU)	Turb	-0.9417	0.2446	-0.5614	0.5946	-0.3780	-0.1633
Sólidos em suspensão (mg/L)	SS	-0.8444	0.4343	-0.6110	0.4466	-0.5013	-0.0836
Condutividade (µS/cm)	Cond	0.8963	0.1423	0.6212	0.6468	-0.4612	-0.4314
Potencial hidrôgeno	pH	0.8459	0.2879	0.8454	0.0982	0.7176	0.0123
Oxigênio dissolvido (mg/L)	OD	0.5161	-0.0341	0.1528	-0.4448	0.8541	0.0284
Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L)	DBO5	-0.1896	0.4918	-0.0151	-0.1525	0.0478	-0.7195
Íon amônio (µg/L)	NH4+	-0.5133	0.0056	-0.5599	0.0446	-0.7660	0.0212
Íon nitrato (µg/L)	NO3-	-0.3371	-0.6317	0.0603	0.8123	0.1936	0.5033
Fósforo solúvel reativo (µg/L)	FSR	-0.2517	-0.2155	-0.0984	0.7591	-0.8028	0.2193
Biovolume (mm <sup>3</sup> /L)	BV	0.1403	0.2373	0.3801	-0.1546	0.0274	-0.4793
% da variância		32.376	20.214	30.343	21.716	26.649	16.574
% da variância acumulada		32.376	52.590	30.343	52.059	26.649	43.223
Autovalores (Broken Stick)		3.103	2.103	3.103	2.103	3.103	2.103

### 5.2.1.10 - Discussão

Dada a dinâmica natural de mudanças na comunidade fitoplanctônica, padrões nessa comunidade são difíceis de identificar, principalmente em ambientes lóticos devido a forte influência do escoamento hidráulico e constante esforço adaptativo das espécies. Nas águas baixas de 2012 (novembro de 2012) a riqueza de espécies, considerando as amostras qualitativas e quantitativas, foi de 404 espécies. Uma alta riqueza de espécies foi observada considerando-se uma única amostragem e em comparação com as demais riquezas de espécies no conjunto dos dados (rio Madeira+tributários+lagos e canais) nos períodos de águas baixas de 2009 (188 espécies), 2010 (196 espécies) e 2011 (213 espécies).

Com base nos testes estatísticos, a composição das classes taxonômicas apresentou variada diferenciação entre os períodos de águas baixas principalmente no rio Madeira e nos lagos e canais. Porém no rio Madeira a biomassa e a riqueza não apresentaram diferença significativa entre as fases do reservatório. Esse resultado nos mostra que a comunidade fitoplanctônica é dinâmica e, portanto, não se pode relacionar tais mudanças às fases do reservatório *per se*. Nos lagos e canais, embora graficamente a biomassa pareça maior na fase de operação, o teste estatístico não apresentou diferenças nessa variável quando comparada as fases do reservatório.

A riqueza de espécies e a diversidade nos lagos e canais foi igual as águas baixas de 2009 (primeiro ano da fase de pré-enchimento).

A diversidade específica (índice de Shannon) no rio Madeira diminuiu consideravelmente na fase de enchimento, porém voltou a aumentar na fase de operação equivalendo-se às fases de pré-enchimento. O mesmo ocorreu com a diversidade nos tributários, porém esta variável não sofreu demasiada diminuição no período de enchimento como ocorreu no rio Madeira.

A inversão da riqueza de espécies entre os tributários e lagos e canais apresentada na curva de rarefação não é de fato um resultado diferente das demais águas baixas e sim um resultado novo, uma vez que essa análise não foi aplicada aos demais períodos de águas baixas.

A análise de componentes principais no rio Madeira e tributários evidenciou que a fase de operação se diferenciou das demais fases principalmente pelo aumento da profundidade máxima (o que já era previsto) e da temperatura da água, muito provavelmente pelas maiores temperaturas do ar relacionadas ao fenômeno La Niña (<http://www.esrl.noaa.gov/>). Especificamente no rio Madeira a fase de operação foi relacionada com o aumento do íon nitrato e nos tributários com o aumento do pH e da condutividade. O biovolume fitoplanctônico não foi significativo para explicar os dois primeiros eixos tanto no rio Madeira quanto nos tributários e aponta que as diferenças encontradas na ACP ocorreram, principalmente, devido a mudanças ambientais se comparadas às biológicas. Nos lagos e canais os diferentes períodos de águas baixas não se diferenciaram e o biovolume fitoplanctônico correlacionou-se com a DBO e temperatura da água. Esse resultado nos mostra que a comunidade fitoplanctônica está mais sujeita à mudanças ambientais, nos ambientes lóticos (rio Madeira e tributários) que nos lagos e canais onde fatores locais parecem influenciar tal comunidade biológica.

De uma forma geral nos sistemas na área de influência do reservatório (rio Madeira e seus tributários), as mudanças encontradas comparando-se os períodos de águas baixas nas diferentes fases do reservatório podem estar relacionadas à dinâmica da comunidade fitoplanctônica, não podendo ainda ser atribuídas à implantação do reservatório. Para tanto, comparações de outros períodos hidrológicos são necessárias objetivando a busca por padrões. Já nos lagos e canais as mudanças encontradas parecem estar relacionadas com fatores locais.

### Lista de Anexos para Referência e Índice - Uso do NG

1	Anexo 5.2.1-1	Lista de espécies fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012
2	Anexo 5.2.1-2	Densidade fitoplanctônica no mês de novembro 2012
3	Anexo 5.2.1-3	Biovolume fitoplanctônico (mm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> ) do Rio Madeira, seus tributários e lagos e canais, na região de influência da UHE Santo Antônio do Rio Madeira, no mês de novembro/2012
4	Anexo 5.2.1-4	Abundância relativa das populações fitoplanctônicas no mês de novembro de 2012
5	Anexo 5.2.1-5	Abundância de espécies de cianobactérias no mês de novembro de 2012
6	Anexo 5.2.1-6	Resultados da análise de cianotoxinas no Lago Cujubim no mês de novembro 2012