

ÍNDICE

5.2 - Bióticos.....	1/26
5.2.1 - Fitoplâncton.....	1/26
5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados	1/26
5.2.1.2 - Densidade absoluta e densidade relativa	4/26
5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo.....	7/26
5.2.1.4 - Riqueza, diversidade específica e equitabilidade no conjunto de dados considerando a densidade fitoplanctônica.....	10/26
5.2.1.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ)	13/26
5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas.....	14/26
5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas	15/26
5.2.1.8 - Curva de rarefação	17/26
5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nos períodos de vazante de 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014	19/26
5.2.1.10 - Discussão	24/26

ANEXOS

Anexo 5.2.1-1 - Lista de Espécies

Anexo 5.2.1-2 - Abundância Total

Anexo 5.2.1-3 - Biovolume Total

Anexo 5.2.1-4 - Dominância dos Táxons

Anexo 5.2.1-5 - Lista de Espécies e Densidades de Cianobactérias

5.2 - BIÓTICOS

5.2.1 - Fitoplâncton

O presente relatório refere-se às amostragens realizadas no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01) no mês de julho de 2014 (período de vazante da fase de operação da UHE Santo Antônio). No presente relatório são apresentados dados de Riqueza, Densidade Absoluta, Densidade Relativa e Biovolume das populações de algas planctônicas referentes a 28 amostras quantitativas e 19 amostras qualitativas. As tendências no comportamento destes parâmetros são avaliadas por meio de índices de diversidade, equitabilidade e dominância, curvas de acumulação de táxons e análises de variância e de ordenação.

5.2.1.1 - Riqueza de espécies no conjunto de dados

A lista das espécies registrada no rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã (LC.01-S) em julho de 2014, considerando as amostras quantitativas e qualitativas, encontra-se no **Anexo 5.2.1-1**. No conjunto total de dados foram registrados 295 táxons, distribuídos em dez classes taxonômicas (46 cianobactérias, 14 criptofíceas, 6 dinoflagelados, 41 crisofíceas, 04 xantofíceas, 29 diatomáceas, 03 rafidofíceas, 24 euglenóides, 113 clorofíceas e 19 zignematofíceas). As clorofíceas e as cianobactérias apresentaram a maior contribuição entre os táxons no conjunto total dos dados (38% e 16%, respectivamente), seguidas de crisofíceas (14%) e diatomáceas (9%; **Figura 5.2.1-1**). Ressalta-se que dos 295 táxons identificados, considerando-se as amostras quantitativas e qualitativas, 111 (38 %) foram provenientes das amostras qualitativas.

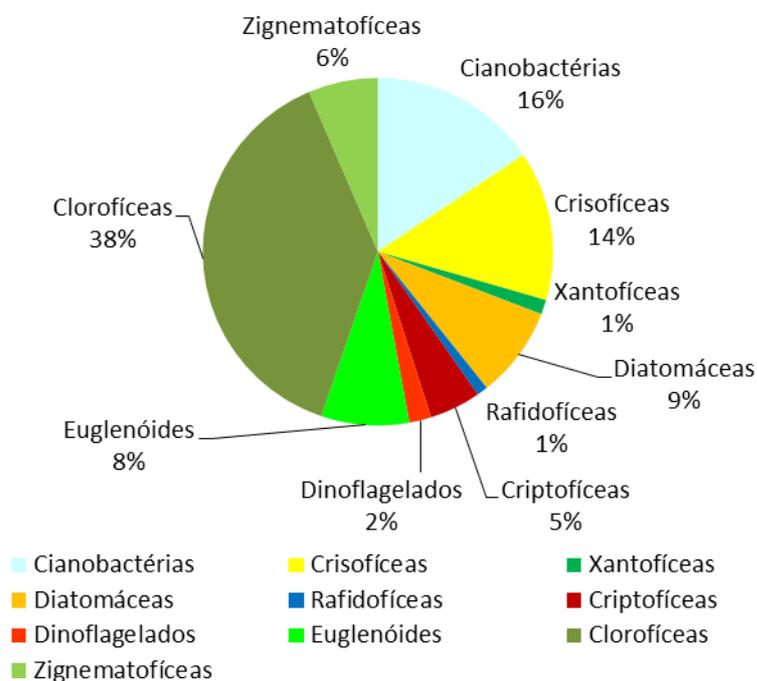


Figura 5.2.1-1 - Riqueza taxonômica total (%) considerando as amostras quantitativas e qualitativas dos três sistemas (rio Madeira, tributários e lago Cuniã) em julho de 2014.

Considerando-se os sistemas em separado, o rio Madeira apresentou um total de 123 táxons, os tributários um total de 236 táxons e o lago Cuniã, um total de 63 táxons. A classe das clorofíceas foi a que mais contribuiu para a riqueza de espécies no conjunto total dos dados no rio Madeira (37%), lago Cuniã (35%) e nos tributários (39%). Além dela, também foram importantes as Cianobactérias, contribuindo com 19%, 17%, 14%, respectivamente, e Crisofíceas (10%, 16% e 16%, respectivamente; **Figura 5.2.1-2**).

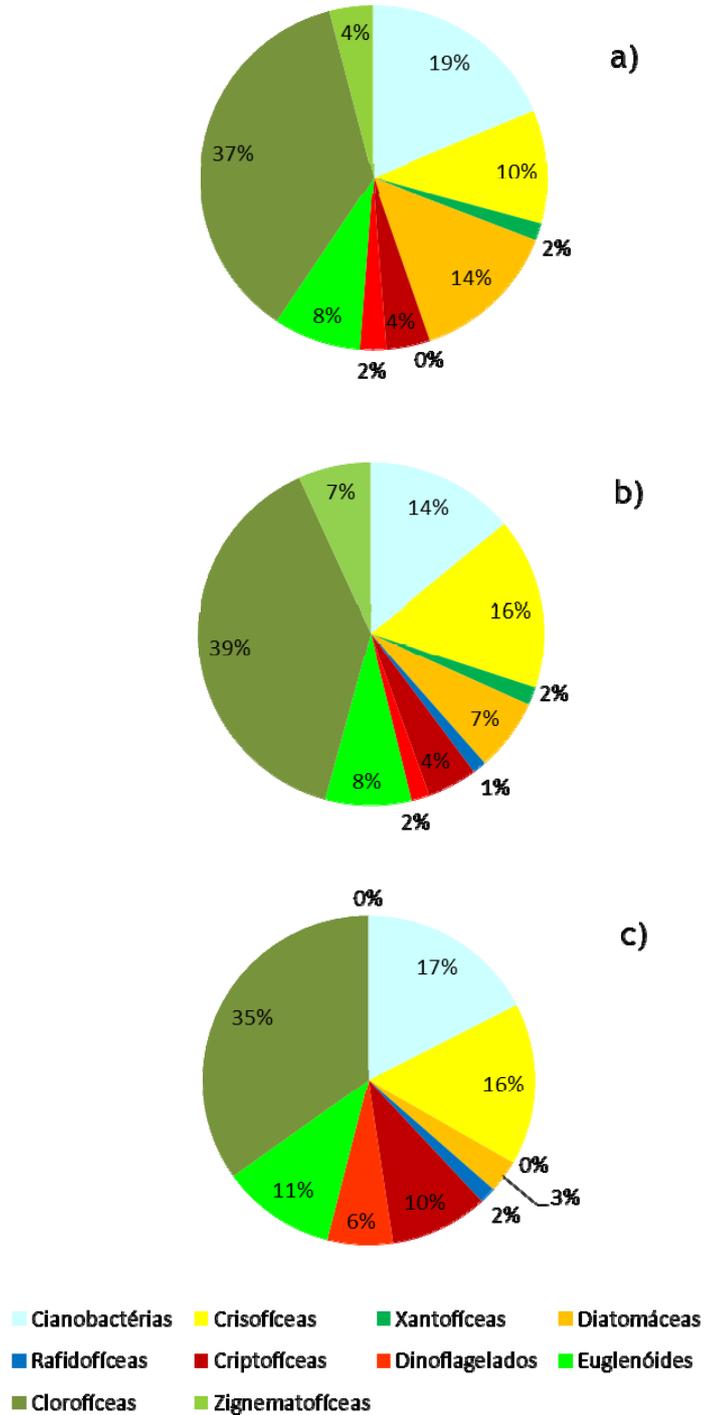


Figura 5.2.1-2 - Riqueza taxonômica total (%) nos sistemas a) rio Madeira, b) tributários e c) lago Cuniã, considerando as amostras quantitativas e qualitativas em julho de 2014.

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 lago Cuniã (LC.01) no mês de julho de 2014 encontram-se no **Anexo 5.2.1-2**. As densidades variaram de 149 ind/mL em JAC.01-F a 12.442 ind/mL em JAT I.01-S e a densidade média considerando as 28 amostras foi de 2.333 ± 2.765 ind/mL. A seguir, são apresentados os resultados de densidade absoluta e relativa do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários, bem como no lago Cuniã.

Rio Madeira

A densidade fitoplanctônica no rio Madeira variou de 197 ind/mL (MON.02) a 1.432 ind/mL (JUS.02; **Figura 5.2.1-3a**) e a densidade média foi de 742 ± 426 ind/mL. Cianobactérias, crisofíceas e clorofíceas foram as classes presentes em todas as amostras, tendo as cianobactérias contribuído entre 7% a 21% em JUS.03 e MON.01, respectivamente, crisofíceas entre 8% e 33% em JUS.01 e MON.03, respectivamente, e clorofíceas entre 33% (MON.03) e 73% (MON.02). Outras classes taxonômicas que contribuíram menos no rio Madeira foram: criptofíceas (3% em JUS.02 a 17% em MON.03), dinoflagelados (2% em JUS.02), diatomáceas (5% em MON.01 e MON.4 e 6% em JUS.02) e euglenóides (14% em MON.04; **Figura 5.2.1-3b**).

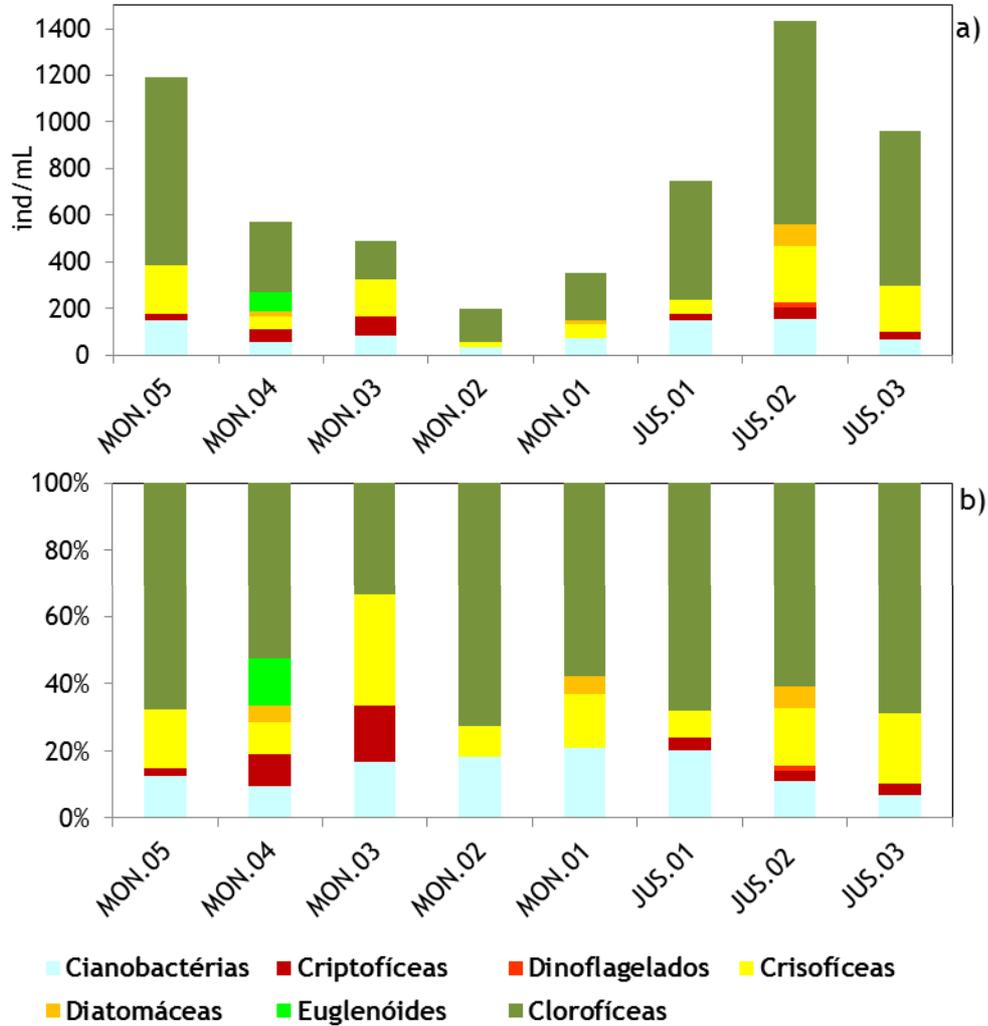


Figura 5.2.1-3 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) dos principais grupos taxonômicos da comunidade fitoplanctônica no rio Madeira em julho 2014.

Tributários e LC.01

A densidade fitoplanctônica variou de 149 ind/mL em JAC.01-F a 12.442 ind/mL em JAT 1.01-S (Figura 5.2.1-4a) e a densidade média foi de 2.685 ± 2.812 ind/mL. De forma geral as clorofíceas foram as que mais contribuíram para a densidade fitoplanctônica total em todas as amostras, seguidas de cianobactérias, crisofíceas e criptofíceas.

Cianobactérias contribuíram com no máximo 43% em JAT I.01-S, 27% em CRC-F, 31% em CAR-F, 33% em CAR-S e 36% em JAC.02-S.

Clorofíceas contribuíram com mais de 80% para a densidade fitoplanctônica total apenas em JAM-F (87%, **Figura 5.2.1-4b**), entre 50%-80% em TEO.01-S (51%), CAR-F (55%), JAT II-F (59%), JAC.01-S (60%), JAT II-S (64%), BEL-S (76%), JAM-S (78%) e entre 20-50% em JAT I.01-S (24%), JAC.01-F (25%), TEO.01-F (28%), JAC.02-S (36%), CEA.01-S (40%), JAC.02-F (41%), CRC-S (43%), CAR-S (48%) e CRC-F (50%).

Criptofíceas foram importantes em TEO.01-F (56%), JAT I.01-F (45%), JAC.01-S (19%), JAC.02-S (17%), TEO.01-S (16%), CEA.01-S e CAR-S (13%). Crisofíceas, em JAC.02-F (26%), JAC.01-F (25%), JAT I.01-S e JAT II-F (21%), JAT I.01-F e TEO.01-S (20%), JAT II-S e CRC-S (13%), JAC.01-S (10%).

Diatomáceas foram importantes em JAC.01-F (50%) e JAC.02-F (20%; **Figura 5.2.1-4b**). Euglenóides contribuíram com cerca de 10% em CEA.01-S (11%) e JAT I.01-F (10%). Outras classes taxonômicas contribuíram em pequenas porcentagens em diferentes tributários, como dinoflagelados em JAC.01-S (3%), JAT I.01-S (4%), JAT I.01-F (5%), TEO.01-F (6%), TEO.01-S (9%), rafidofíceas em JAM-S (1%), CRC-S e F (4%), xantofíceas em CEA.01-S (2%), zignematofíceas em JAC.02-S (2%), JAC.01-S (3%) e JAT I.01-F (5%-**Figura 5.2.1-4 b**).

Em LC.01-S e LC.01-F a densidade total foi de 9.257 ind/mL e 1.813 ind/mL, respectivamente e a densidade média foi de 5.535 ± 5.264 ind/mL. Clorofíceas (57% em ambas as amostras), cianobactérias (9% e 30%) e crisofíceas (16% e 5%) foram as classes que mais contribuíram no lago Cuniã (LC.01-S e F, respectivamente, **Figura 5.2.1-4b**). As classes que tiveram baixa contribuição em ambas as amostras foram criptofíceas (7% em LC.01-S e 5% em LC.01-F) e rafidofíceas (4% em LC.01-S e 3% em LC.01-F). Dinoflagelados (1% de contribuição) e euglenóides (3%) foram registrados apenas em LC.01-S (**Figura 5.2.1-4b**).

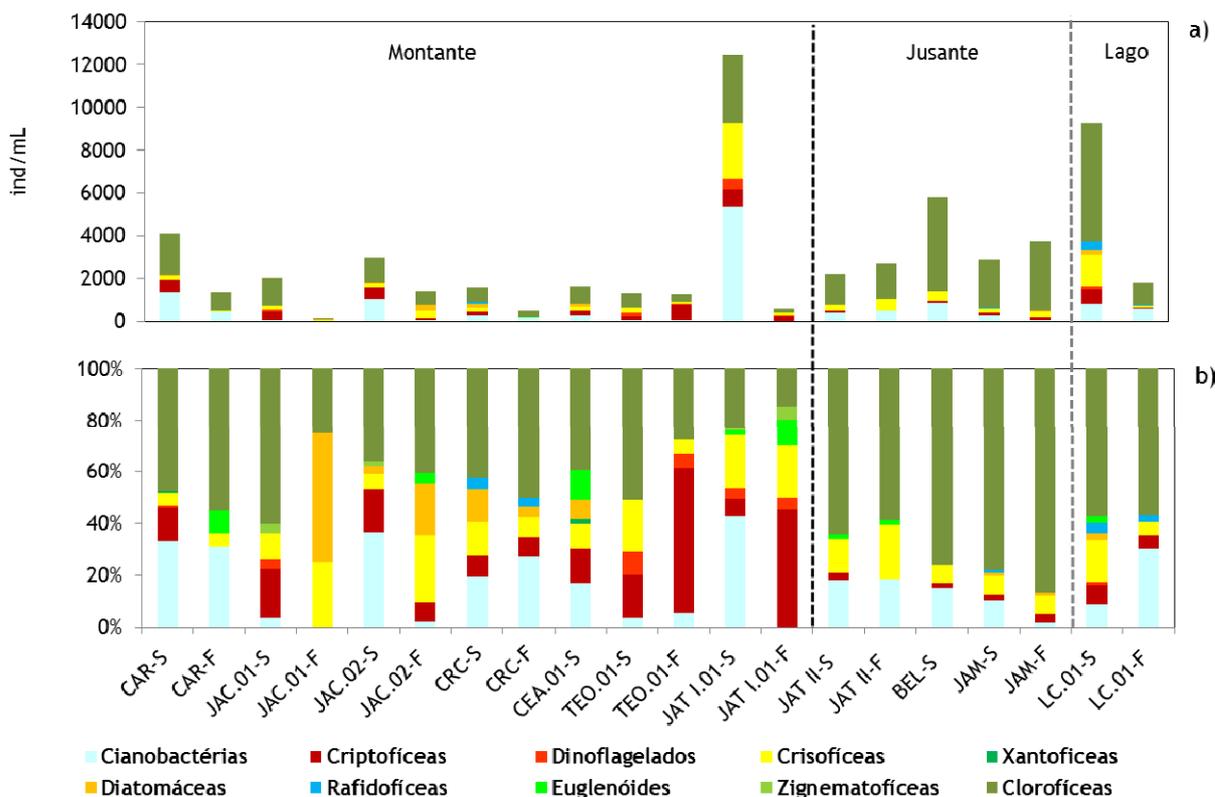


Figura 5.2.1-4 - a) Densidade absoluta (ind/mL) e b) densidade relativa (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos tributários do rio Madeira e no Lago Cuniã (LC.01) em julho de 2014.

5.2.1.3 - Biovolume absoluto e biovolume relativo

Os dados de biovolume das populações de algas, expressos em milímetros cúbicos por litro (mm^3/L), no mês de julho de 2014 encontram-se no Anexo 5.2.1-3. O biovolume das populações de algas variou de $0,017 \text{ mm}^3/\text{L}$ em MON.02 a $9,503 \text{ mm}^3/\text{L}$ em LC.01-S (Figura 5.2.1-5a), com biovolume médio, considerando as 28 amostras, de $0,740 \pm 1,769 \text{ mm}^3/\text{L}$. A seguir, são apresentados os resultados de densidade absoluta e relativa do fitoplâncton no rio Madeira, seus tributários, bem como no lago Cuniã.

Rio Madeira

O biovolume fitoplanctônico no rio Madeira variou de $0,017 \text{ mm}^3/\text{L}$ (MON.02) a $0,328 \text{ mm}^3/\text{L}$ (JUS.02; Figura 5.2.1-5a), com média de $0,099 \pm 0,100 \text{ mm}^3/\text{L}$. Cianobactérias apresentaram importante contribuição em MON.01 (40%), MON.02 (41%) MON.05 (59%) e JUS.01 (73%), enquanto que criptofíceas, em JUS.01 (19%), MON.04 (20%), JUS.03 (40%) e MON.3 (74%). Clorofíceas também

apresentaram importante contribuição, especialmente em MON.05 (28%), JUS.03 (37%), MON.02 (49%) e MON.01 (51%), enquanto que nos outros pontos amostrados variaram de 4% em JUS.02 a 11% em MON.04. A principal classe em JUS.02 foi a das diatomáceas, contribuindo com 75% do biovolume total, 23% em MON.04 e apenas 2% em MON.01. Apesar das crisofíceas terem sido registradas em todas as unidades amostrais, estas apresentaram importante contribuição em JUS.03 (21%), MON.03 (13%) e MON.02 (10%), não alcançando 10% nas demais unidades amostrais (4% em MON.4 e JUS.01, 6% em MON.05 e JUS.02 e 8% em MON.01). Euglenóides ocorreram apenas em MON.04, representando 41% do biovolume total **Figura 5.2.1-5b**).

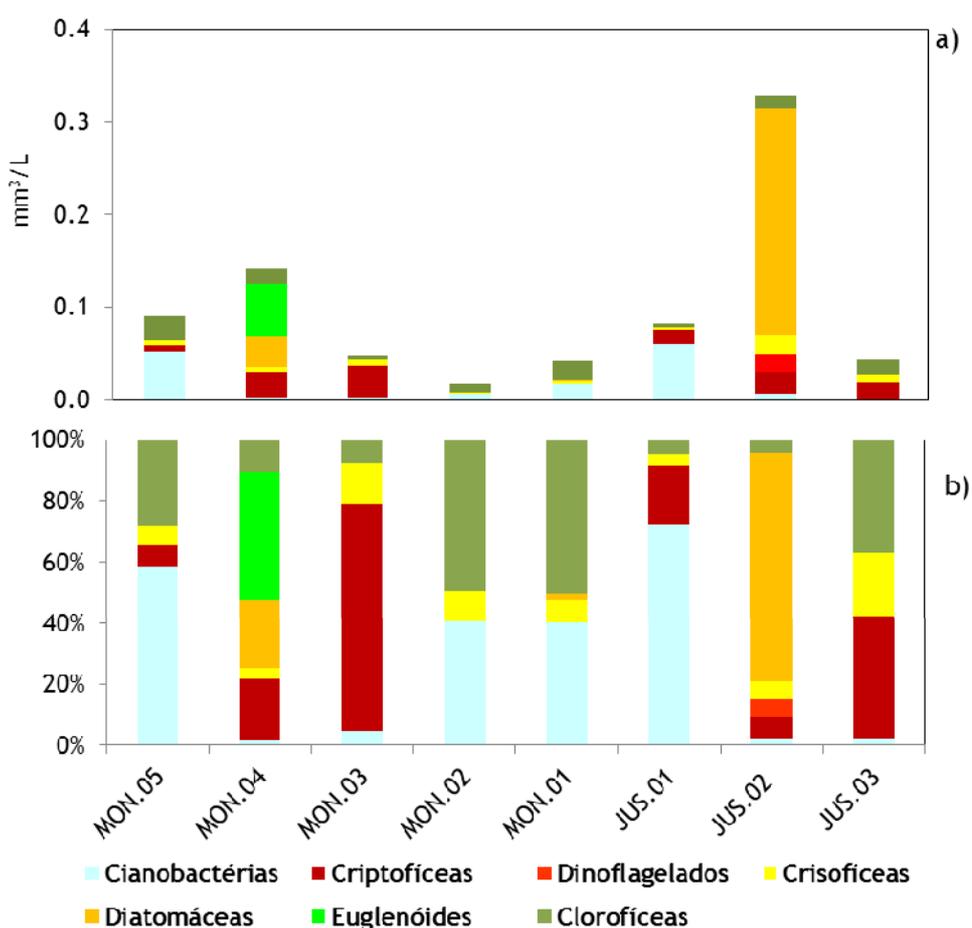


Figura 5.2.1-5 - a) Biovolume absoluto (mm³/L) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica no Rio Madeira em julho de 2014.

Tributários e LC.01

O biovolume fitoplanctônico nos tributários, variou de 0,048 mm³/L (JAC.01-F) a 1,609 mm³/L (JAT I.01-S; **Figura 5.2.1-6a**), com média de 0,518 ± 0,442 mm³/L. O biovolume das classes taxonômicas no mês de julho de 2014 apresentou marcada variabilidade entre os diferentes tributários, com elevada contribuição de fitoflagelados (criptofíceas, crisofíceas, dinoflagelados, euglenóides e rafidofíceas).

Diferente de quando expressa em densidade, a contribuição de cianobactérias foi menor do que quando expressa em biovolume (entre 1% em JAM-S com contribuições máximas de 23% em JAT II-F, 31% em JAT II-S e 33% em BEL-S) devido a dois fatores: i) numerosas colônias de células pequenas (~1,0 µm) e ii) pouca abundância de células individuais também pequenas (~2,5 µm - ver itens 5.2.1-6 e 5.2.1-7, respectivamente). As cianobactérias foram ausentes em JAC.01-S e F, JAC.02-F, CRC-S, TEO.01-S e F, JAT I.01-F.

Criptofíceas foram as que mais contribuíram ao longo das unidades amostrais, especialmente em JAT II-S (20%), JAT I.01-S (27%), JAC.02-F (36%), CEA.01-S (40%), TEO.01-S (52%), JAC.02-S (59%), JAC.01-S (62%), JAT I.01-F (69%), e com dominância em CAR-S (84%) e TEO.01-F (87%). Dinoflagelados foram registrados com importante contribuição em JAT I.01-S e TEO.01-S (32% e 35%, respectivamente), enquanto que as diatomáceas, em JAC.01-F (74%). Crisofíceas apresentaram contribuição abaixo de 10% do biovolume total, com exceção de JAM-F (14%), JAC.01-F (17%), JAT II-F (18%), JAT II-S (24%) e BEL-S (24%). Rafidofíceas foi registrada com importante contribuição em CRC-F (35%), e dominância em CRC-S e JAM-S, com 82% em ambas as unidades amostrais. Euglenóides apresentaram dominância em CAR-F (85%), sendo importantes também em CEA.01-F (35%) e JAT II.F (38%). Apesar de ter sido registrada em todas as unidades amostrais, as maiores contribuições de clorofíceas foram em JAT II-F (21%), JAC.02-S (24%), BEL-S (32%), JAC.02-F (33%), CRC-F (46%) e JAM-F (58%). Zignematofíceas e xantofíceas apresentaram menos de 10% de contribuição. (**Figura 5.2.1-6b**).

O biovolume em LC.01-S foi de 9,503 mm³/L e em LC.01-F foi 1,088 mm³/L e o biovolume médio de 5,295 ± 5,951 mm³/L. A composição taxonômica apresentou dominância de rafidofíceas em ambas unidades amostrais, sendo de 81% em LC.01-S e 86% em LC.01-F. As outras classes contribuíram com menos de 10%, sendo estas: criptofíceas (6% e 9%, respectivamente), clorofíceas (1% em ambas). Euglenóides, diatomáceas e dinoflagelados foram registrados apenas em LC.01-S, contribuindo com 2%, 4% e 5%, respectivamente (**Figura 5.2.1-6b**).

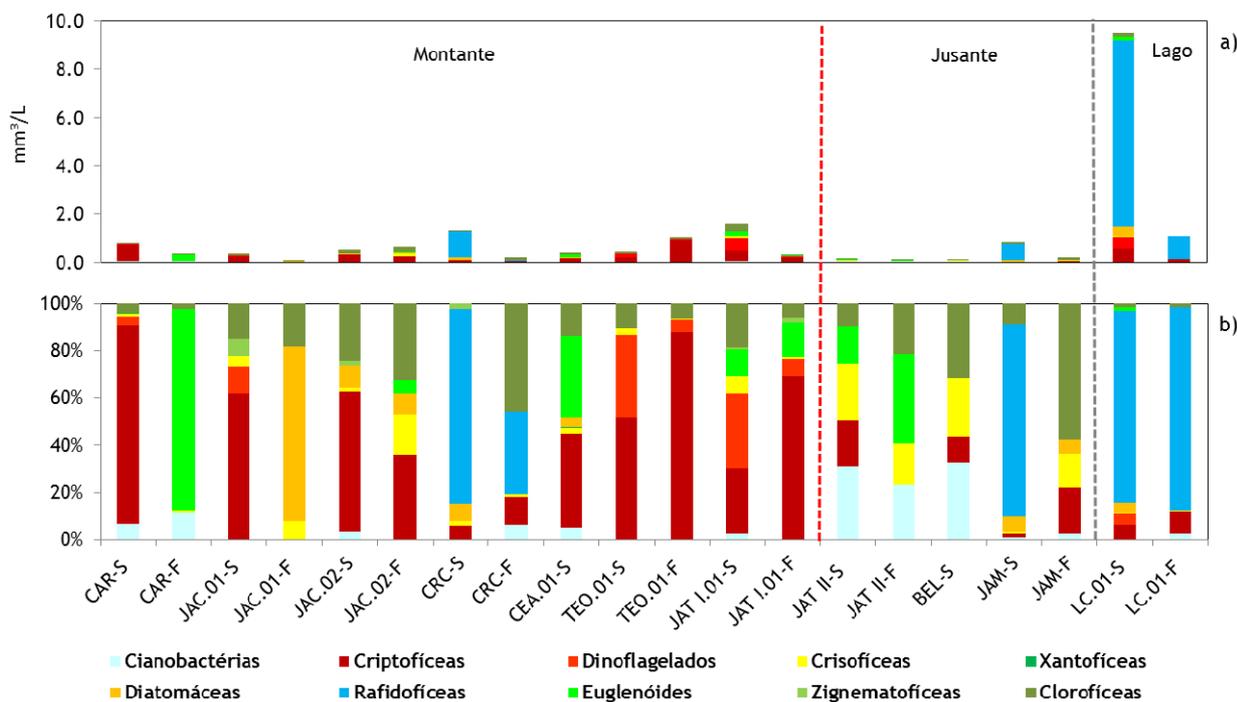


Figura 5.2.1-6 - a) Biovolume absoluto (mm^3/L) e b) biovolume relativo (%) das principais classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica nos tributários do rio Madeira e no Lago Cuniã (LC.01) em julho de 2014.

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

Considerando o rio Madeira, seus tributários e o lago Cuniã, a riqueza de espécies variou de 4 táxons/amostra (JAC.01-F) a 39 táxons/amostra (JAT I.01-S), com riqueza de espécies média de 19 ± 8 táxons/amostra. A diversidade variou de 2,0 bits/ind (JAC.01-F) a 4,4 bits/ind (CEA.01-S), com média de $3,3 \pm 0,6$ bits/ind. A equitabilidade variou de 0,5 (BEL-S) a 1,0 (MON.04, JAC.01-F e CRC-S), com média de $0,8 \pm 0,1$. A seguir são descritos os resultados de riqueza, diversidade específica e equitabilidade fitoplanctônica para o rio Madeira, seus tributários e lago Cuniã.

Rio Madeira

A riqueza de espécies variou de 8 táxons/amostra (MON.02) a 27 táxons/amostra (JUS.02- Figura 5.2.1-7a), com uma riqueza média de 14 ± 6 táxons/amostra. A diversidade variou de 2,6 bits/ind (JUS.01) a 3,7 bits/ind (MON.04 e JUS.02; Figura 5.2.1-7b), com média de $3,1 \pm 0,4$ bit/ind. A equitabilidade variou de 0,7 (MON.05 e JUS.01) a 1,0 (MON.04), com média de $0,9 \pm 0,1$ (Figura 5.2.1-7c).

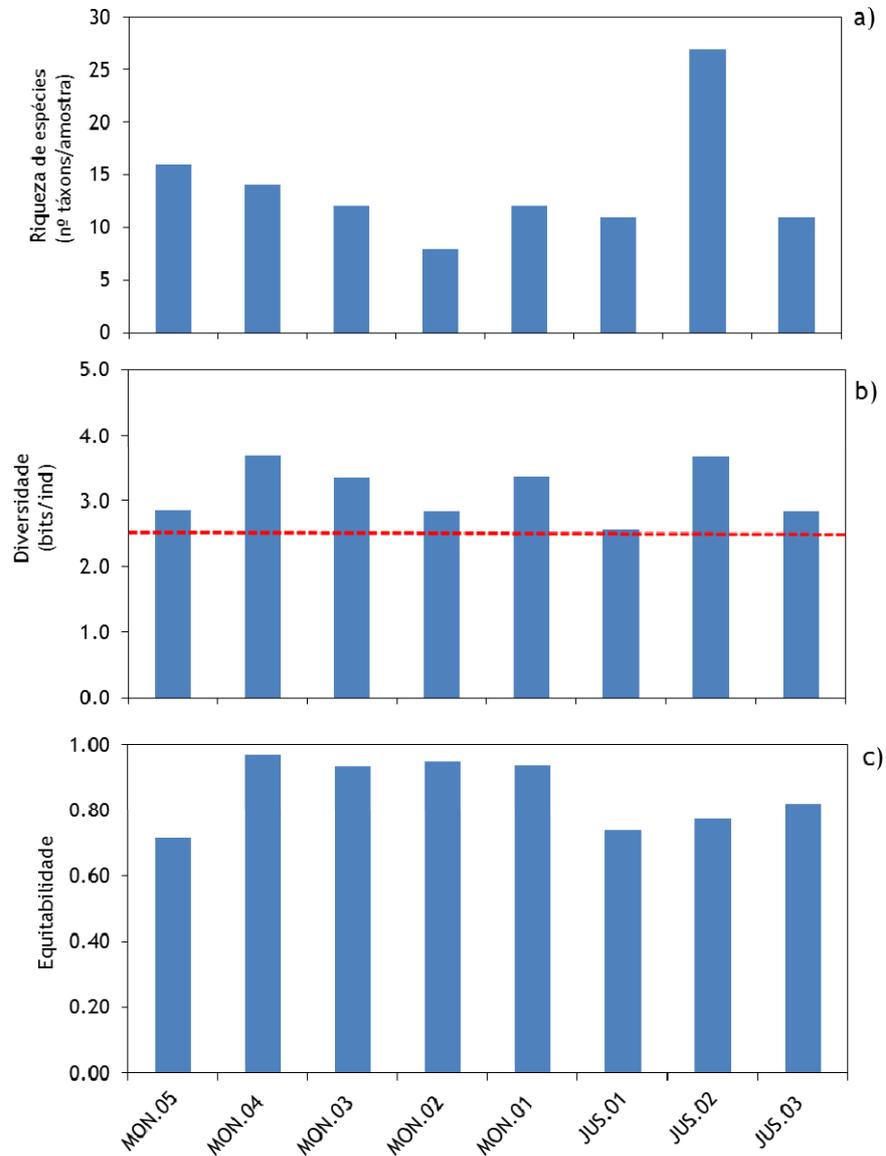


Figura 5.2.1-7 - (a) Riqueza de espécies; (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade (Margaleff, 1979) e (c) equitabilidade no rio Madeira no mês de julho de 2014.

Tributários e LC.01

A riqueza de espécies variou de 4 táxons/amostra (JAC.01-F) a 39 táxons/amostra (JAT I.01-S- **Figura 5.2.1-8a**), e a riqueza média de 21 ± 8 táxons/amostra. Em LC.01-S e LC.01-F a riqueza foi de 37 e 19 táxons/amostra, respectivamente, e a média de 28 ± 13 táxons/amostra. A diversidade variou de 2,0 bits/ind (JAC.01-F) a 4,4 bits/ind (CRC-F e CEA.01-S; **Figura 5.2.1-8b**) e a média foi de $3,4 \pm 0,7$ bit/ind. Em LC.01-S e LC.01-F a diversidade foi de 3,7 e 3,1 bits/ind, respectivamente, e a média foi de $3,4 \pm 0,7$ bits/ind. A equitabilidade variou de 0,5 (BEL-S) a 1,0 (JAC.01-F) e a média foi de $0,8 \pm 0,1$. Em LC.01-S e LC.01-F a equitabilidade foi de 0,7 em ambas unidades amostrais (**Figura 5.2.1-8c**).

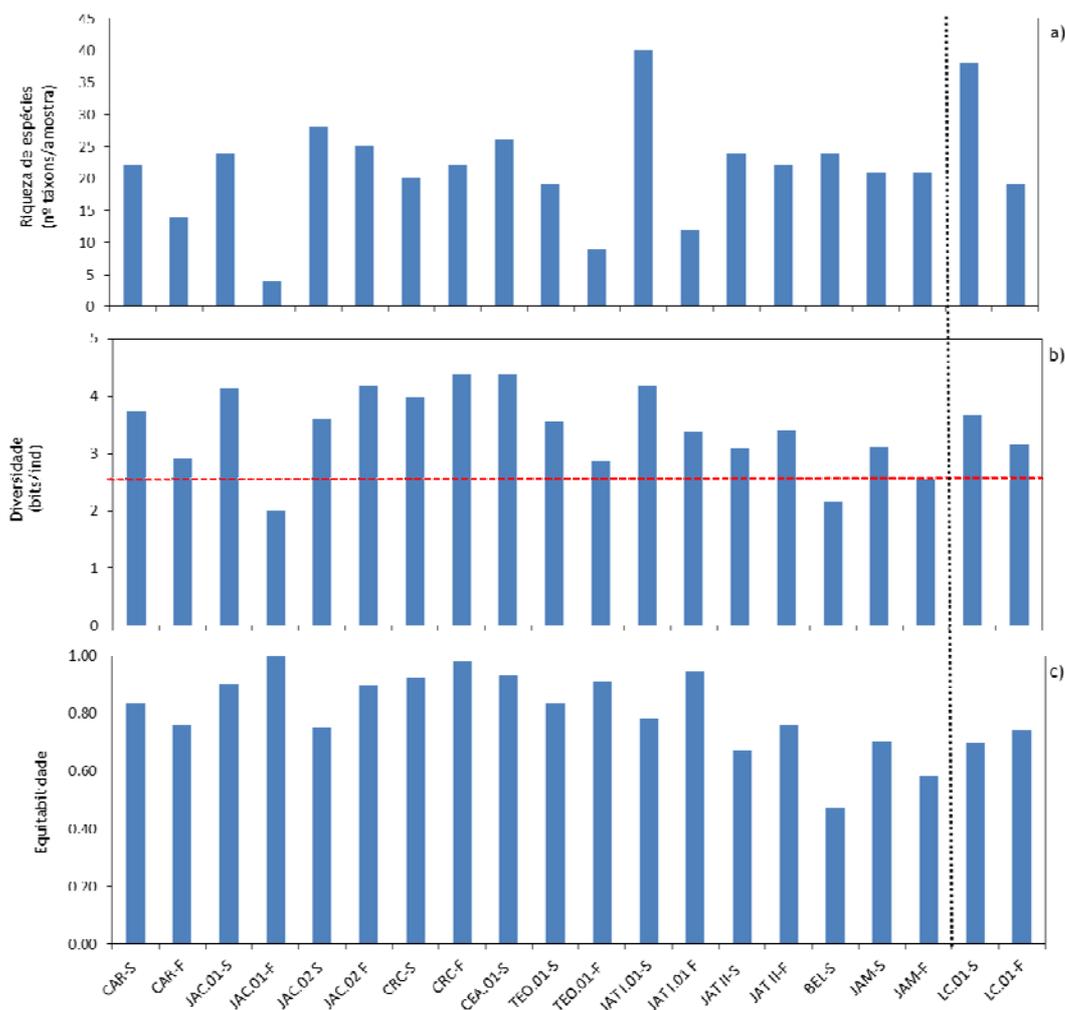


Figura 5.2.1-8 - (a) Riqueza de espécies, (b) diversidade específica, assinalando o limite considerado como alta diversidade e (c) equitabilidade nos tributários do rio Madeira e no Lago Cuniã (LC.01) em julho 2014.

5.2.1.5 - Diversidades de espécies (α , β , e γ)

Considerando apenas as amostras quantitativas no conjunto total dos dados (rio Madeira + tributários + lago Cuniã), a **gama diversidade** (ou diversidade regional), expressa como a riqueza total de táxons da comunidade fitoplanctônica observada em toda a área amostrada no mês de julho de 2014, foi de 184 táxons. Considerando cada sistema, a gama diversidade foi de 62 táxons no rio Madeira, 154 táxons nos tributários e 45 táxons no lago Cuniã (**Quadro 5.2.1-1**).

A **alfa diversidade**, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 19 táxons. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade foi de 14 táxons no rio Madeira, 21 táxons nos tributários e 28 táxons em LC.01 (**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 no conjunto total dos dados, (ii) os pontos de amostragem de cada sistema e (iii) entre os sistemas a) rio Madeira e tributários, b) rio Madeira e lago Cuniã e c) tributários e lago Cuniã. No conjunto total dos dados, a beta diversidade foi de 31%, evidenciando um intercâmbio relativamente elevado de espécies. Considerando cada sistema em separado as estações do rio Madeira apresentaram um intercâmbio relativamente baixo (beta diversidade de 50%), e as estações dos tributários apresentaram um intercâmbio de espécies relativamente considerável (beta diversidade de 38%; **Quadro 5.2.1-1**). Esse resultado evidencia uma baixa homogeneidade longitudinal no rio Madeira, durante o período de vazante. Os valores de beta diversidade registrados neste período assemelham-se muito com os obtidos no período anterior em todos os compartimentos analisados (águas altas: Geral=38%, Rio Madeira=51%, Tributários=39%). A beta diversidade evidenciada entre o rio Madeira e os tributários (32%) e entre os tributários e o lago Cuniã (36%), demonstram uma maior homogeneidade entre os pontos amostrados. Existe, provavelmente, uma possível semelhança na procedência do recrutamento das espécies por se tratar de período de vazante e uma maior contribuição dos tributários no rio Madeira. Considerando-se o intercâmbio de espécies entre o rio Madeira e o lago Cuniã (beta de 43%), observa-se também um aumento da homogeneidade em relação ao período hidrológico passado (águas altas- beta de 67%), muito provavelmente pelo alcance das águas do rio Madeira através da conexão com o lago (**Quadro 5.2.1-1**).

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 julho de 2014.

Diversidades\compartmentos	Geral	Rio Madeira	Tributários	LC.01
Gama	183	62	154	45
Alfa-média	19	14	21	28
Beta	31	50	38	61

Quadro 5.2.1-2 - Diversidades gama, alfa e beta entre os sistemas em julho de 2014.

Compartmentos/diversidades	Gama	Alfa-média	Beta
Rio Madeira vs. Tributários	170	19	32
Rio Madeira vs. LC.01	81	17	43
Tributários vs. LC.01	168	22	36

5.2.1.6 - Dominância das populações fitoplanctônicas

O número de espécies, por grupo taxonômico, de acordo com sua contribuição para a densidade total 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 (contribuição de, no máximo, 10% da densidade total). *Choricystis minor* (clorofíceas) foi considerada pouco abundante (PA, contribuição de 10% a 40%) no rio Madeira e tributários, e *Synechococcus nidulans* (cianobactéria) e *Monoraphidium nanum* (clorofíceas) em LC.01 (**Anexo 5.2.1-4**). A única espécie considerada abundante (contribuição de 40% a 70%) nas amostras de julho de 2014 foi registrada em LC.01, sendo esta *Choricystis minor*, não tendo sido observado nenhum táxon dominante.

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 lago Cuniã (LC.01) no mês de julho de 2014.

Julho de 2014	Rio Madeira				Tributários				LC.01			
	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes	Raras	Pouco Abundantes	Abundantes	Dominantes
Cianobactérias	13	0	0	0	27	0	0	0	9	1	0	0
Dinoflagelados	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
Criptofíceas	4	0	0	0	11	0	0	0	6	0	0	0
Crisofíceas	8	0	0	0	32	0	0	0	8	0	0	0
Diatomáceas	6	0	0	0	9	0	0	0	1	0	0	0
Xantofíceas	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Euglenóides	2	0	0	0	6	0	0	0	2	0	0	0
Rafidofíceas	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0
Zignematofíceas	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Clorofíceas	20	1	0	0	56	1	0	0	12	1	1	0
Total	54	1	0	0	151	1	0	0	42	2	1	0

5.2.1.7 - Cianobactérias e cianotoxinas

A lista das espécies de cianobactérias registrada em julho de 2014 e suas respectivas densidades, expressas em céls/mL em cada sistema, encontra-se no Anexo 5.2.1-5. A densidade de cianobactérias variou de 66 céls/mL em JUS.03 a 26.077 céls/mL em JAT I.01-S (Figura 5.2.1-9), com média de 3.099 ± 5.348 céls/mL. Não foram registradas cianobactérias em JAC.01-F e JAT I.01-F.

No rio Madeira, a densidade de cianobactérias variou de 66 céls/mL em JUS.03 a 1.849 céls/mL em JUS.01 (Figura 5.2.1-9a), com média de 947 ± 747 céls/mL. A espécie que mais contribuiu para a densidade total de cianobactérias no rio Madeira foi *Planktolyngbya limnetica* (2.173 céls/mL), sendo que esta não é considerada potencialmente tóxica (Sant’Anna *et al.*, 2008).

Nos tributários, a densidade de cianobactérias variou de 118 céls/mL (TEO.01-S) a 26.077 céls/mL (JAT I.01-S; Figura 5.2.1-9b), com média de 4.261 ± 6.348 céls/mL. A espécie que ocorreu em maior densidade nos tributários foi *Aphanocapsa delicatissima* (14.828 céls/mL), seguida por *Cyanodiction imperfectum* (8.404 céls/mL) e *Anathece minutissima* (7.466 céls/mL; Anexo 5.2.1-5). Essas espécies também não são consideradas potencialmente tóxicas (Sant’Anna *et al.*, 2008).

No lago Cuniã, a densidade de cianobactérias variou de 895 céls/mL (LC.01-S) a 4.703 céls/mL (LC.01-F), com média de 2.799 ± 2.693 céls/mL. As espécies que mais contribuíram para a densidade total de cianobactérias foram: *Geitlerinema amphibium* (1.537 céls/mL) e cf. *Chroococcus planctonicus* (1.468 céls/mL). Entre essas duas espécies, *G. amphibium* inspira atenção, uma vez que foi identificada potencial produção de toxina (Dogo *et al.*, 2011).

No que se refere ao enquadramento das águas e seus usos múltiplos, a Resolução CONAMA 357/2005 inclui a densidade 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 e enquadramento dos sistemas amostrados, nenhuma estação apresentou valores superiores a 50.000 céls/mL. Em JATI.01 S a densidade ultrapassou o limite especificado na Resolução CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2, sendo registradas 26.077 céls/mL. Entretanto, não foram identificadas espécies potencialmente tóxicas e não ocorre captação de água nesta estação de amostragem.

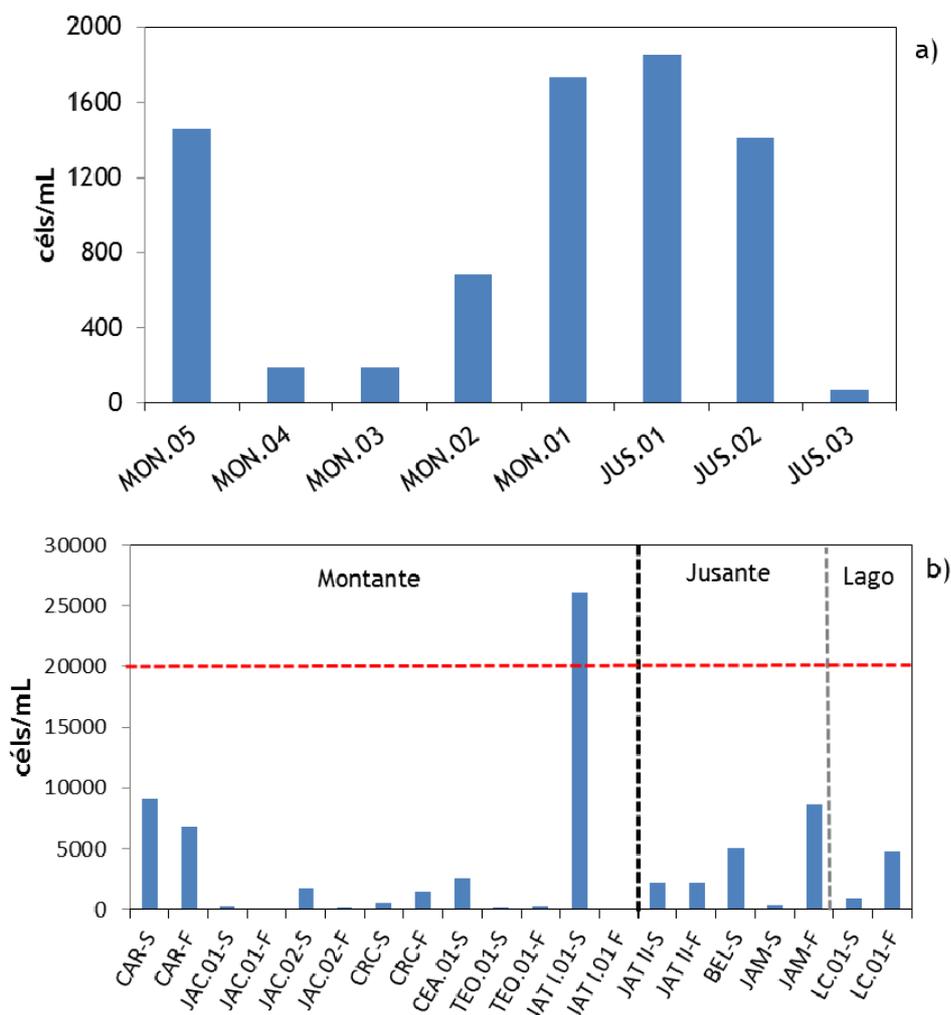


Figura 5.2.1-9 - Densidade de cianobactérias no rio Madeira (a) e tributários, incluindo o lago Cuniã (LC.01) (b) em julho de 2014. A linha pontilhada em vermelho indica o limite de densidade de cianobactérias em cél/mL aceito pelo critério do CONAMA357/2005 de 20.000 cél/mL.

5.2.1.8 - Curva de rarefação

É reconhecido que a riqueza de espécies das comunidades é dependente do tamanho da amostra em uma relação não linear (Schilling *et al.*, 2008). Nesse caso, a curva de acúmulo de espécies tem sido usada para indicar se a amostragem realizada foi suficiente para atingir o número de espécies total da comunidade (Magurran, 2004). Para tanto, foi considerado o número total de espécies (682 espécies) e o número total de amostras (746 amostras) da área de estudo, em cada sistema, até o momento: rio Madeira (242 espécies em 176 amostras), tributários (521 espécies em 410 amostras) e lagos e canais (410 espécies em 160 amostras).

A curva de espécies acumuladas mostrou que em nenhum dos três sistemas a amostragem foi suficiente para atingir o número total de espécies da comunidade (curvas em ascensão, sem indícios de estabilização; **Figura 5.2.1-10**). Como em resultados anteriores, o número total de espécies acumulado no rio Madeira (242 espécies) foi menor do que nos tributários (521 espécies) e lagos e canais (410 espécies). Esses últimos sistemas apresentavam maior riqueza de espécies em relação à abundância total, quando comparado aos tributários e ao rio Madeira (como observado na curva de rarefação do Relatório 8 do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas da UHE Santo Antônio no Rio Madeira - 2382-00-MLM-RL-0008-00), tendo por base um mesmo esforço amostral (~150 amostras). O maior ângulo em relação ao eixo do número das amostras na curva de espécies dos lagos evidencia que a redução do número de espécies acumuladas nos lagos, em comparação aos tributários se deu, provavelmente, pela redução no número de amostras nesses sistemas (**Figura 5.2.1-10**).

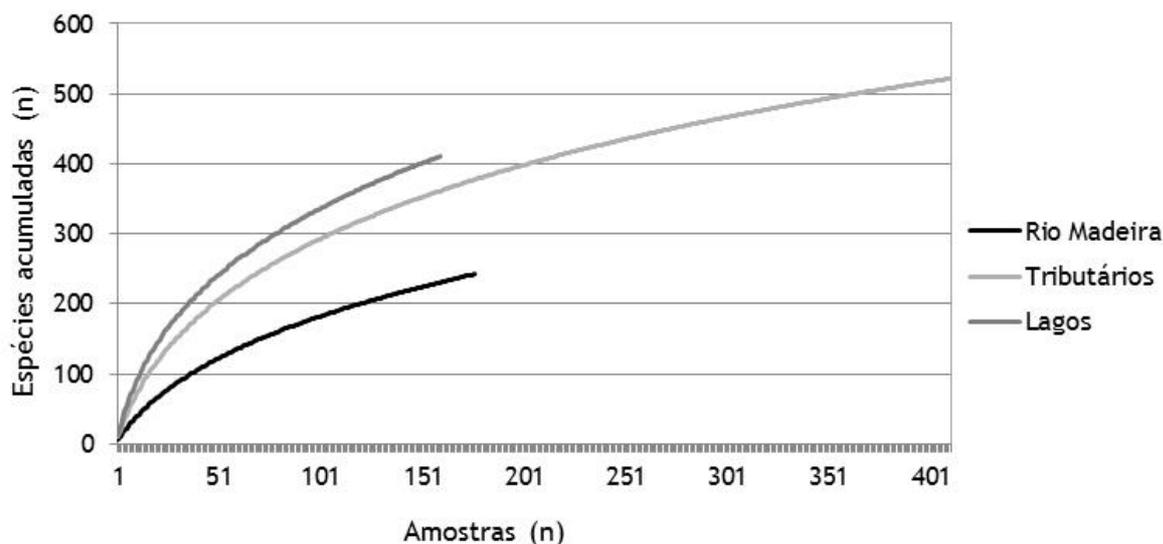


Figura 5.2.1-10 - Curva de acúmulo de espécies fitoplanctônicas em relação ao número total de espécies acumuladas na comunidade (682 espécies) em 746 amostras. Rio Madeira - 176 amostras, tributários - 410 amostras e lagos e canais - 160 amostras. O número de amostras corresponde ao total coletado entre junho de 2009 e julho de 2014.

5.2.1.9 - A comunidade fitoplanctônica e o ambiente: comparação da biomassa, da riqueza e da diversidade específica nos períodos de vazante de 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014

Os testes estatísticos considerando-se as variáveis riqueza, biomassa e diversidade nos períodos de vazante amostrados ao longo deste monitoramento, representados nos gráficos “box plot” evidenciaram que o biovolume total da comunidade fitoplanctônica no rio Madeira foi menor na fase pós-enchimento se comparada a fase pré-enchimento e nos tributários observou-se um padrão inverso, sendo o biovolume total maior na fase pós-enchimento. Além disso, os tributários apresentaram aumento da riqueza de espécies e diversidade, enquanto que não foram observadas diferenças estatísticas dessas variáveis no rio Madeira. Assume-se que a não diferença estatística entre as fases pré e pós-enchimento no ponto LC.01 deu-se por conta do baixo n amostral neste último (=3 em cada fase; **Figura 5.2.1-11**).

As DCAs aplicadas aos principais grupos taxonômicos para cada sistema evidenciaram que durante os períodos de vazante, os três sistemas apresentaram gradientes menores que 3 unidades de desvio padrão (SD) ou seja, as classes taxonômicas possuem distribuição unimodal nas amostras. Além disso, foi evidenciada também a dissimilaridade entre as amostras de pré e pós-enchimento. O tamanho do gradiente é também utilizado como uma medida de beta diversidade (Leps & Smilauer, 2003). Dessa forma, quanto maior for o gradiente (dado pela amplitude - diferença entre o maior e menor SD e não somente pelo maior SD), menor é o intercâmbio de espécies, conseqüentemente mais heterogêneas são as distribuições dos grupos taxonômicos nas amostras (as amostras encontram-se mais distantes umas das outras no gráfico). Os eixos 1 e 2 representados na **Figura 5.2.1-12** explicaram, no rio Madeira, 66% e 15% da variabilidade dos dados, nos tributários 65% e 22% e no lago Cuniã, 61% e 30% da variabilidade dos dados, respectivamente.

No rio Madeira, as principais classes taxonômicas que explicaram o gradiente de dissimilaridade entre as amostras da fase de pré e pós-enchimento foram cianobactérias, criptofíceas, crisofíceas, clorofíceas e diatomáceas (sem ordem de importância). O principal gradiente foi representado pelo eixo 1 (maior tamanho e maior explicabilidade). A distribuição das amostras na fase pré-enchimento foi mais homogênea e representada principalmente por clorofíceas e diatomáceas. As amostras da fase pós-enchimento foram representadas, além de diatomáceas, por crisofíceas e criptofíceas e distribuíram-se de forma mais dissimilar (**Figura 5.2.1-12a**). Não houve separação entre as amostras de montante e jusante da barragem.

Nos tributários, as principais classes taxonômicas que explicaram o gradiente de dissimilaridade entre as amostras da fase de pré e pós-enchimento foram clorofíceas, criptofíceas, crisofíceas, euglenóides e rafidofíceas (sem ordem de importância). As amostras da fase de pré-enchimento foram representadas principalmente pelas classes taxonômicas clorofíceas e crisofíceas e as amostras da fase de pós-enchimento foram representadas principalmente por fitoflagelados mixotróficos (euglenóides, criptofíceas e rafidofíceas), sendo que essas últimas ocorreram principalmente em CEA.01 e TEO.01 (**Figura 5.2.1-12b**).

No lago Cuniã e canal associado as principais classes taxonômicas que explicaram o gradiente de dissimilaridade entre as amostras da fase de pré e pós-enchimento foram cianobactérias, clorofíceas, diatomácea, criptofíceas, crisofíceas, dinoflagelados e rafidofíceas (sem ordem de importância). As amostras da fase pré-enchimento foram principalmente representadas pelas classes das clorofíceas e diatomáceas e as amostras da fase de pós-enchimento foram representadas principalmente por fitoflagelados (criptofíceas, crisofíceas, dinoflagelados e rafidofíceas).

As RDAs explicaram, respectivamente, 12%, 21% e 56% da variância total dos dados no rio Madeira, tributários e lago Cuniã e canal associado. As variáveis que foram selecionadas previamente no rio Madeira ($p < 0.05$) foram turbidez, temperatura da água, nitrogênio total dissolvido (NTD), silicatos reativos (SiR) e fósforo total dissolvido (PTD); nos tributários foram turbidez (Turb), transparência da água, temperatura da água, nitrogênio total dissolvido (NTD), e sólidos totais (ST); e no lago Cuniã e canal associado as variáveis foram demanda bioquímica de oxigênio (DBO5), nitrogênio total dissolvido (NTD), fósforo solúvel reativo (SRP), carbono orgânico dissolvido (COD) e pH.

No rio Madeira, a RDA evidenciou que as amostras se agrupam por campanha, evidenciando que as condições nesse ambiente são diferentes a cada amostragem. As campanhas instalação-5 e 9 (quadrado e losango brancos) foram relacionadas com NTD, PTD, SiR e TH2O e a classe taxonômica das clorofíceas; as campanhas estabilização-5 e operação-4 (círculo e quadrado cinzas) agruparam-se com as amostras da campanha instalação-1 (círculo branco), relacionadas com a turbidez da água. E as amostras da campanha operação-8 (losango cinza) agruparam-se com as classes taxonômicas das criptofíceas, cianobactérias, diatomáceas e crisofíceas (**Figura 5.2.1-12a**).

Nos tributários, a RDA evidenciou que na fase pós-enchimento houve um aumento da temperatura da água e uma diminuição do nitrogênio total dissolvido, relacionados positivamente e negativamente, principalmente com as classes taxonômicas das criptofíceas, euglenóides e rafidofíceas (Figura 5.2.1-12b).

No lago Cuniã e canal associado, as amostras da fase pós-enchimento estiveram relacionadas positivamente ao aumento da DBO5 e das classes taxonômicas das rafidofíceas, dinoflagelados, criptofíceas e crisofíceas e negativamente ao NTD e SRP, indicando uma diminuição dos nutrientes da fase pós-enchimento e favorecimento dos fitoflagelados capazes de se deslocarem na coluna d'água em busca de recursos. No eixo 1 poucas amostras mostraram-se dissimilares às demais e estiveram relacionadas às maiores concentrações de COD e ao maior pH e principalmente aos maiores biovolumes de cianobactérias. Essas amostras foram CC.01 e CC.02 da campanha instalação-9 e LC.02 da campanha instalação-5 (Figura 5.2.1-12c).

Quando comparada as amostras de um mesmo período hidrológico pode-se observar a tendência do agrupamento das amostras da fase pré e pós-enchimento. Isso ocorre uma vez que o pulso de inundação influencia mais na dinâmica temporal desta comunidade do que as fases do empreendimento.

UHE SANTO ANTÔNIO NO RIO MADEIRA

Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas -
Relatório 8 / Fase de Operação

2541-00-MLM-RL-0008-00

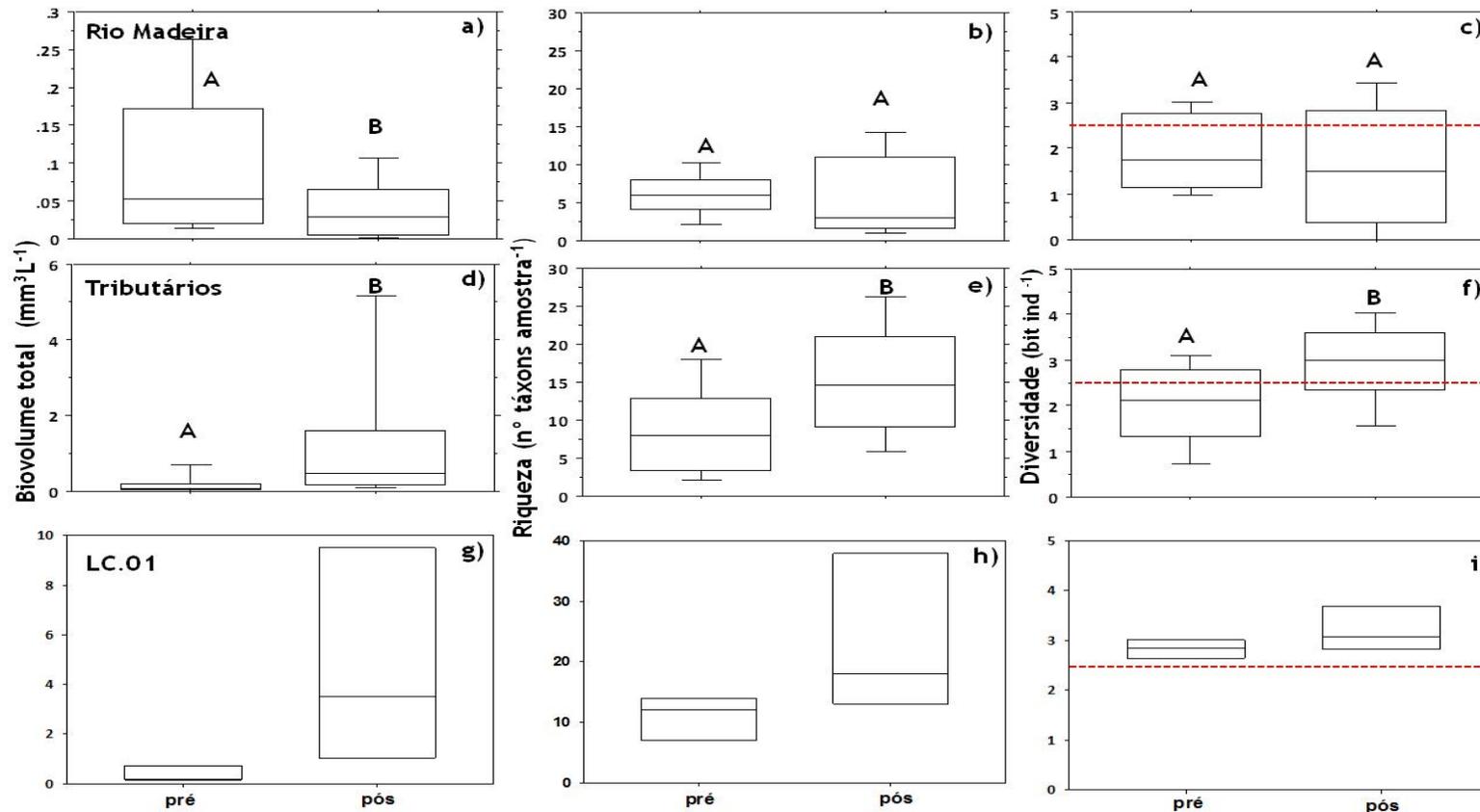


Figura 5.2.1-11 - “Box-plots” da biomassa (mm^3L^{-1}), da riqueza de espécies (número de táxons amostra⁻¹) e da diversidade (bits ind^{-1}), no período de vazante nas fases pré (2010 e 2011) e pós-enchimento (2012, 2013 e 2014) do reservatório: a-c) no rio Madeira; d-f) nos tributários, e g-i) no lago Cuniã (o resultado do teste não confere veracidade devido ao baixo n amostral). A linha dentro das caixas representa a mediana, o limite das caixas e os traços abrangem 75 e 95% dos dados. A linha vermelha pontilhada representa o limite considerado como alta diversidade. As letras em caixa alta acima dos ‘Box-plots’, quando diferentes, indicam a ocorrência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

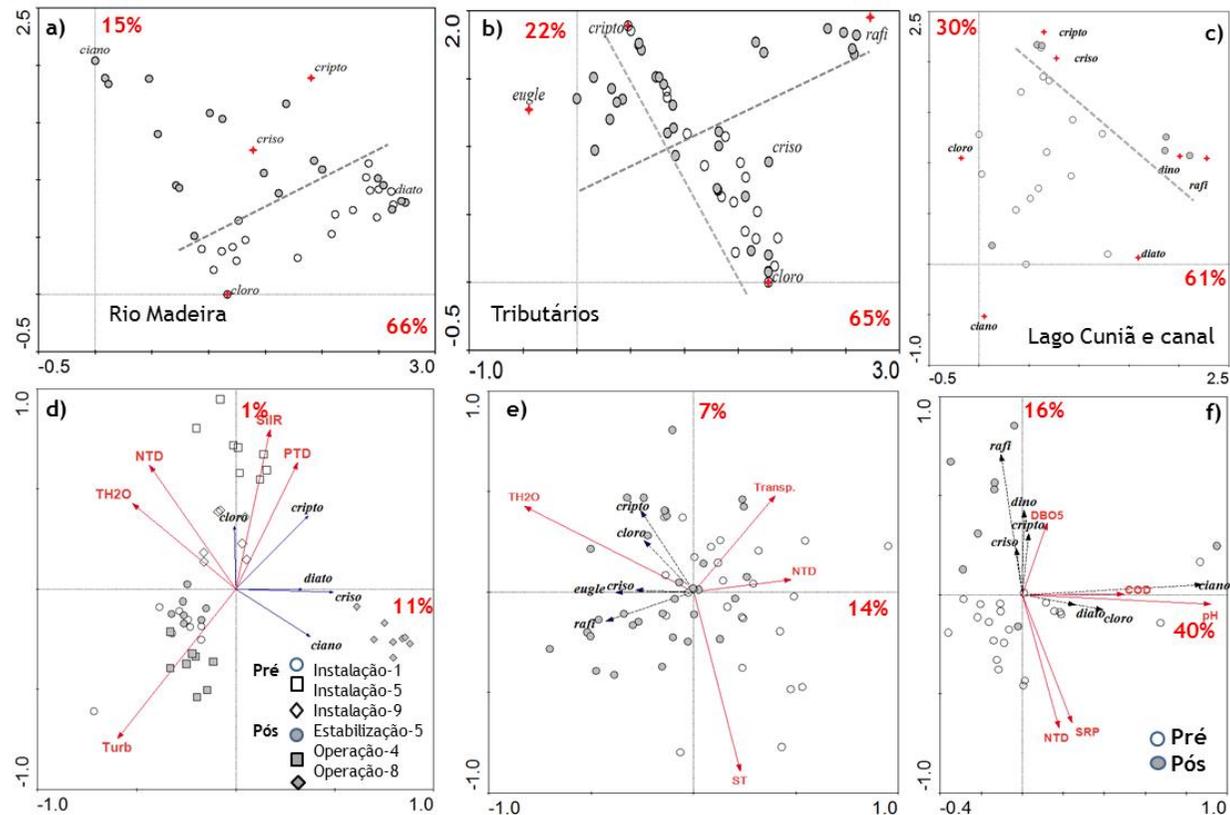


Figura 5.2.1-12 - Diagramas de ordenação derivados das Análises Canônicas sem Tendência (DCA) e Análises de Redundância (RDA) aplicadas às variáveis ambientais previamente selecionadas e ao biovolume das principais classes taxonômicas *a* e *d*) no rio Madeira; *b* e *e*) seus Tributários; e *c* e *f*) Lago Cuniã no período de vazante das fases do empreendimento pré-enchimento (círculo branco) e pós-enchimento (círculo cinza). Legenda: COD=carbono orgânico dissolvido, Cond= condutividade elétrica, DBO5=demanda bioquímica de oxigênio, NTD= nitrogênio total dissolvido, pH=potencial hidrogeniônico, T_{H2O} = temperatura da água, Transp.= transparência, Turb.= turbidez. ciano= cianobactérias, cloro=clorofíceas, criso=crisofíceas, cripto=criptofíceas, eugle=euglenóides, diato=diatomáceas, dino=dinoflagelados, rafi=rafitofíceas.

5.2.1.10 - Discussão

A comunidade fitoplanctônica, de um modo geral, é regulada pelo controle descendente (herbivoria) e pelo controle ascendente (recursos - luz e nutrientes), os quais são modulados pela hidrologia (vazão, tempo de residência), hidrografia (regime de mistura), força iônica, dentre outros (Reynolds 2006). No caso de ecossistemas lóticos, padrões nessa comunidade são difíceis de identificar, principalmente devido à forte influência do escoamento hidráulico. Portanto, o sucesso dessa comunidade em rios é dado pela capacidade das espécies em se manterem na coluna d'água e de se reproduzirem mais rapidamente do que a capacidade de dispersão exercida pelo escoamento hidráulico (Reynolds 2000).

As amostras de vazante da fase de pré-enchimento foram representadas principalmente pelas classes taxonômicas clorofíceas e crisofíceas e as amostras da fase de pós-enchimento foram representadas principalmente por fitoflagelados mixotróficos (euglenóides, criptofíceas e rafidofíceas). Vale ressaltar que nos tributários a ocorrência de representantes dessas classes taxonômicas vem sendo registrada desde a fase de pré-enchimento, com um aumento da contribuição de euglenóides e rafidofíceas para o biovolume total na fase de pós enchimento.

Ao contrário do que ocorreu no rio Madeira, no lago Cuniã a fase de pré-enchimento foi mais heterogênea e a da fase pós-enchimento mais homogênea. O aumento da homogeneidade das espécies em um sistema pode indicar maior contribuição de recrutamento das espécies provenientes de sistemas adjacentes, ou seja, do rio Madeira para o lago Cuniã.

A maioria das espécies registradas nos sistemas inseridos na área de influência da UHE Santo Antônio são classificadas como espécies raras, não sendo registradas espécies dominantes. Apenas *Choricystis minor* foi considerada abundante no lago Cuniã e pouco abundante no rio Madeira e tributários, juntamente com *Synechocystis nidulans* e *Monoraphidium nanum*. Essas são espécies de tamanho pequeno, com elevada taxa de crescimento, podendo estar associadas a ambientes de elevada energia (Reynolds 2006), como o elevado escoamento hídrico, capazes de sustentar biomassa nesses sistemas.

Analisando o fato da grande quantidade de espécies raras, a alta diversidade de Shannon (>2,5 bits/ind) registrada nas unidades amostrais do sistema do Madeira e os dados da curva de rarefação, observa-se que ainda são necessárias mais amostragens para que seja possível alcançar, ou ao menos aproximar a uma estabilidade da curva do coletor em todos os sistemas.

Ao longo desta campanha, com exceção de JAT.I.01-S, foram poucas as estações de amostragens que foram registradas elevadas contribuições de cianobactérias (em células/mL), sendo estas representadas principalmente por espécies que não apresentam potencial tóxico. Apenas no lago Cuniã foi registrada uma importante contribuição de *Geitlerinema amphibium*, cujo potencial tóxico já foi registrado em estudos (Dogo *et al.*, 2011).

É sabido que barragens em rios alteram a geomorfologia, a qualidade da água, o regime de temperatura, e de fluxo, e influenciam nos recursos e habitats de peixes, invertebrados bentônicos e organismos de níveis tróficos basais (Ellis & Jones 2013). No entanto também é sabido que a comunidade fitoplanctônica é resiliente, sendo capaz de retornar a condições anteriores quando essas são restabelecidas (Reynolds 2006). De fato, é possível observar que a barragem no rio Madeira, promoveu uma descontinuidade também na comunidade fitoplanctônica, tendo se dado principalmente durante a fase de enchimento e estabilização (RDAs, relatório presente). Tal descontinuidade, no entanto, promoveu um aumento da contribuição de espécies representantes das classes crisofíceas, diatomáceas, clorofíceas e euglenóides, no rio Madeira e, dessas classes e ainda de criptofíceas nos tributários, com diminuição da contribuição em biovolume das criptofíceas, diatomáceas e criptofíceas no lago Cuniã. Porém as amostras da fase de pré-enchimento e da fase de operação agruparam-se, evidenciando a resiliência da comunidade fitoplanctônica muito provavelmente pela estabilização dos sistemas.

No rio Madeira, a RDA evidenciou que as amostras se agrupam por campanha, indicando que as condições nesse ambiente são diferentes a cada amostragem. A baixa explicabilidade no rio Madeira sugere que as variáveis do conjunto ainda não são capazes de responder às variações do biovolume avaliados através das classes taxonômicas.

A baixa explicabilidade nos tributários sugere uma similaridade forte entre as amostras (acúmulo de amostras próximas ao centróide do gráfico). Esse resultado é diferente do que vem sendo registrado para os tributários, uma vez que esses sistemas não apresentavam um padrão de agrupamento devido à heterogeneidade das amostras. Ao contrário, a maior explicabilidade no lago sugere uma melhor captura da relação das amostras com as variáveis uma vez que se trata de um sistema semifechado e, por outro lado, uma forte dissimilaridade de poucas amostras relacionadas positivamente ao eixo 1 e ao COD e pH.

Comparando-se os períodos de vazante nas fases pré e pós-enchimento, pode-se afirmar que a comunidade fitoplanctônica no rio Madeira está fortemente adaptada ao escoamento hidráulico

contínuo característico de cada período hidrológico, resistindo às mudanças físicas, desde que se mantenha o fluxo contínuo. Por outro lado, mudanças nesse imenso sistema acarretam em mudanças nos seus sistemas adjacentes, como é o caso dos tributários. Apesar da baixa explicabilidade proporcionada pela RDA para o rio Madeira (12%) e seus tributários (21%) é possível observar uma variabilidade entre as diferentes campanhas, onde se evidenciam maiores concentrações de nutrientes e turbidez em campanhas relacionadas à fase de pré-enchimento. Nesse período são relacionados um maior biovolume fitoplanctônico e maior contribuição de clorofíceas. Já a fase de pós-enchimento são observados um menor biovolume fitoplanctônico e uma importante contribuição de fitoflagelados potencialmente mixotróficos (criptofíceas e crisofíceas), cianobactérias e diatomáceas, grupos capazes de se manter na coluna d'água, e que se desenvolvem em ambientes com elevada energia. Já as campanhas próximas à fase de estabilização não apresentaram grupos fitoplanctônicos associados, período esse caracterizado principalmente pela elevada turbidez.