

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

Material Suplementar Ambiente Dulcícola

Tema: Mineralogia

RT- 44/ NOV 23

RSE2023 PMBA/Fest

Vitória,

Novembro de 2023

SUMÁRIO

1	HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL	3
2	RESULTADOS DOS INDICADORES	3
2.1	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (SEDIMENTOS).....	4
2.2	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SEDIMENTOS).....	14
2.3	FASE DE OXIHIDRÓXIDOS DE FE (SEDIMENTOS).....	15
2.4	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO – MPS)....	24
3	REFERÊNCIAS	27

1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

O histórico de malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest) abrange informações de suma importância para o balizamento do presente programa, uma vez que passou por modificações ao longo do tempo, visando melhor atender aos objetivos do PMBA/Fest. Estas alterações foram aprovadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) por meio de: (1) ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição) e (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o “Novo Ciclo do PMBA/Fest”.

As modificações implementadas se encontram nos seguintes Materiais Suplementares: 1) **MS – Malha e Frequência amostral**, onde as diferentes malhas e frequências amostrais são apresentadas nas abas “Ano 1”, “Transição”, “Novo Ciclo” e “Histórico Frequências” e 2) **MS – Mapas das malhas amostrais**, com a espacialização histórica referente às malhas amostrais dos Ambientes. Como forma de esclarecer os períodos contemplados em cada uma delas, “Ano 1” se refere às estações amostrais coletadas entre setembro de 2018 e setembro de 2019, “Transição” às estações entre outubro de 2019 e julho de 2022 e “Novo Ciclo” referente às estações amostrais coletadas a partir de agosto de 2022, à exceção do grupo da Ecotoxicologia, que iniciou a amostragem referente ao Novo Ciclo em janeiro de 2023.

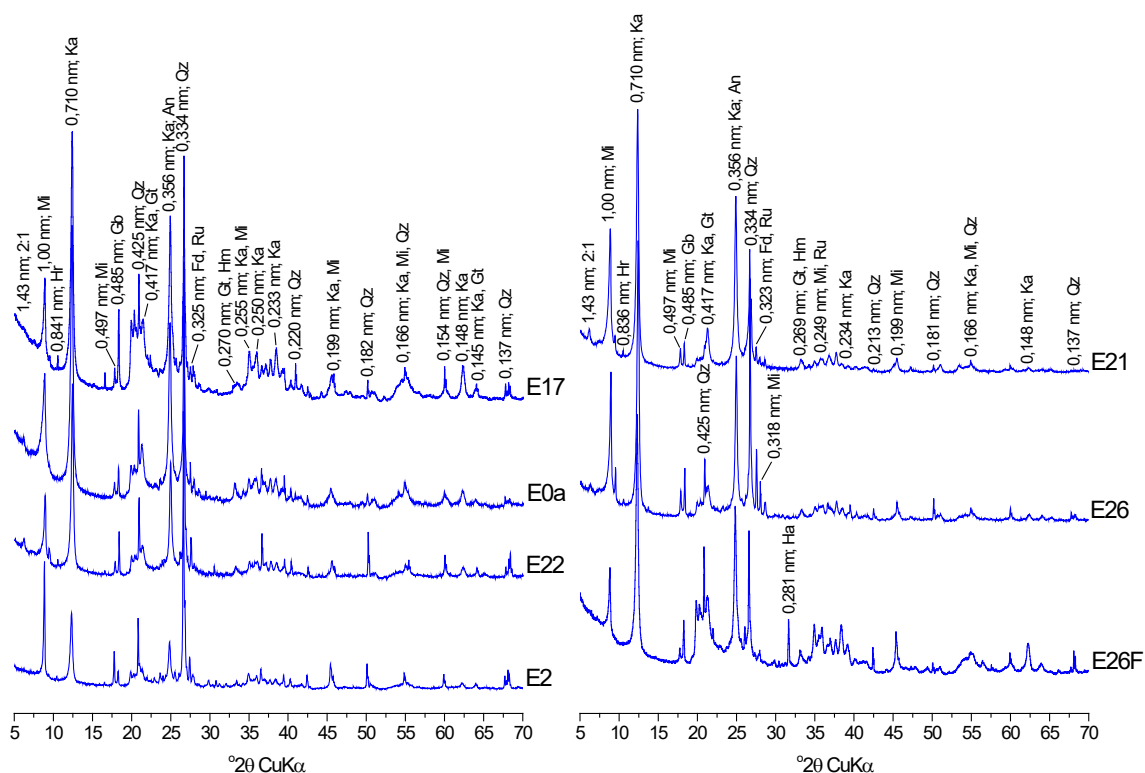
2 RESULTADOS DOS INDICADORES

Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest e obtidos ao longo do monitoramento (setembro/2018 – março/2023) na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva como se segue:

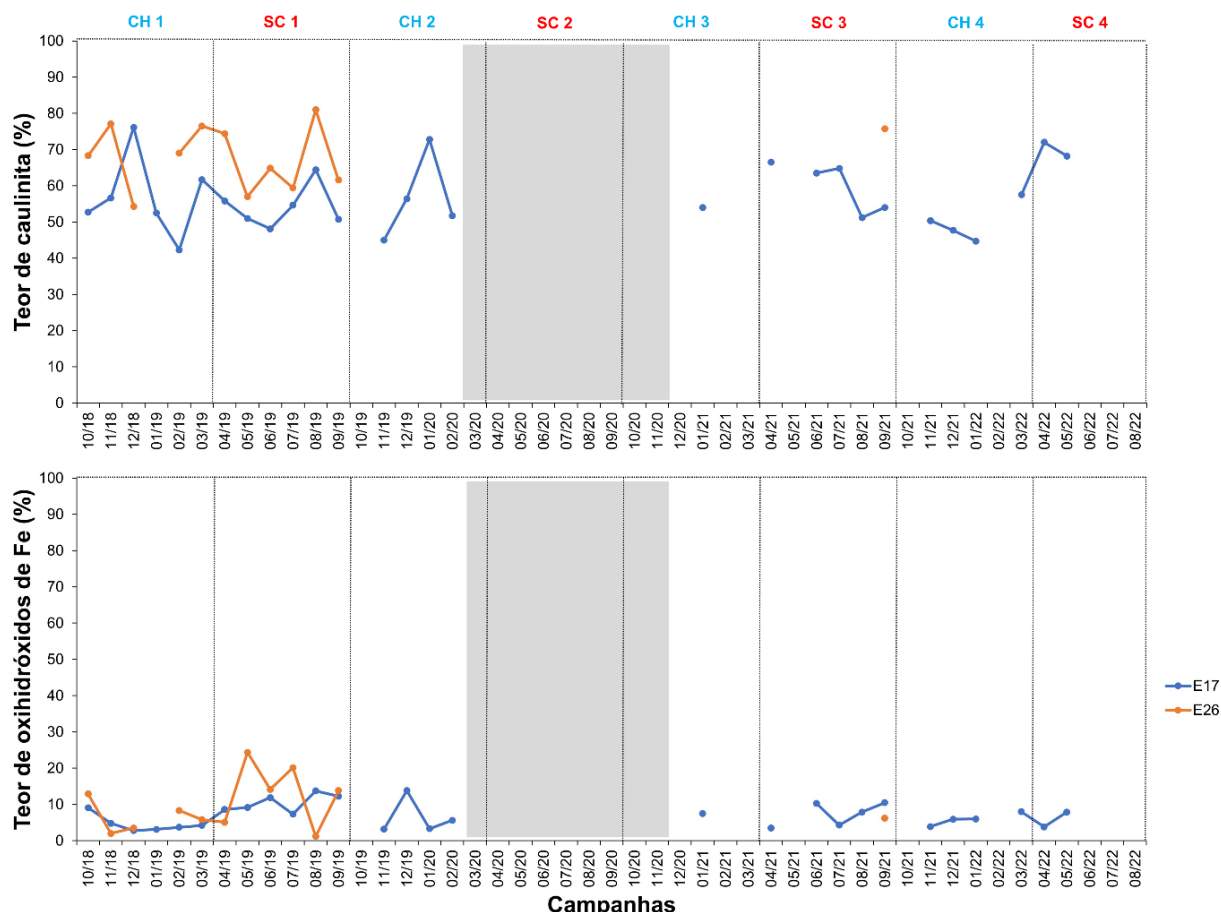
2.1 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (SEDIMENTOS)

Figura 1: Padrões de raios-X representativos da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes fluviais monitorados no PMBA/Fest (10/18 a 03/23): Rio Guandu (E17), Rio Manhuaçu (E2) e Rio Doce (E0a = Resplendor; E22 = Povoação; E21 = Linhares; E26 = Regência; E26F = Foz). Minerais identificados: Mi = mica, Qz = quartzo, Ka = caulinita, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita, An = anatásio, Ru = rutilo, Fd = feldspato-K, Hr = hornblenda, Ha = halita (NaCl), 2:1 = argilomineral 2:1 (vermiculita e, ou, esmectita). Observação: Em E0 (Rio Doce em Itapina) não houve coleta da lama (sedimento arenoso).



Perfil mineralógico dos sedimentos (fração lama) de ambientes fluviais monitorados ao longo do PMBA/Fest (Figura 1). Em todos os padrões de raios-X predominam picos de difração característicos de minerais silicatados, especialmente a caulinita (Ka), quartzo (Qz) e mica (Mi).

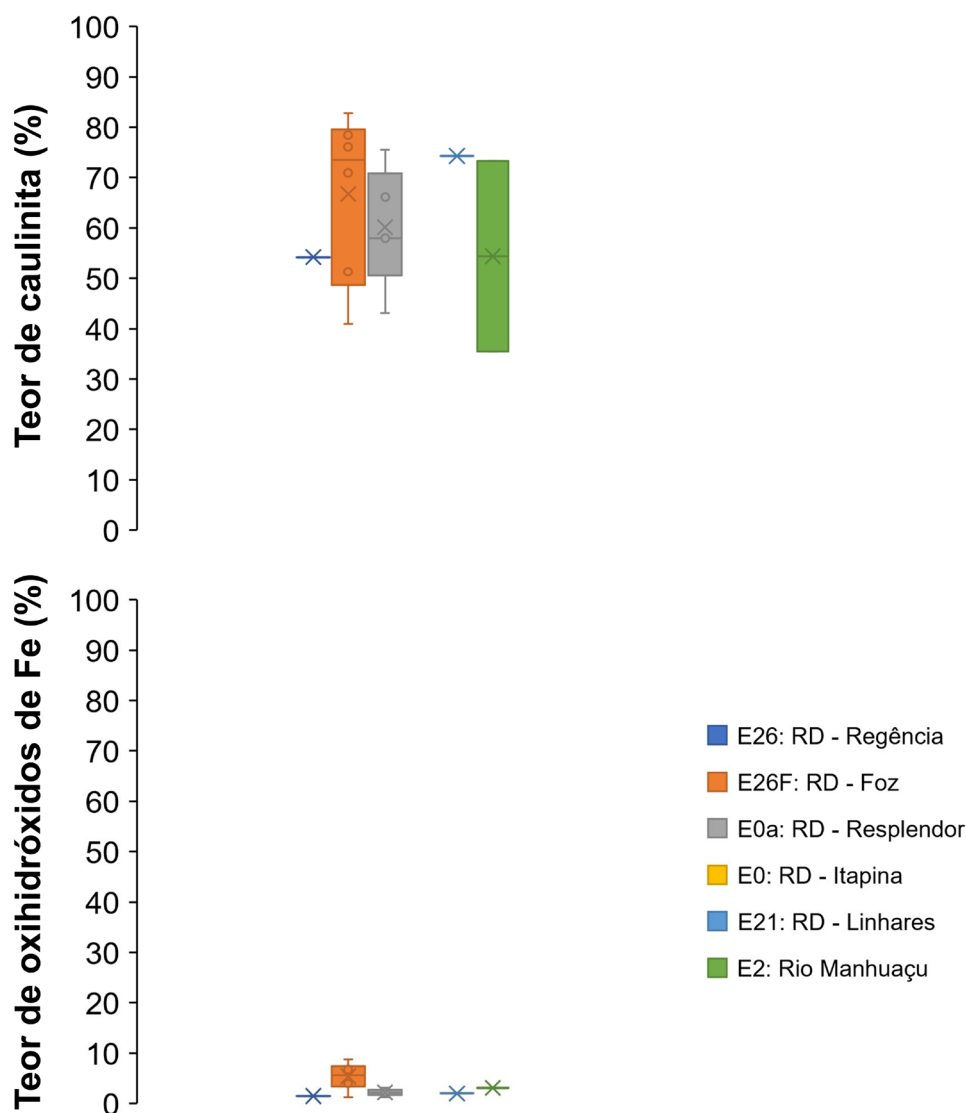
Figura 2: Teores de caulinita e oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes fluviais (Rio Guandu, E17 e Rio Doce, E26), coletadas ao longo do primeiro ciclo do PMBA/Fest (10/18 a 07/22). Observações: i) a faixa cinza nos gráficos abrange o período de suspensão das atividades de campo do PMBA/Fest devido à COVID-19 (março/2020 a novembro/2020); ii) a ausência de informações sobre as demais estações amostrais no Rio Doce (E0, Itapina; E21, Linhares; E22, Povoação) e lacunas de dados temporal em E17 e E26 indica amostras impossibilitadas de coletadas por condições ambientais ou com quantidade insuficiente de lama para análise mineralógica (sedimento arenoso); iii) CH = período chuvoso (outubro a março) e SC = período seco (abril a setembro).



A composição mineralógica dos sedimentos (lama) fluviais é composta por argilominerais 2:1 (vermiculita e, ou, esmectita), caulinita, quartzo, mica (muscovita e biotita), goethita, hematita, gibbsita, anatásio, rutilo, feldspato-K, hornblenda e halita (estação E26F) (Figura 1). Dentre esses minerais, predominam silicatos, especialmente a caulinita (42,30 a 82,80 %). Essa assembleia mineralógica é comum em sedimentos da Bacia do Rio Doce, antes e após o rompimento da barragem de Fundão, e relacionado aos solos na paisagem da região sudeste do Brasil (Pacheco, 2015; Orlando et al., 2020; Duarte et al., 2021). O predomínio da caulinita na lama deve-se a sua abundância na fração argila (partículas < 0,002 mm) dos solos e facilidade de transporte pelo processo erosivo. Os oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) são fases minoritárias nos sedimentos, representando de 1,20 a 24,35 % do teor total de minerais; a goethita predomina em relação a hematita em todas as amostras analisadas. Os maiores teores desses minerais foram obtidos em sedimentos coletados em 05/19 (24,35 %), 06/19 (14,14 %), 07/19 (20,10 %) e 09/19 (13,80 %) na foz do Rio Doce (E26), todos em período seco 1 (SC1) (Figura 2). Isso sugere que a foz do Rio Doce e a região marinha adjacente são locais de acúmulo dos rejeitos de mineração (Orlando et al., 2020). Em geral, os baixos teores de oxihidróxidos de Fe em

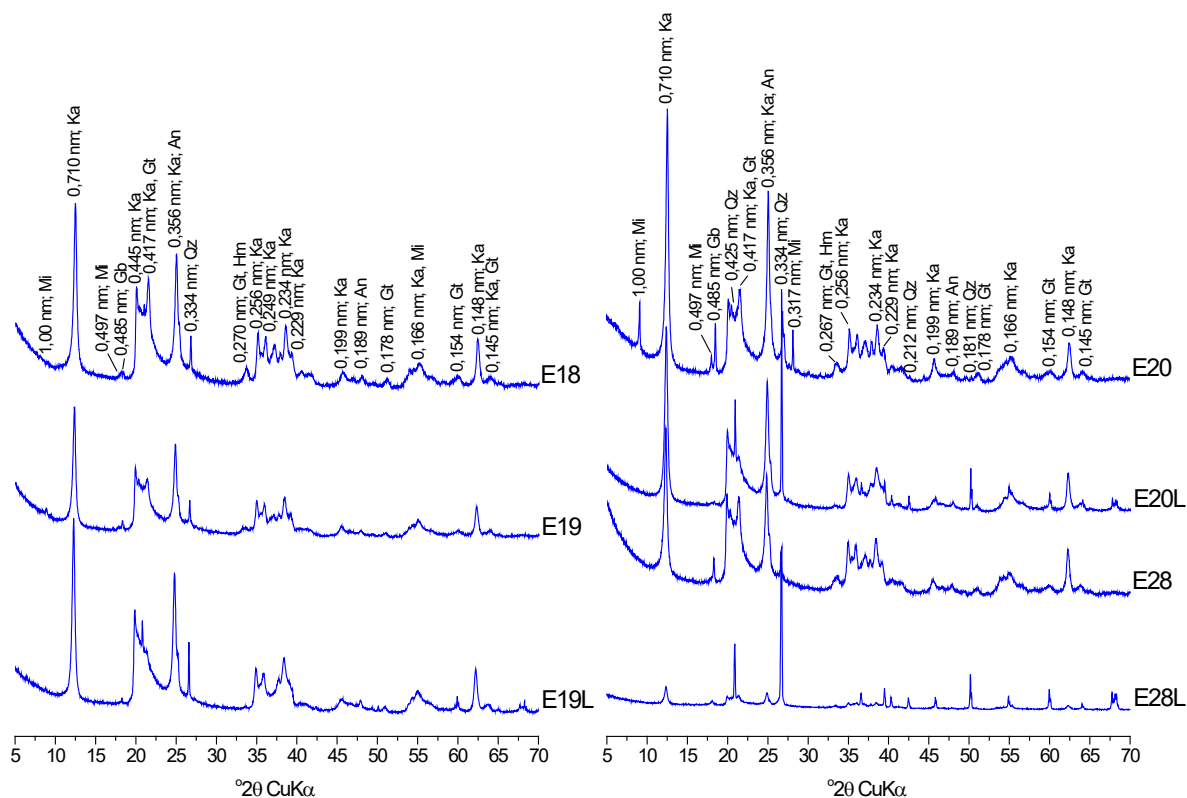
sedimentos da porção capixaba do Rio Doce são ocasionados pela pobreza em Fe dos solos provenientes de sedimentos pré-intemperizados do Grupo Barreiras e planícies costeiras, os quais são erodidos para os sistemas aquáticos ao longo da evolução da paisagem regional.

Figura 3: Teores de caulinita e oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de estações amostrais no Rio Doce (E0a, Resplendor; E0, Itapina; E21, Linhares; E26, Regência; E26F, Foz) e Rio Manhuaçu (E2), coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Observação: Em E0 (Rio Doce em Itapina) não houve coleta da lama (sedimento arenoso).



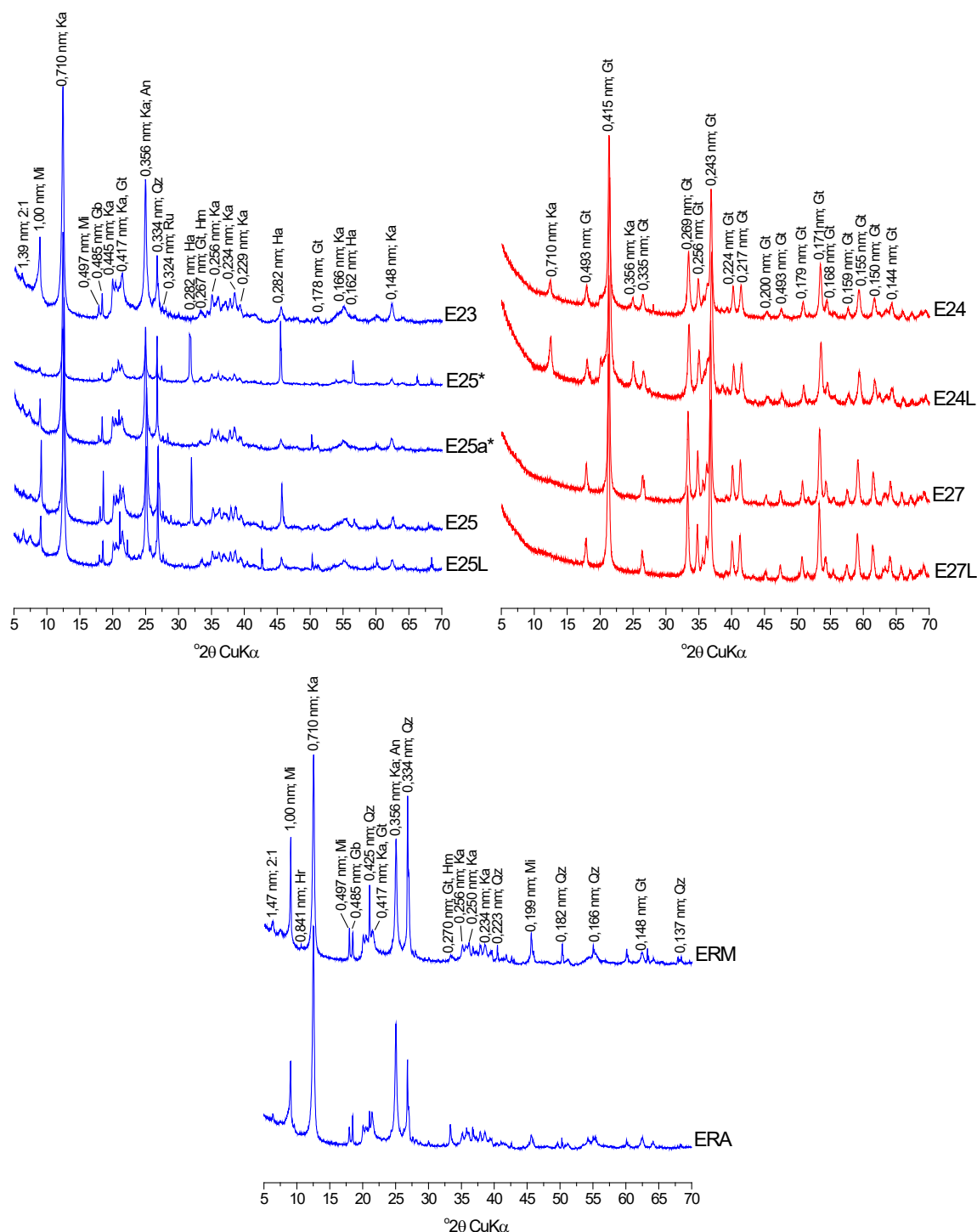
A composição mineralógica da fração lama provenientes de ambientes fluviais monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest segue o mesmo padrão descrito anteriormente, destacando a caulinita como fase cristalina predominante e a ocorrência de maiores teores de oxihidróxidos de Fe na foz do Rio Doce (E26F) (Figura 3).

Figura 4: Padrões de raios-X representativos da fração lama (partículas < 63 µm) de lagos monitorados no PMBA/Fest (10/18 a 03/23): Limão (E18), Nova (E19, E19L), Juparanã (E20, E20L), Palmas (E28 e E28L). Minerais identificados: Mi = mica, Qz = quartzo, Ka = caulinita, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita, An = anatásio, Fd = feldspato-K. Observação: L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



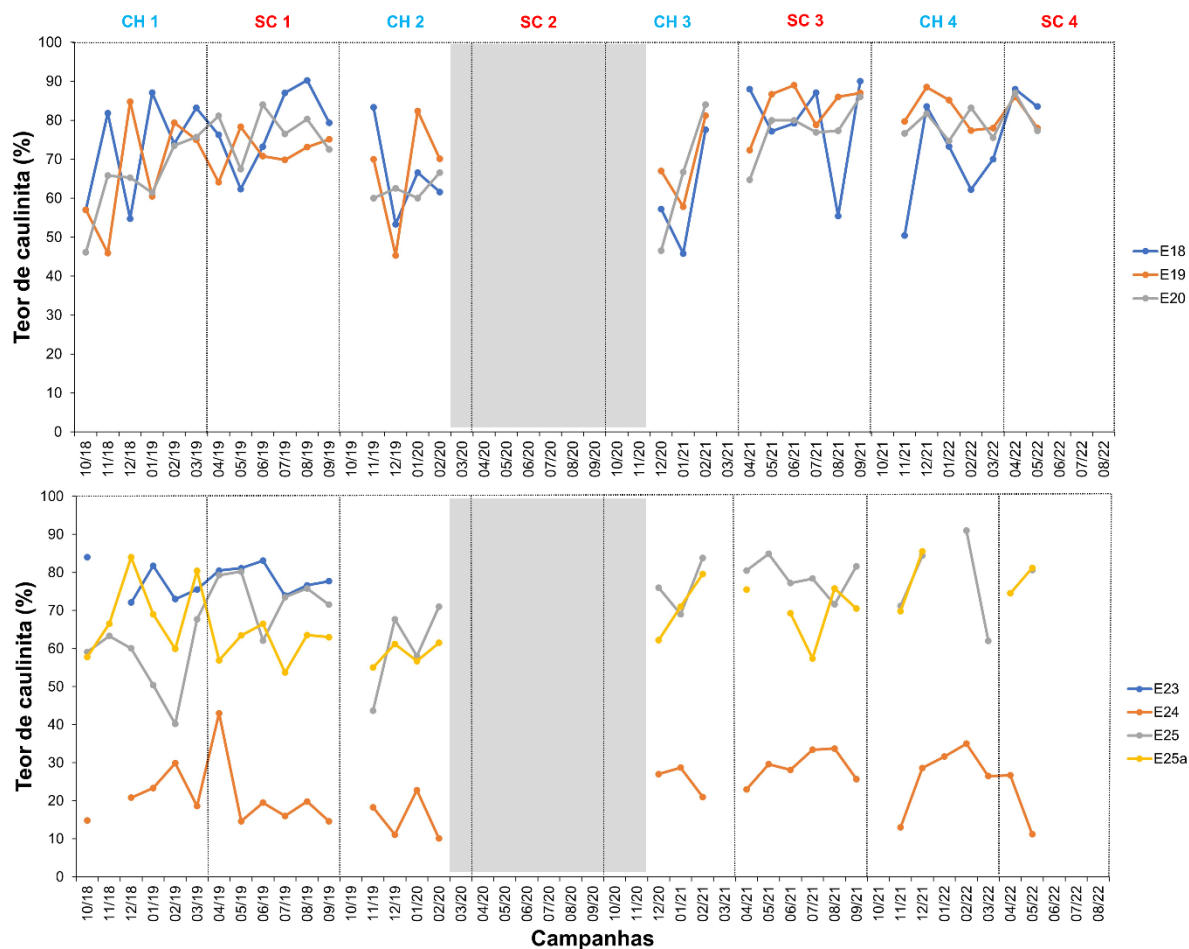
Perfil mineralógico dos sedimentos (fração lama) de lagos monitorados ao longo do PMBA/Fest (Figura 4). Em todos os padrões de raios-X predominam picos de difração característicos de minerais silicatados, especialmente a caulinita (Ka) e quartzo (Qz).

Figura 5: Padrões de raios-X representativos da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes monitorados no PMBA/Fest (10/18 a 03/23): lagoas (E23 = Areão; E24 e E24L = Areal; E27 e E27L = Cacimbas), laguna Monsarás (E25*, E25a*, E25, E25L) e represas (ERM = Mascarenhas, ERA = Aimorés). Minerais identificados: Mi = mica, Qz = quartzo, Ka = caulinita, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita, An = anatásio, Ru = rutilo, 2:1 = argilomineral 2:1 (vermiculita e, ou, esmectita). Observações: linha vermelha destaca uma fração lama rica em goethita, L = amostras coletadas na região litorânea das estações, (*) posicionadas no primeiro ciclo do PMBA/Fest (10/18 a 07/22).



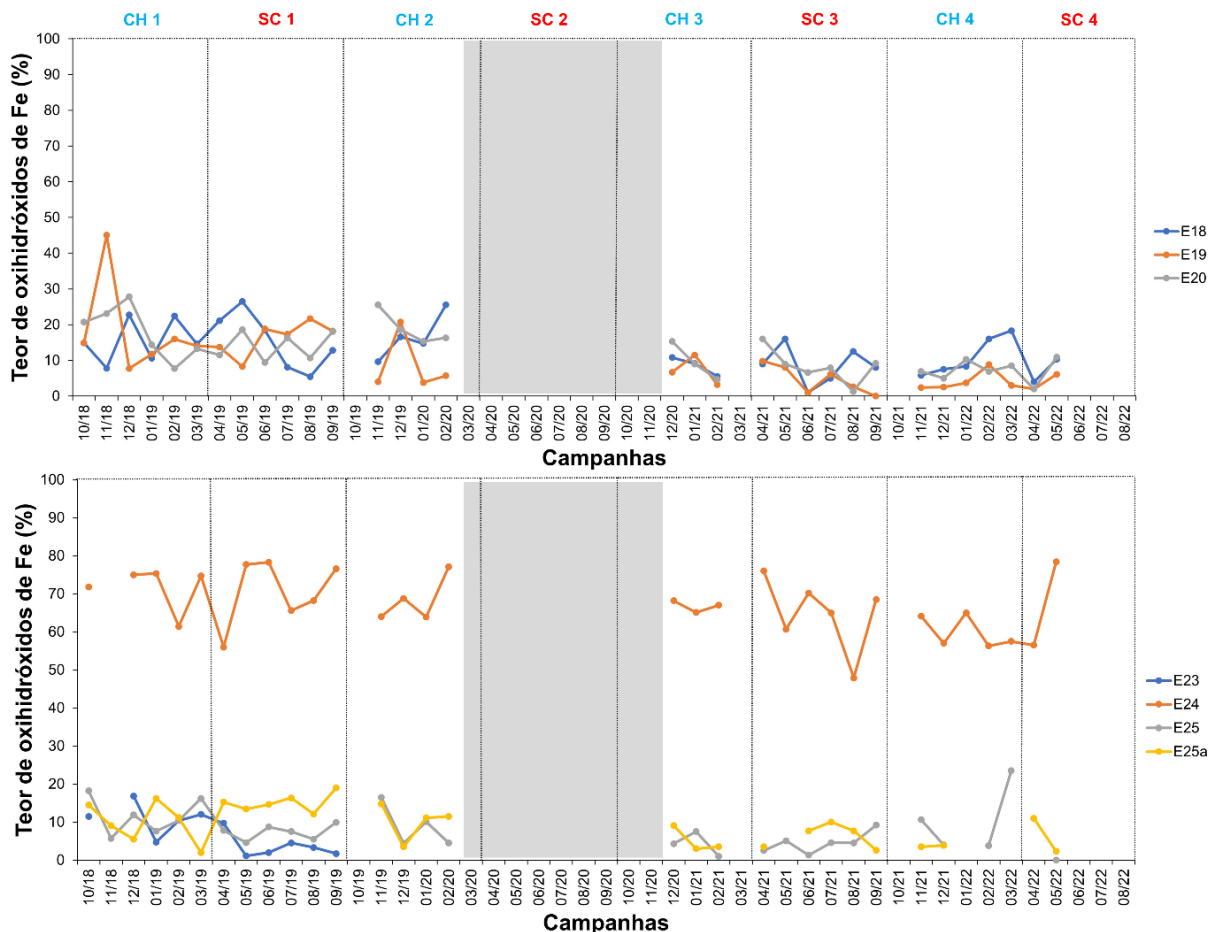
Os difratogramas de raios-X mostram duas composições mineralógicas distintas para sedimentos: (1) dominada por silicatos (Ka, Qz e Mi; linhas azuis) e (2) rica em goethita (Gt; linhas vermelhas) (Figura 5).

Figura 6: Teores de caulinita em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes lacustres (lagos: Limão, E18; Nova, E19; Juparanã, E20 e lagoas: Areão, E23; Areal, E24; Monsarás, E25 e E25a), coletadas ao longo do primeiro ciclo do PMBA/Fest (10/18 a 07/22). Observações: i) a faixa cinza nos gráficos abrange o período de suspensão das atividades de campo do PMBA/Fest devido à COVID-19 (março/2020 a novembro/2020); ii) outras lacunas de dados indicam amostras impossibilitadas de coletadas por condições ambientais ou com quantidade insuficiente de lama para análise mineralógica (sedimento arenoso); iii) CH = período chuvoso (outubro a março) e SC = período seco (abril a setembro).



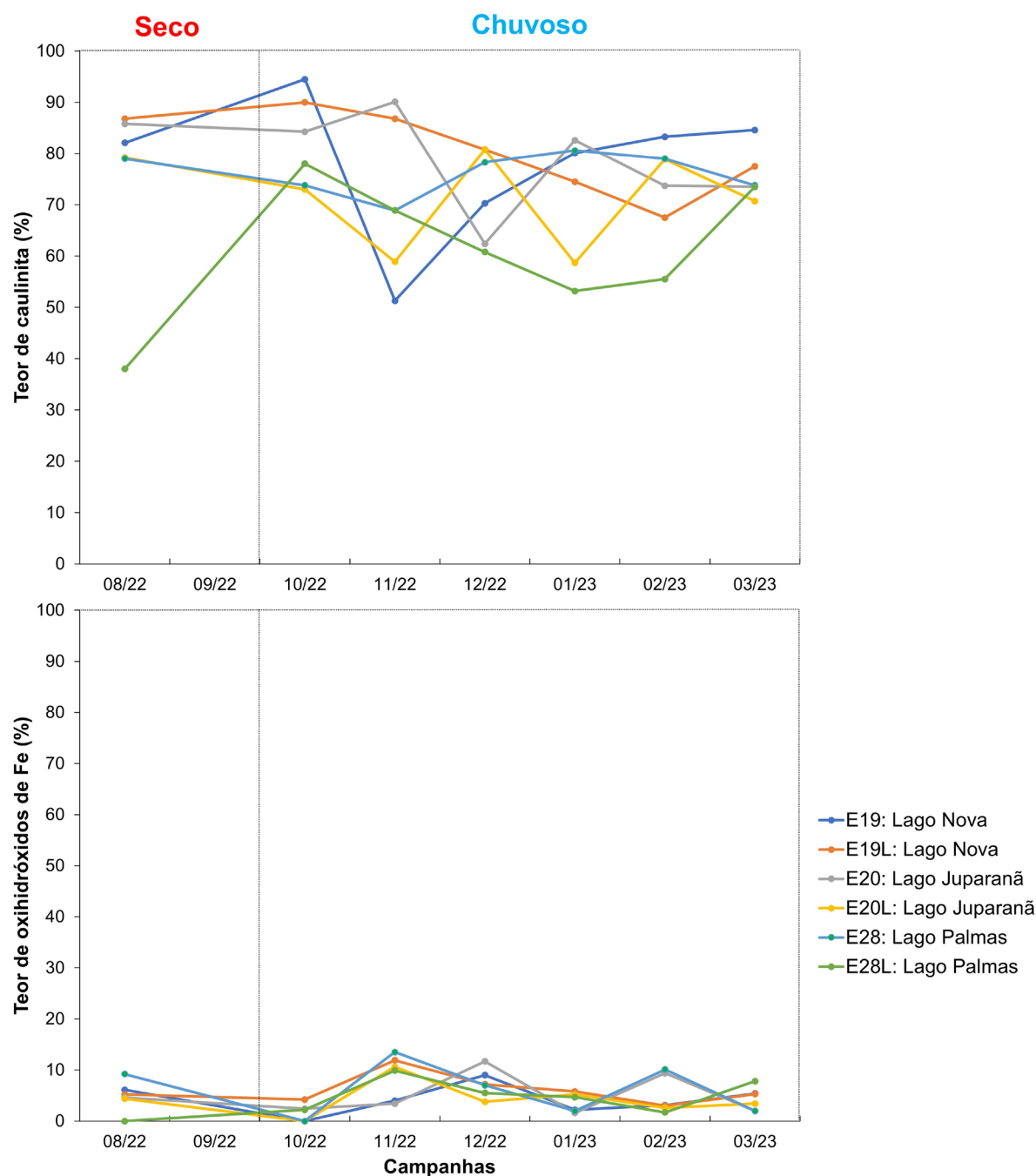
A caulinita predomina nos sedimentos lacustres, exceto na lagoa Areal (E24), e seus teores não demonstraram relação clara entre os períodos chuvosos e secos (Figura 6).

Figura 7: Teores de oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes lacustres (lagos: Limão, E18; Nova, E19; Juparanã, E20 e lagoas: Areão, E23; Areal, E24; Monsarás, E25 e E25a), coletadas ao longo do primeiro ciclo do PMBA/Fest (10/18 a 07/22). Observações: i) a faixa cinza nos gráficos abrange o período de suspensão das atividades de campo do PMBA/Fest devido à COVID-19 (março/2020 a novembro/2020); ii) outras lacunas de dados indicam amostras impossibilitadas de coletadas por condições ambientais ou com quantidade insuficiente de lama (sedimento arenoso) para análise mineralógica; iii) CH = período chuvoso (outubro a março) e SC = período seco (abril a setembro).



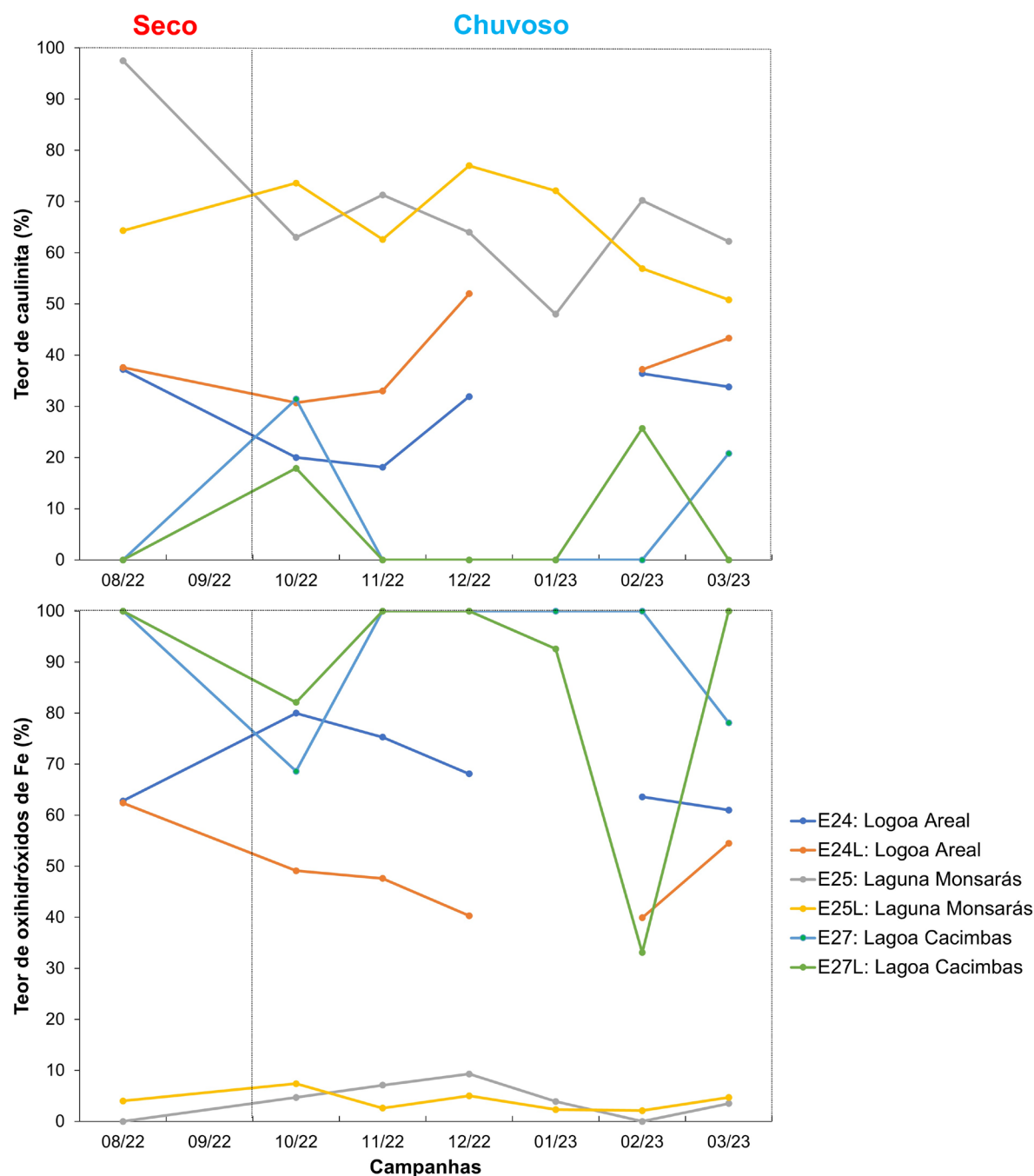
Os oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) são fases minoritárias nos sedimentos, exceto na lagoa Areal (E24). Os teores desses minerais não demonstraram relação clara entre os períodos chuvosos e secos (Figura 7).

Figura 8: Teores de caulinita e oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes lacustres (lagos), coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Observações: seco = período seco (abril a setembro) e chuvoso = período chuvoso; L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



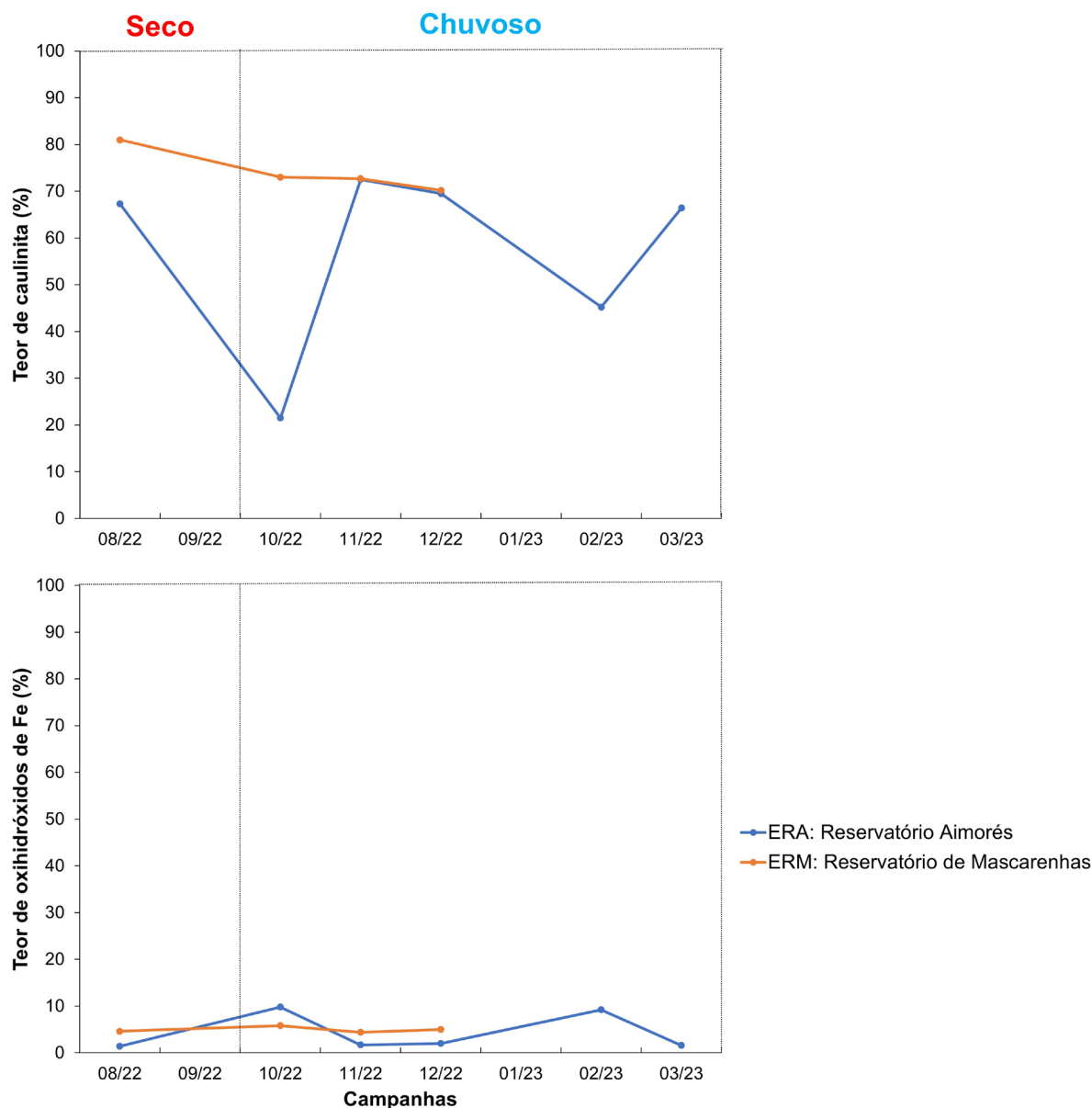
A caulinita predomina no sedimento dos lagos e seus teores apresentam consideráveis variações ao longo do período seco e chuvoso (Figura 8). Por sua vez, os oxihidróxidos de Fe se mantêm como fases minoritárias nos sedimentos, sendo seus teores semelhantes entre as estações amostrais avaliadas.

Figura 9: Teores de caulinita e oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes lacustres (lagoas e laguna), coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Observações: seco = período seco (abril a setembro) e chuvoso = período chuvoso (outubro a março); L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os oxihidróxidos de Fe, essencialmente a goethita, predominam no sedimento das lagoas Areal (E24 e E24L) e Cacimbas (E27 e E27L), enquanto a caulinita representa a fase cristalina predominante no sedimento da laguna Monsarás (E25 e E25L) (Figura 9). Nas lagoas Areal (E24 e E24L) e Cacimbas (E27 e E27L) os teores de oxihidróxidos de Fe variaram de 40 a 80% e 33,10 a 100%, respectivamente. A variação dos teores desses minerais relaciona-se principalmente com o incremento dos teores de quartzo e caulinita nos sedimentos.

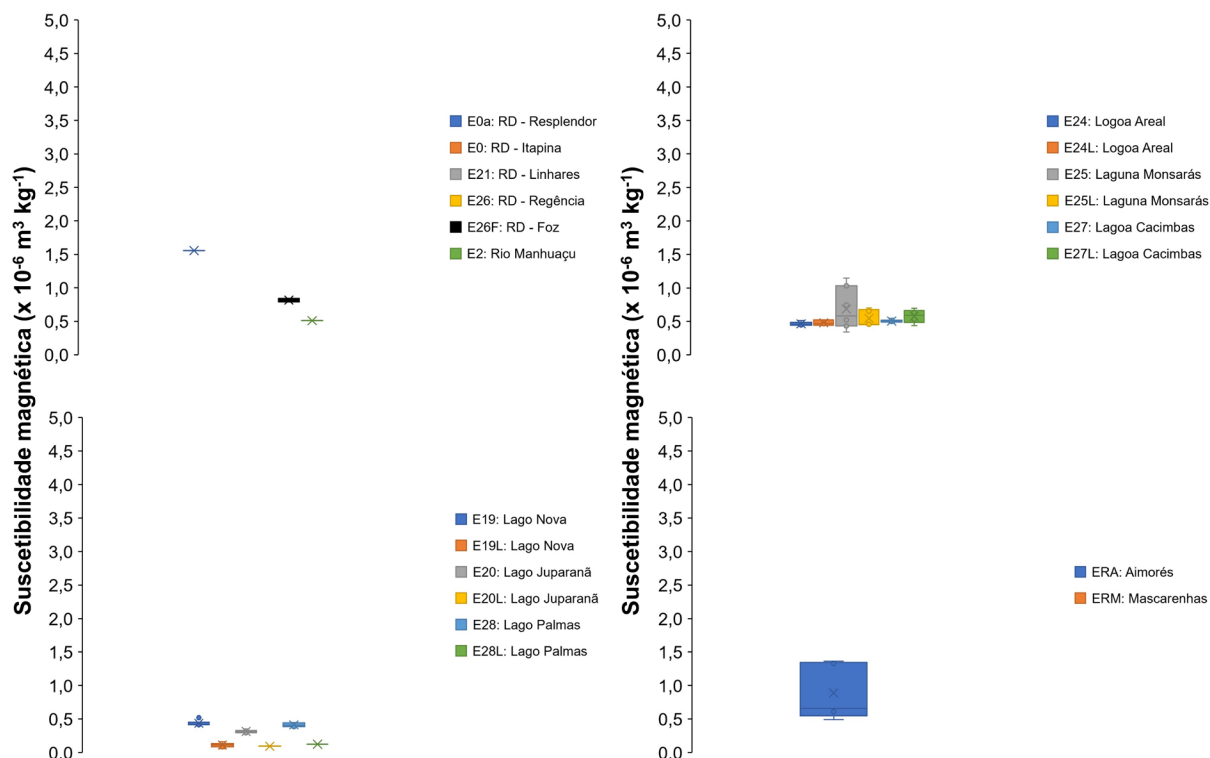
Figura 10: Teores de caulinita e oxihidróxidos de Fe (goethita + hematita) em amostras da fração lama (partículas < 63 µm) das represas, coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Observações: seco = período seco (abril a setembro) e chuvoso = período chuvoso (outubro a março); L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



As estações ERA e ERM possuem sedimentos ricos em silicatos, sendo a caulinita a fase cristalina predominante (Figura 10). A estação ERA destaca-se por apresentar maior variabilidade nos teores de caulinita. Os oxihidróxidos de Fe continuam como fases cristalinas minoritárias e sem variações expressivas de seus teores ao longo do tempo de monitoramento. A composição mineralógica dos sedimentos (lama) de lagos, lagoas, laguna e represas é semelhante àquela descrita para sedimentos de ambientes fluviais, destacando-se a caulinita como fase cristalina predominante, exceto nas lagoas Areal (E24 e E24L) e Cacimbas (E27 e E27L). Em todos os ambientes dulcícolas monitorados, os teores dos minerais não apresentaram uma relação clara com os períodos secos e chuvosos na Bacia do Rio Doce.

2.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SEDIMENTOS)

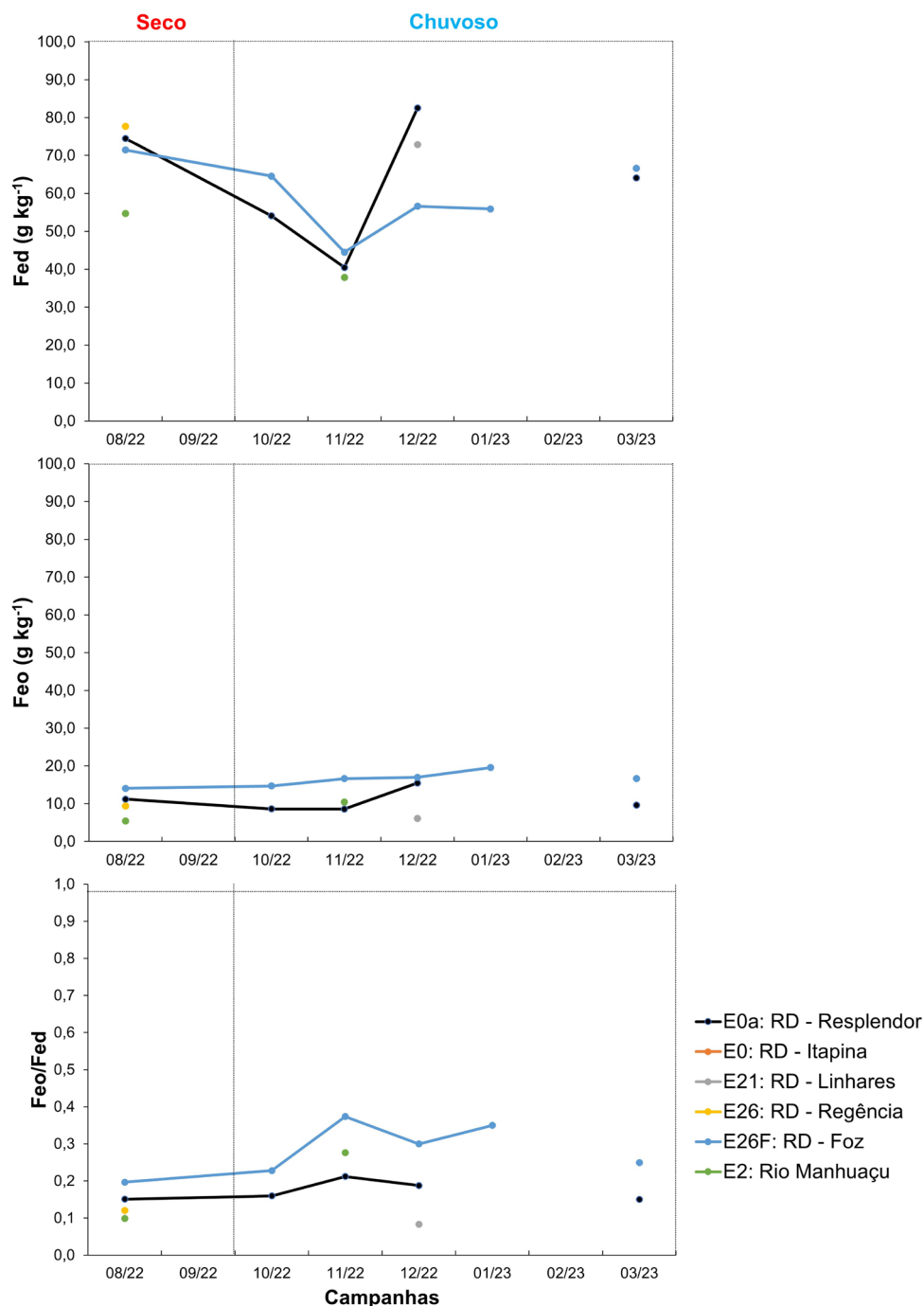
Figura 11: Suscetibilidade magnética de amostras da fração lama (partículas < 63 µm) de ambientes dulcícolas monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Observação: em razão da quantidade insuficiente de lama para análise (material arenoso), a suscetibilidade magnética de algumas estações fluviais (E0a, E0, E21, E26, E2) e lacustres (ERM, E20-RL, E28-RL, E25, E27 e E27-RL) não foi determinada. L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os valores de suscetibilidade magnética nos sedimentos foram considerados muito baixos ($\leq 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) (Figura 11), conforme critério estabelecido por Barbosa et al. (2021) para solos do Brasil. Além disso, foram inferiores ao valor encontrado em amostras de sedimento marinho na foz do Rio Doce antes do rompimento da barragem de Fundão ($1,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) (Orlando et al., 2020). Isso indica mistura e contribuição considerável de minerais antiferromagnéticos (exemplos: goethita e hematita) e diamagnéticos (exemplos: caulinita e quartzo) nas amostras analisadas (Dearing, 1999).

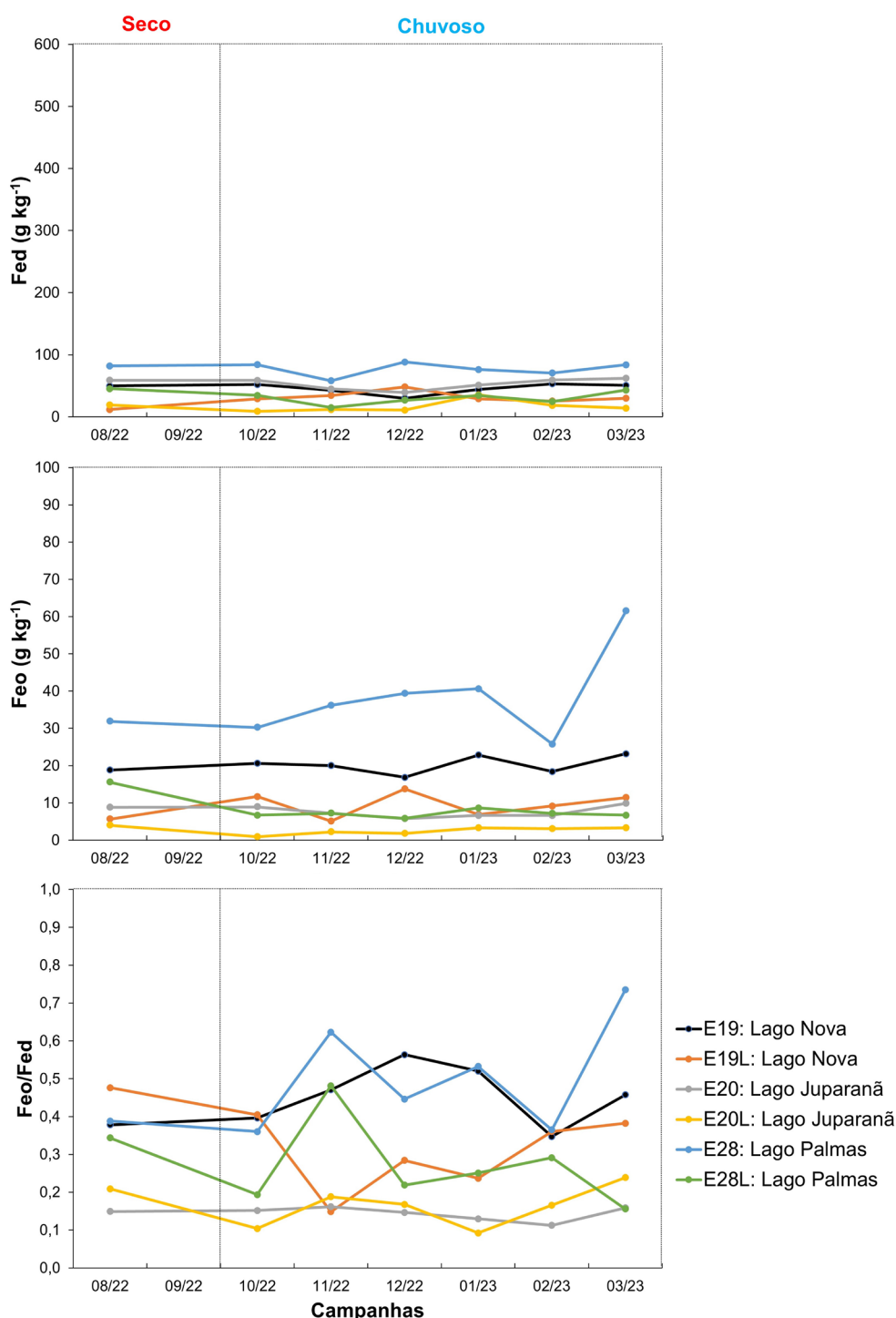
2.3 FASE DE OXIHIDRÓXIDOS DE FE (SEDIMENTOS)

Figura 12: Teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Fe_d) e oxalato ácido de amônio (Fe_o), e o índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Fe_o/Fe_d) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes fluviais monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023).



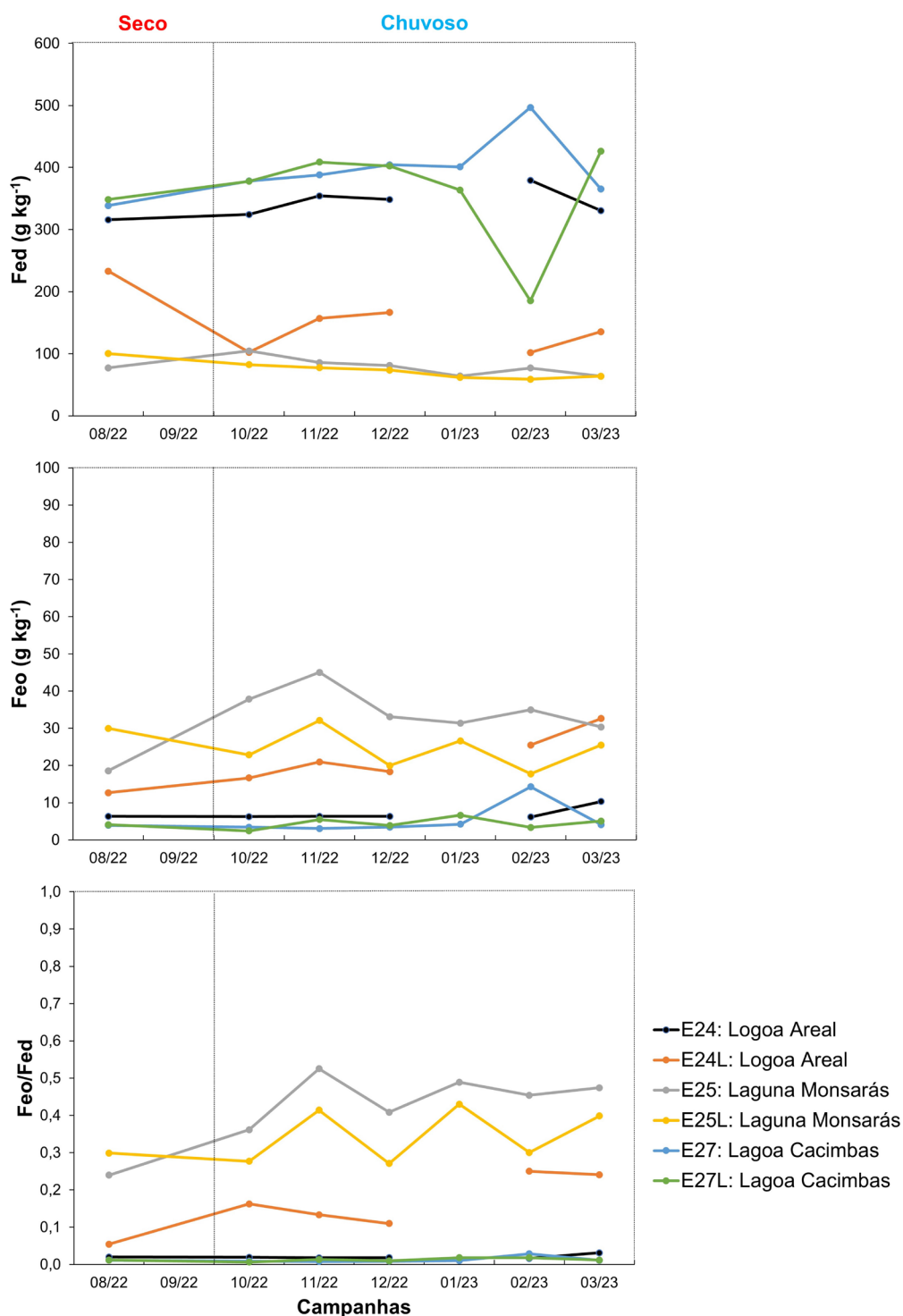
Os teores de Fe associados as formas cristalinas (Fe_d) e pobremente cristalinas (Fe_o) de oxihidróxidos de Fe resultaram em baixos valores de índice de cristalinidade ($Fe_o/Fe_d < 0,5$), indicando predomínio da goethita + hematita em relação a feridrita + lepidocrocita (Figura 12). Além disso, os teores de Fe_d são corroboram a pobreza de oxihidróxidos de Fe cristalinos nos sedimentos, conforme apontado pelos resultados da quantificação mineralógica por difratometria de raios-X.

Figura 13: Teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Fe_d) e oxalato ácido de amônio (Fe_o), e o índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Fe_o/Fe_d) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes lacustres (lagos) monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



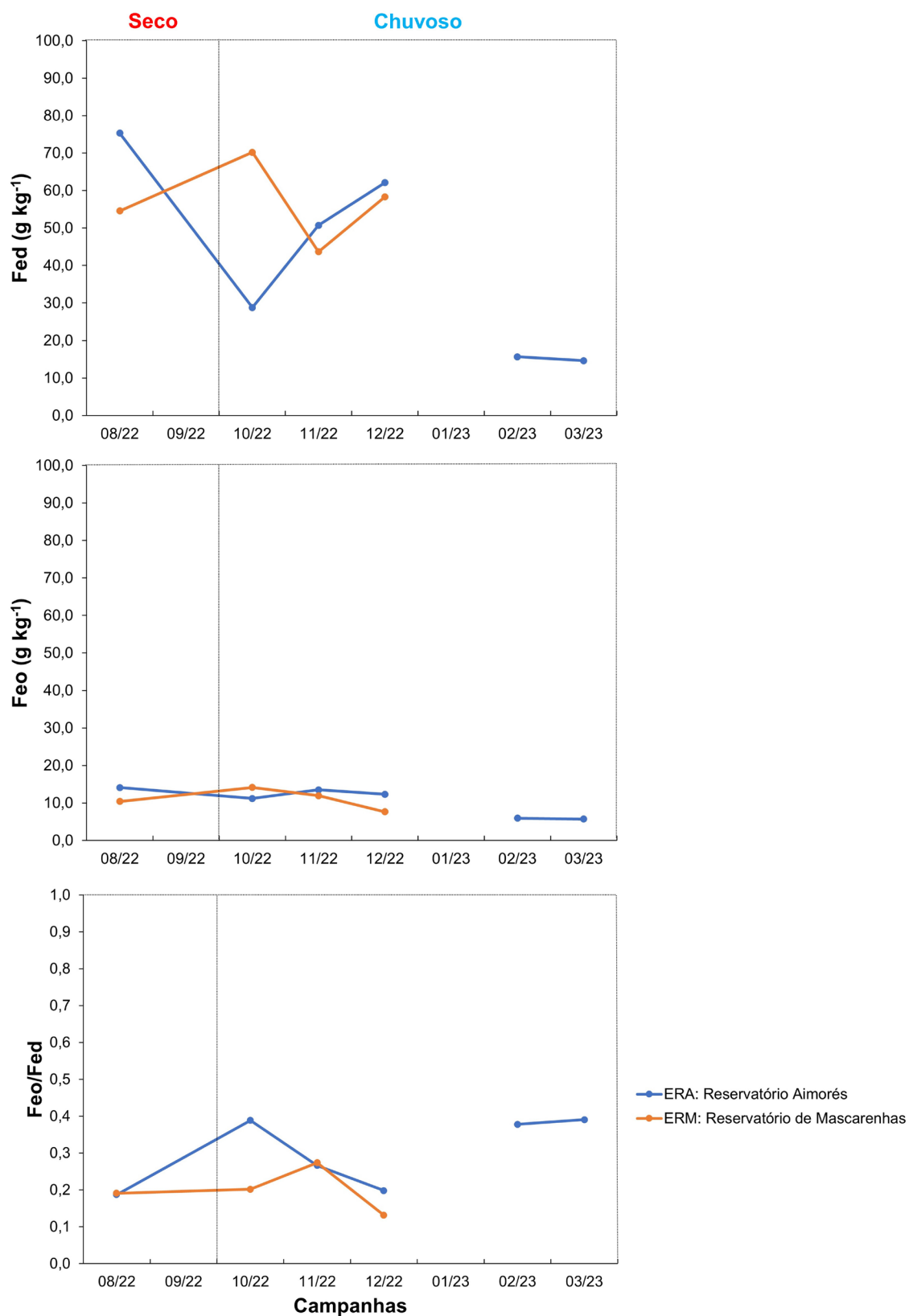
Em geral, predominam formas cristalinas de oxihidróxidos de Fe nos lagos ($Fe_o/Fe_d < 0,5$). Contudo, formas pobremente cristalinas (Fe_o) apresentaram teores superiores as formas cristalinas ($Fe_o/Fe_d > 0,5$) em algumas campanhas do período chuvoso nos lagos Nova (E19) e Palmas (E28) (Figura 13).

Figura 14: Teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Fe_d) e oxalato ácido de amônio (Fe_o), e o índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Fe_o/Fe_d) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes lacustres (lagoas e laguna) monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



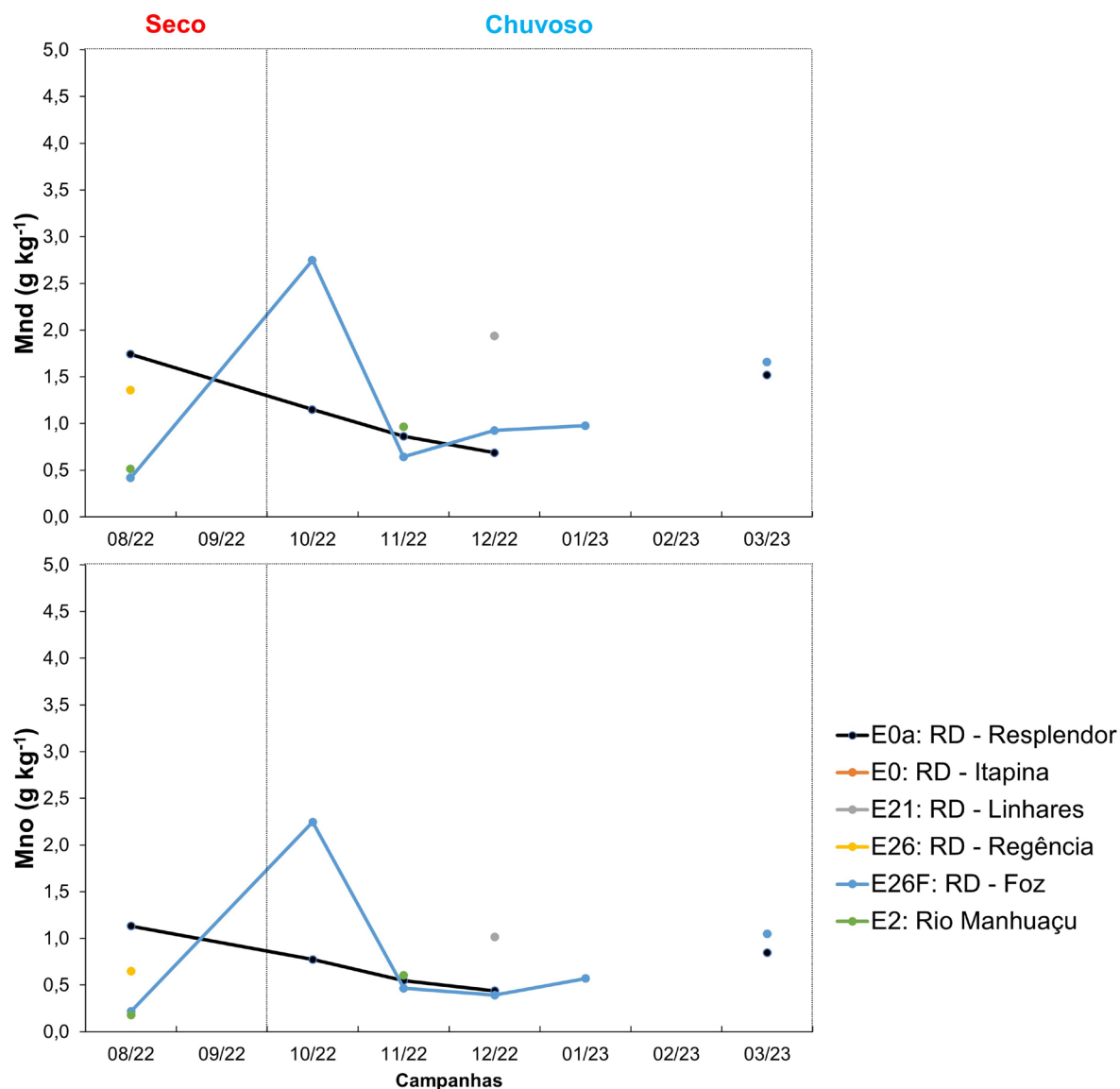
As lagoas Areal (E24 e E24L) e Cacimbas (E27 e E27L) apresentaram os maiores teores de Fe_d (Figura 14), compatível com a fração lama rica em goethita (Figura 5). A laguna Monsarás (E25 e E25L) possui uma fração lama pobre em oxihidróxidos de Fe ($Fe_d < 105 \text{ g kg}^{-1}$), contudo, chama a atenção pelos maiores teores de Fe_o , quando comparada com as lagoas Areal e Cacimbas.

Figura 15: Teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Fe_d) e oxalato ácido de amônio (Fe_o), e o índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Fe_o/Fe_d) na fração lama (partículas < 63 μm) de represas monitoradas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



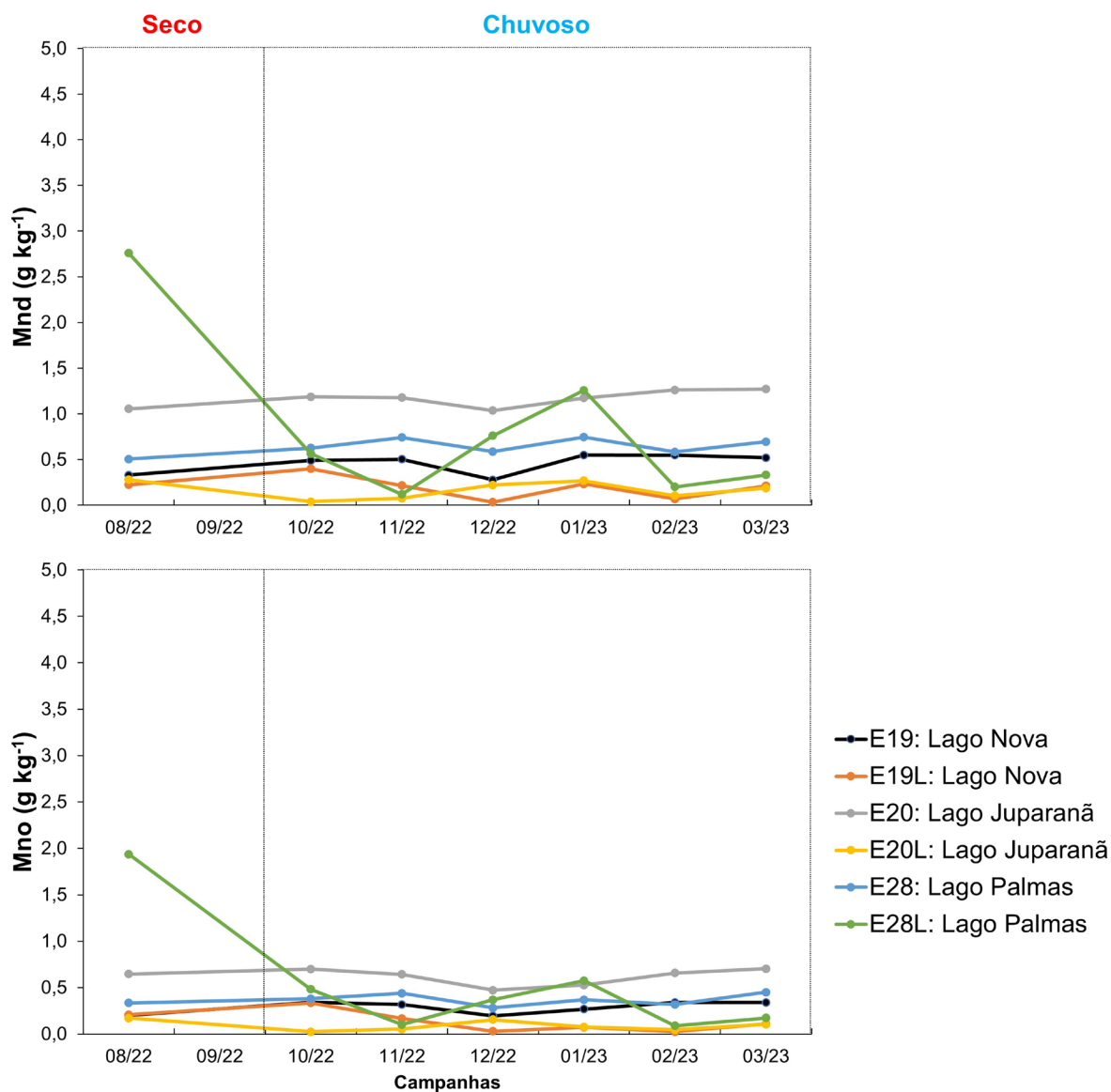
Os teores de Fe_d observados em ambientes fluviais (37,87 a 82,53 g kg⁻¹), lacustres (9,01 a 497,02 g kg⁻¹) e represas (14,63 a 75,30 g kg⁻¹) corroboram os resultados obtidos por difração de raios-X, apontando pobreza de oxihidróxidos de Fe na maioria dos ambientes dulcícolas monitorados, e a maior concentração desses minerais nas lagoas Areal (E24 e E24L; Fe_d = 102,02 a 379,38 g kg⁻¹) e Cacimbas (E27 e E27L; Fe_d = 185 a 497,02 g kg⁻¹). A correlação significativa entre os teores de oxihidróxidos de Fe e Fe_d ($r = 0,8435$; $p < 0,01$; $n = 26$) atestam as variações mineralógicas observadas na fração lama das lagoas Areal (E24 e E24L) e Cacimbas (E27 e E27L) ao longo do novo ciclo do PMBA/Fest. Em geral, em todos os ambientes dulcícolas os oxihidróxidos de Fe da fração lama são predominantemente cristalinos ($Fe_o/Fe_d \leq 0,50$); um aumento marcante no conteúdo Fe_o foi observado no lago Palmas (E28) em 03/2023. A amplitude dos valores do índice de cristalinidade dos oxihidróxidos de Fe (Fe_o/Fe_d = 0,01 a 0,73) sugere variações nas condições físico-químicas (exemplos: pH e potencial redox) dos ambientes dulcícolas, afetando assim a cristalinidade desses minerais, e consequentemente, a dinâmica de sorção e liberação de metais associados. Contudo, a tendência de aumento da relação Fe_o/Fe_d ao longo do monitoramento de algumas estações amostrais em ambientes fluvial e lacustre sugere enriquecimento de fases de oxihidróxidos de Fe pobremente cristalinas via aporte externo e, ou, redução de sua cristalinidade ao longo do tempo (Queiroz et al., 2022).

Figura 16: Teores de Mn extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Mn_d) e oxalato ácido de amônio (Mn_o) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes fluviais monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os maiores teores de Mn associados aos oxihidróxidos de Fe cristalinos (Mn_d) e pobremente cristalinos (Mn_o) ocorreram na foz do Rio Doce (E26F) durante o período chuvoso (Figura 16).

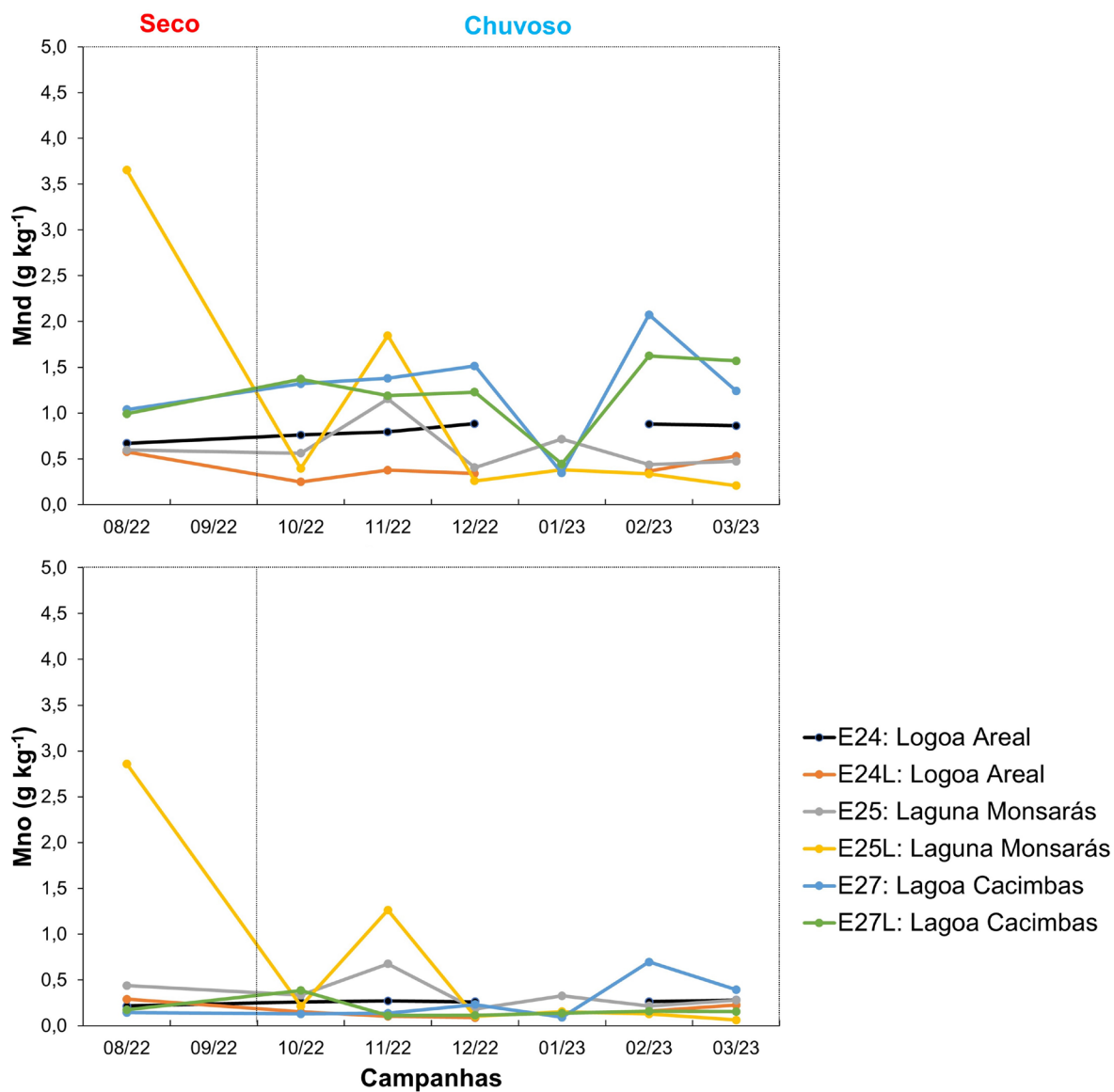
Figura 17: Teores de Mn extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Mn_d) e oxalato ácido de amônio (Mn_o) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes lacustres (lagos) monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os sedimentos dos lagos apresentaram baixos teores de Mn_d (< 3,0 g kg⁻¹) e Mn_o (< 2,0 g kg⁻¹), sendo os maiores valores encontrados no lago Palmas (E28L) (Figura 17). O lago Palmas (E28L) também chama a atenção pela variabilidade nos teores de Mn_d e Mn_o ao longo do tempo, sugerindo um sistema mais dinâmico em termos de Mn.

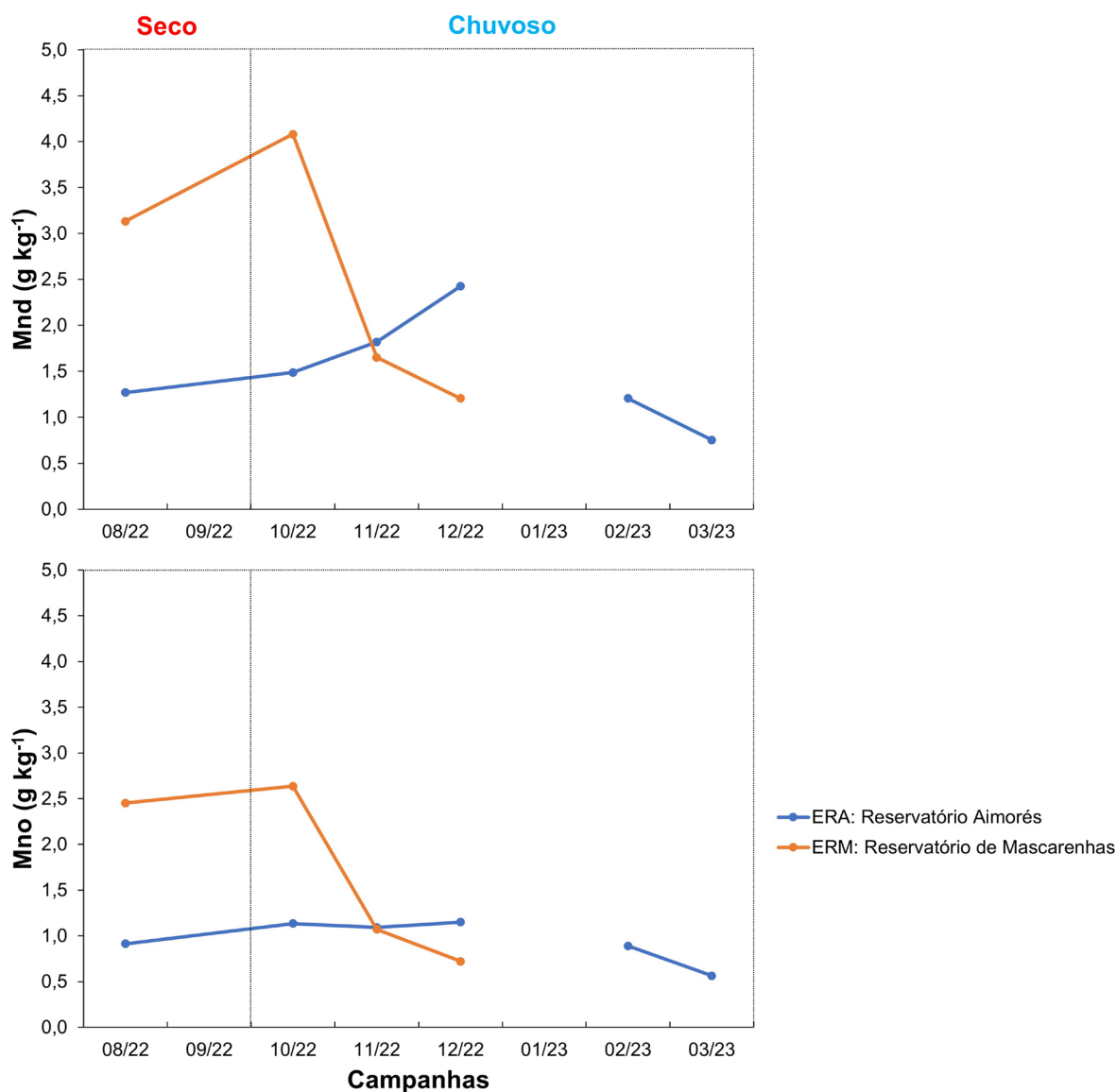
Figura 18: Teores de Mn extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Mn_d) e oxalato ácido de amônio (Mn_o) na fração lama (partículas < 63 μm) de ambientes lacustres (lagoas e laguna) monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023).

L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os maiores teores de Mn_d e Mn_o foram encontrados na laguna Monsarás (E25L) (Figura 18). A laguna Monsarás (E25L) e a lagoa Cacimbas (E27 e E27L) apresentaram maior variabilidade nos teores de Mn_d e Mn_o .

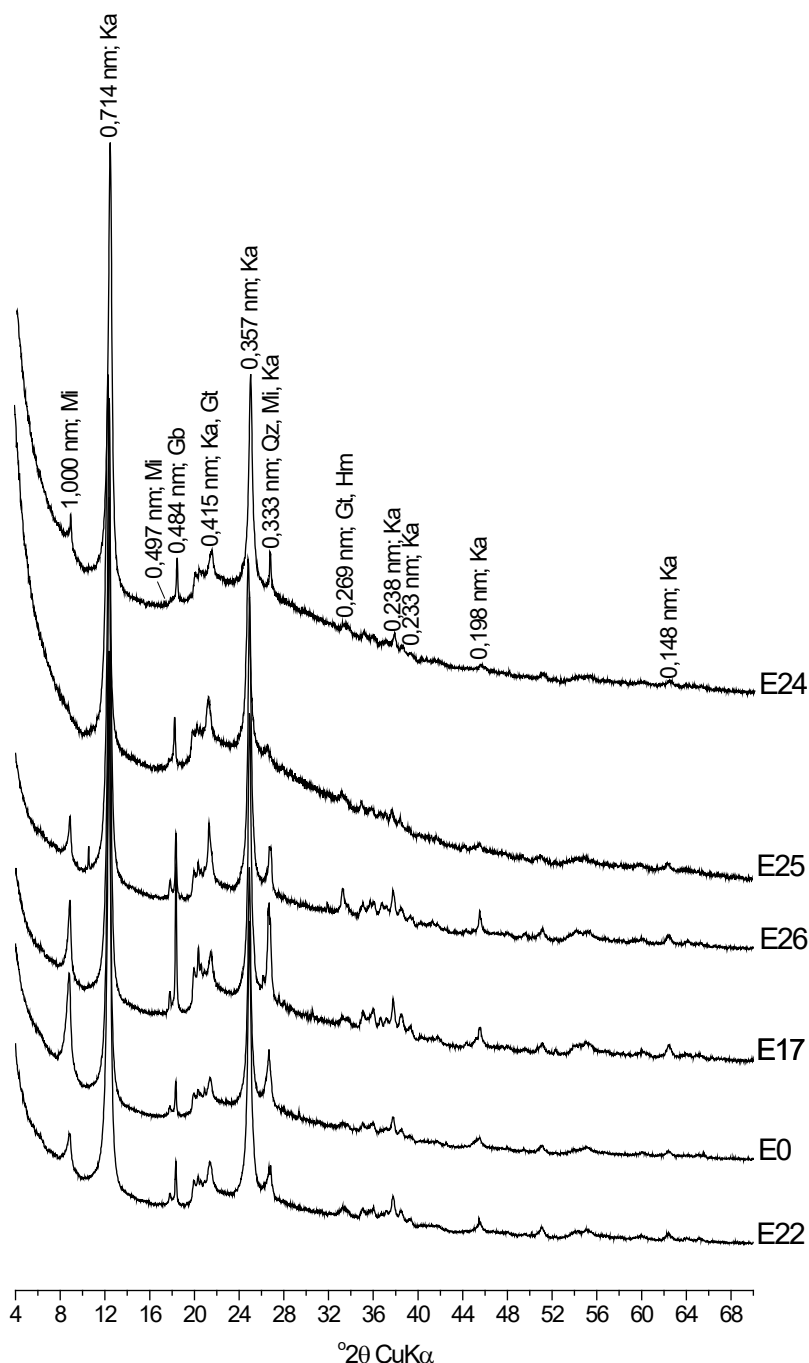
Figura 19: Teores de Mn extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Mn_d) e oxalato ácido de amônio (Mn_o) na fração lama (partículas < 63 μm) das represas monitorados no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). L = amostras coletadas na região litorânea das estações.



Os teores de Mn extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato-Na (Mn_d) e oxalato ácido de amônio (Mn_o) de ambientes fluviais (Mn_d : 0,42 a 2,75 g kg⁻¹; Mn_o : 0,18 a 2,24 g kg⁻¹), lacustres (Mn_d : 0,03 a 3,67 g kg⁻¹; Mn_o : 0,02 a 2,86 g kg⁻¹) e represas (Mn_d : 0,75 a 4,08 g kg⁻¹; Mn_o : 0,56 a 2,64 g kg⁻¹; Figura 19) seguiram a mesma tendência ao longo das campanhas de coleta no novo ciclo do PMBA/Fest. A amplitude dos valores da relação Mn_o/Mn_d nos ambientes fluviais (Mn_o/Mn_d : 0,35 a 0,82), lacustres (Mn_o/Mn_d : 0,09 a 0,93), e represas (Mn_o/Mn_d : 0,47 a 0,78) indica variações marcantes nos teores de Mn_d e Mn_o . Além disso, sugere que formas de Mn_o se mantiveram superiores ao Mn_d ao longo das campanhas, exceto nas lagoas Areal (Mn_o/Mn_d : 0,26 a 0,61) e Cacimbas (Mn_o/Mn_d : 0,09 a 0,34).

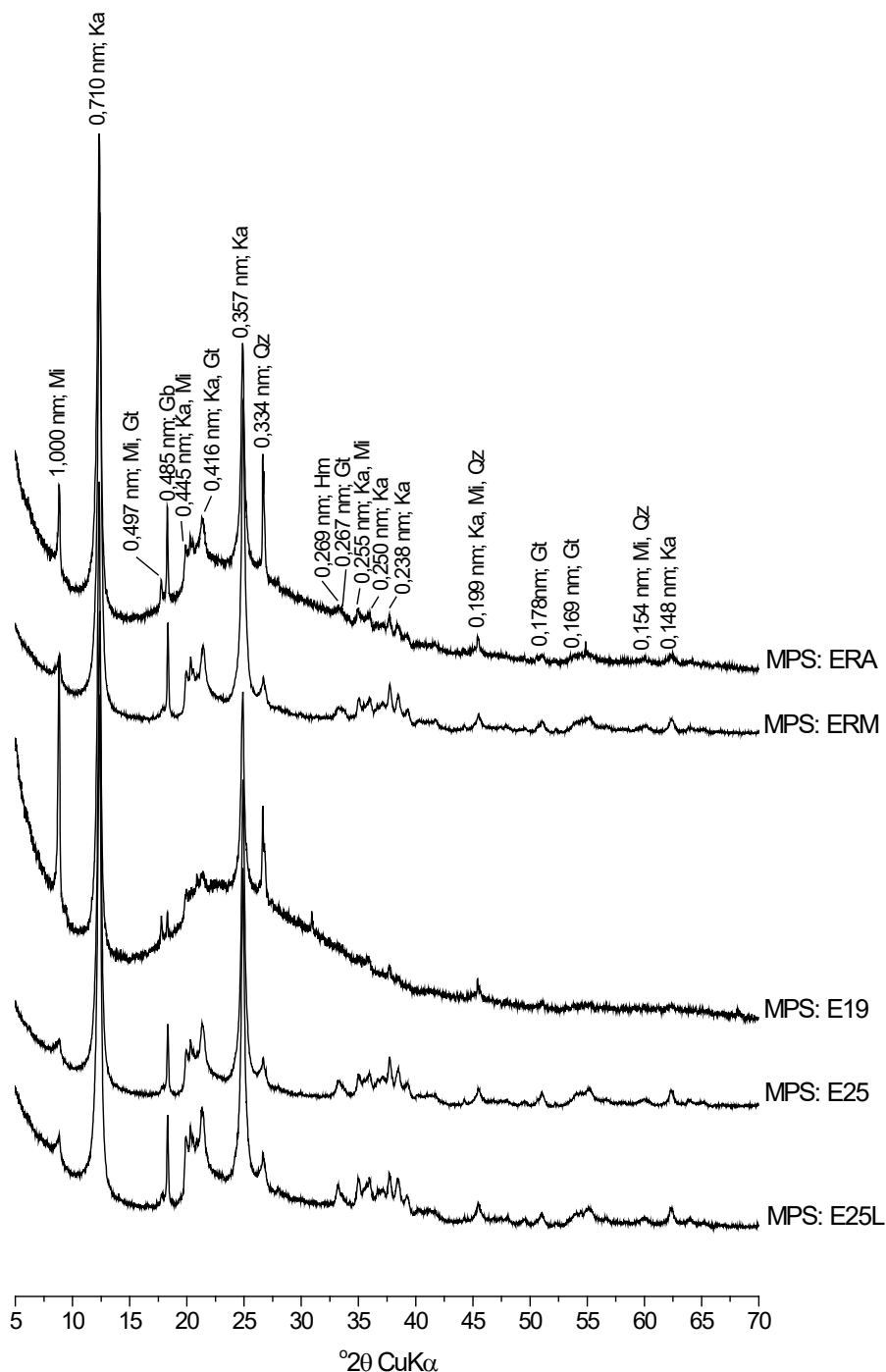
2.4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA (MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO – MPS)

Figura 20: Padrões de raios-X obtidos de amostras (orientadas) de MPS (Material Particulado em Suspensão) do Rio Doce (E0, Itapina; E22, Povoação; E26, Regência), Rio Guandu (E17), lagoa Areal (E24) e laguna Monsarás (E25), todas coletadas no antigo ciclo do PMBA/Fest (10/18 a 07/22). Minerais identificados nos padrões de raios-X: Ka = caulinita, Mi = mica, Qz = quartzo, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita..



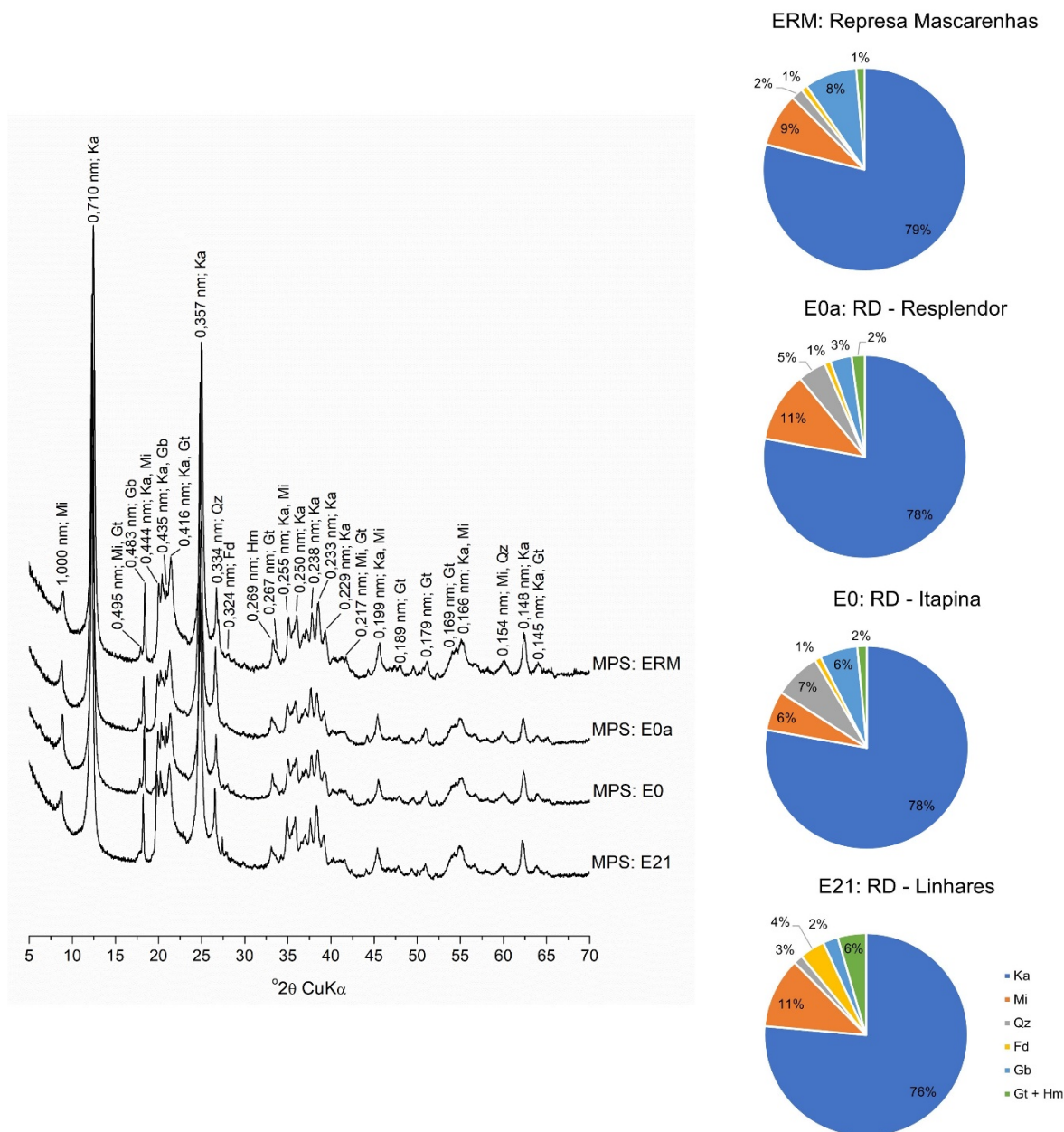
Os principais componentes mineralógicos das amostras de MPS analisadas são silicatos (caulinita, mica e quartzo) (Figura 20). Entre esses minerais, a caulinita destaca-se por apresentar picos de difração mais intensos nos padrões de raios-X, sugerindo maior teor nas amostras.

Figura 21: Padrões de raios-X obtidos de amostras (orientadas) de MPS (Material Particulado em Suspensão) de represas (ERA: Aimorés; ERM: Mascarenhas), lago Nova (E19) e lagoa Monsarás (E25 e E25L), coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (08/2022 a 03/2023). Minerais identificados nos padrões de raios-X: Ka = caulinita, Mi = mica, Qz = quartzo, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita.



Caulinita, mica e quartzo continuam como principais componentes mineralógicos das amostras de MPS coletadas no novo ciclo do PMBA/Fest (Figura 21). Um pico de difração característico da gibbsita destacam-se nos padrões de raios-X, sugerindo consideráveis teores nas amostras analisadas ao longo do PMBA/Fest. Os oxihidróxidos de Fe cristalinos (goethita e hematita) ocorrem como fases cristalinas minoritárias nas amostras.

Figura 22: Identificação e quantificação de minerais em amostras (montadas em pó) de MPS (Material Particulado em Suspensão) da represa Mascarenhas (ERM) e Rio Doce (E0a, Resplendor; E0, Itapina; E21, Linhares) coletadas em 01/2023. Minerais identificados nos padrões de raios-X: Ka = caulinita, Mi = mica, Qz = quartzo, Fd = feldspato-K, Gb = gibbsita, Gt = goethita, Hm = hematita.



A composição mineralógica das amostras de MPS mostrou estreita relação com aquelas observadas nos sedimentos, uma vez que ambos são produtos do intemperismo e erosão de rochas existentes na bacia do Rio Doce. Os teores dos constituintes minerais foram determinados em apenas quatro amostras coletadas na campanha 49 (09 a 13/01/2023), sendo três do Rio Doce (E0a, Resplendor; E0, Itapina; E21, Linhares) e uma da represa Mascarenhas (ERM) (Figura 22). Isso indica aumento na concentração de MPS em tais ambientes, uma vez que possibilitou a coleta de material suficiente para a montagem em lâmina escavada (método do pó), necessária para a obtenção de padrões de raios-X adequados à análise mineralógica quantitativa.

3 REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J.Z.; POGGERE, G.; SILVA, S.H.G.; MANCINI, M.; MOTTA, A.C.V.; MARQUES, J.J.G.; CURI, N. National-scale spatial variations of soil magnetic susceptibility in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103191, 2021.
- BISH, D.L.; REYNOLDS JUNIOR, R.C. Sample preparation for x-ray diffraction. In: BISH, D. L.; POST, J. E. (Ed.). *Modern powder diffraction*. 2nd ed. Washington, DC: Mineralogical Society of America, 73-97. 1989.
- CAMÊLO, D.L.; KER, J.C.; FONTES, M.P.F.; CORRÊA, M.M.; COSTA, A.C.S.; MELO, V.F. Pedogenic iron oxides in iron-rich Oxisols developed from mafic rocks. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 41, e0160379. 2017.
- CAMÊLO, D.L., KER, J.C., FONTES, M.P.F., COSTA, A.C.S., CORRÊA, M.M., LEOPOLD, M. Mineralogy, magnetic susceptibility and geochemistry of Fe-rich Oxisols developed from several parent materials. *Sci. Agric.* 75: 410-419. 2018.
- CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. *The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses*. 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley-VHC Verlag GmbH and Co. KGaA. 2003.
- DEARING, J. *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. 2nd ed. Chi Publishing, Oakham, UK. 1999.
- DUARTE, E.B., NEVES, M.A., OLIVEIRA, F.B., MARTINS, M.E., OLIVEIRA, C.H.R., BURAK, D.L., ORLANDO, M.T., RANGEL, C.V.G.T. Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brazil. *Chemosphere* 262, 127879, 2021.
- MCKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science* 46, 13-22, 1966.
- MEHRA, J.P.; JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. *Clays and Clay Minerals* 7, 317-27, 1960.

MINCRYST. Crystallographic and Crystallochemical Database for Minerals and their Structural Analogues. Disponível em: <<http://database.iem.ac.ru/mincryst/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

ORLANDO, M.R.A., GALVÃO, E.S., CAVICHINI, A.A., RANGEL, C.V.G.T., ORLANDO, C.G.P., GRILO, C.F., SOARES, J., OLIVEIRA, K.S.S., SÁ, F., JUNIOR, A.C., BASTOS, A.C., QUARESMA, V.S. Tracing iron ore tailings in the marine environment: An investigation of the Fundão dam failure. *Chemosphere* 257: 127184, 2020.

PACHECO, A.A. Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. 184f, 2015.

PUTZ. H.; BRADENBURG, K. Match!-phase identification from powder diffraction. Crystal Impact Software, 2015.

QUEIROZ, H.M., RUIZ, F., DENG, Y., SOUZA JÚNIOR, V.S., FERREIRA, A.D., OTERO, X.L., CAMÊLO, D.L., BERNARDINO, A.F., FERREIRA, T.O. Mine tailings in a redox-active Environment: Iron geochemistry and Potential environmental consequences. *Sci. Total Environ.* 807, 3. 151050, 2022.

VISSER, J.W.; WOLFF, P.M. Absolute intensities. Report 641.109. Technisch Physische Dienst, Delft, Netherlands, 1964.

YOUNG, R.A. The Rietveld Method. I. U. C. Oxford University Press Inc., New York, 298 p. 1995.