ADSORÇÃO DE FOSFATO EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDLS): UMA REVISÃO DA LITERATURA

Izabella Gabriel dos Santos, Sara Romão Gava, Victoria de Almeida Palagama, João Vitor dos Santos Soares, Damaris Guimarães.

Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Engenharia Química, Alto Universitário, S/N, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, izabelllla2002@gmail.com, sarargava19@gmail.com, victoriaalmeidapalagama@gmail.com, joaovitordossantossoares92@gmail.com, damaris.guimaraes@ufes.br.

Resumo

O uso intensivo de fertilizantes fosfatados pode favorecer o carreamento de fósforo para corpos hídricos, contribuindo para a eutrofização. Neste trabalho, foi realizado uma revisão da literatura sobre a aplicação de Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) na adsorção de fosfato em soluções aquosas. A pesquisa foi realizada na base *Scopus*, considerando publicações de 2020 a 2026, com análise de 10 artigos originais. Os estudos demonstram que os HDLs apresentam elevada capacidade adsortiva, favorecida em meio ácido, embora co-ânions possam reduzir sua eficiência. A incorporação de terras raras, como La^{3+} e Nd^{3+}, e o confinamento em hidrogéis aumentam a seletividade e permitem remoções superiores a 95%. Assim, os HDLs apresentam potencial para a remoção de fosfato e sua recuperação para aplicações como fertilizantes de liberação lenta ou materiais para baterias, contribuindo para a economia circular, a redução da dependência de rochas fosfáticas e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Palavras-chave: Eutrofização; Fósforo; Argilas aniônicas; Sustentabilidade; Tratamento de Efluentes.

Área do Conhecimento: Engenharias. Engenharia Química.

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores agropecuários do mundo e, para atender à crescente demanda global por alimentos, tem-se intensificado o uso de fertilizantes voltados ao aumento da produtividade (Da Silva; Dos Santos, 2023). Dentre os macronutrientes mais empregados, destaca-se o fósforo (P), frequentemente aplicado na forma de fertilizantes fosfatados (Ribeiro *et al*. 2023). Este elemento é essencial para o metabolismo dos organismos vivos e desempenha um papel relevante no equilíbrio dos ecossistemas. Em ambientes aquáticos, encontra-se predominantemente na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), cuja especiação depende do pH do meio, sendo essa sua fração inorgânica mais estável e biodisponível (Qing *et al.*, 2024; Elshishini *et al.*, 2025), cuja estrutura favorece a ligação com diversos cátions (Flores *et al*., 2026). Embora seja fundamental na agricultura e atue como base da cadeia alimentar aquática limitando o desenvolvimento do fitoplâncton, segundo a Razão de Redfield (106C:16N:1P) (Da Silva *et al*. 2024), o aporte exacerbado desse nutriente nos corpos hídricos causa um desequilíbrio estequiométrico, provocando a eutrofização (Rocha, 2024).

A eutrofização promove o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, aumentando a quantidade de matéria orgânica no meio. Sua posterior decomposição pode reduzir drasticamente a concentração de oxigênio dissolvido, comprometendo a qualidade da água e resultando na mortalidade da fauna nativa (Flores *et al*., 2026). Para mitigar esses impactos e alinhar-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 12) da ONU, as resoluções do CONAMA (nº 357/2005 e nº 430/2011) limitam a concentração de fósforo total em águas doces de Classe 1 de acordo com a hidrodinâmica do ambiente, estipulando valores máximos de 0,020 mg/L P para ambientes lênticos, 0,025 mg/L P para intermediários e 0,100 mg/L P para ambientes lóticos (Brasil, 2005; 2011).

Diante da ineficiência e do alto custo das tecnologias convencionais como a precipitação química, que apresenta dificuldades no tratamento de soluções diluídas e gera grandes volumes de lodo secundário (Elshishini *et al*., 2025), a adsorção surge como uma alternativa promissora. Esse processo destaca-se por sua elevada taxa de remoção em baixas concentrações, simplicidade de operação e

por viabilizar a recuperação e o reaproveitamento do fosfato na agricultura. Nesse contexto, os Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) são argilas sintéticas com metais catiônicos que geram lamelas carregadas positivamente, compostas por cátions metálicos divalentes e trivalentes, e por ânions interlamelares responsáveis pelo equilíbrio de cargas. Esses materiais apresentam elevada afinidade por espécies aniônicas e podem remover o fosfato por diferentes mecanismos, incluindo adsorção superficial e troca aniônica na região interlamelar (Qing *et al.,* 2024).

Diferentes compósitos à base de HDLs vêm apresentando alto desempenho: Ribeiro *et al*. (2023) (2023) demonstraram que a imobilização de Mg-Al-CO_3 com quitosana dobrou a eficiência de adsorção em comparação ao HDL puro (não modificado), atingindo 39,39 mg P/g; Lou *et al*. (2026) alcançaram 194,86 mg P/g utilizando uma membrana híbrida de Ca-Al-Cl-HDL em nanotubos de carbono; e Huang *et al*. (2026) desenvolveram esferas de hidrogel dopadas com lantânio (HDL-La@PNIPAM/SA) capazes de adsorver 91,35 mg P/g.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica na base *Scopus* sobre o uso de HDLs na captura de fosfato em soluções aquosas. O estudo também abordará o reaproveitamento do nutriente recuperado, visando evitar a exploração de reservas naturais esgotáveis e contribuir para a minimização dos impactos ambientais, em consonância com a Agenda 2030 da ONU.

Metodologia

A revisão da literatura foi conduzida em agosto de 2026 utilizando a base de dados Scopus, plataforma internacionalmente reconhecida pela alta relevância científica de seus periódicos indexados (Ucella-Filho *et al*., 2022). Adotaram-se descritores em inglês para garantir a abrangência global da busca.

A estratégia de busca consistiu na intersecção de termos nos campos de título, resumo e palavras-chave (TITLE-ABS-KEY), estruturada da seguinte forma: *(TITLE-ABS-KEY (("ldh" OR "layered double hydroxide*" OR "hydrotalcite*")) AND TITLE-ABS-KEY ("adsorp*") AND TITLE-ABS-KEY ("phosphate")) AND PUBYEAR > 2019.*

O recorte temporal abrangeu de 2020 a agosto de 2026, resultando na identificação inicial de 335 trabalhos. Estabeleceu-se como critério de elegibilidade a seleção exclusiva de artigos originais de pesquisa relacionados ao uso de hidróxidos duplos lamelares (HDLs) ou de seus compósitos na remoção de fosfato de meios aquosos. Como critérios de exclusão, foram descartados: (i) artigos de revisão, capítulos de livro e documentos de conferência; (ii) estudos cujo foco principal não era a remoção de fosfato; e (iii) trabalhos que não apresentavam dados aprofundados sobre os parâmetros morfológicos e operacionais dos HDLs.

Dos artigos finais selecionados, foram extraídas informações referentes aos objetivos dos estudos, às características dos materiais adsorventes, às metodologias experimentais empregadas e aos principais resultados obtidos. As informações extraídas foram organizadas, comparadas e discutidas criticamente, com o propósito de apresentar uma síntese clara e tecnicamente fundamentada das evidências disponíveis.

Resultados

Impulsionado pelo crescimento populacional, pelo aumento da demanda por alimentos e pela intensificação das atividades agropecuárias, o Brasil atual quarto maior consumidor mundial de fertilizantes deve responder por quase metade da produção global de alimentos nos próximos anos (Brasil, 2022).

O fósforo é um macronutriente essencial nesses fertilizantes. Embora os solos brasileiros possuam altas reservas totais de P, grande parte é indisponível para as plantas, seja por estar na forma orgânica (30% a 65%) ou por estar adsorvida ou precipitada em associação com minerais, óxidos e hidróxidos, especialmente nos solos argilosos, ácidos e altamente intemperizados (Nogalska *et al.*, 2018).

Para compensar essa indisponibilidade, aplicam-se fertilizantes fosfatados nas lavouras. Contudo, o excesso desse nutriente carreado para os corpos hídricos por escoamento superficial das chuvas ou lixiviação podem favorecer o processo de eutrofização, um grave problema ambiental e de saúde pública impulsionado pela proliferação de algas (Wang *et al*. 2013; Kalkhajeh; Huang; Hu, 2021).

Diante dessa problemática, a aplicação de Hidróxidos Duplos Lamelares (HDLs) como adsorventes em potencial tem despertado crescente interesse científico para a remoção de fósforo em matrizes aquosas. A Tabela 1 reúne as principais características dos materiais avaliados nos estudos selecionados, bem como suas condições operacionais e capacidades de adsorção.

Tabela 1 - Características, condições operacionais e desempenho de hidróxidos duplos lamelares e de seus compósitos na adsorção de fosfato.

Autor e Ano	**Material Base (HDL / Compósito)**	**Área Superficial (m^2/g)**	**pH Ótimo**	**Tempo de Equilíbrio**	**Capacidade de Adsorção (mg P. g^{-1})**
Ribeiro *et al*. (2023)	Mg-Al-CO_3 / Quitosana	81,70	5,0	240 min	39,39 (exp) 34,68 (qm)
Borges *et al*. (2025)	Zn_3 Al-NO_3 e Zn_2 Al-Cl	~135	6,0	240 min	72,41 (NO_3^-)
Lou *et al.* (2026)	Ca_2 Al-Cl / CNT Membrana	N/A	7,0	180 min	194,86 (membrana) 155,28 (pó)
Huang *et al.* (2026)	Mg-Al-Cl (La) / PNIPAM/SA beads	11,00 (orig.) 70,60 (pós)	3,0 - 8,0	240 min	91,35
Song *et al*. (2026)	$La(OH)_3$ / Mg-Al / Carvão Ativo	44,28	4,0	480 min	86,38 (sob 4,0 V)
Li e Jiang (2025)	ZnAlLa-LDHs	28,63	7,0	180 min	35,2
Su *et al.* (2026)	Rejeito de Flotação / Mg-Al	66,24	10,0	180 min	12,89 (a 400 mg/L)
Ji *et al.* (2026)	CaAlNd / Nd-hidróxido	91,99	3,0 - 6,0	180 min	57,02 (ortof.) 117,19 (organof.)
Zhao *et al.* (2026)	CaFe-LDH / $Ca(OH)_2$ (Ca:Fe=3:1)	N/A	2,0 - 12,0	N/A	224,2 mg/g

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados levantados indicam uma ampla variação de área superficial entre os adsorventes, abrangendo desde 11,00 m^2/g até valores próximos a 135 m^2/g. Essa dispersão ocorre devido a diversos fatores, como a composição química dos materiais precursores, as diferentes rotas de síntese adotadas e as condições de tratamento a que foram submetidos.

Da mesma forma, observa-se uma capacidade de adsorção de fósforo bastante variável, destacando-se o material desenvolvido por Zhao *et al*. (2026) com desempenho excepcional (224,2 mg P/g). É válido ressaltar que tal variabilidade não reflete apenas a natureza do material, mas está diretamente associada às diferentes condições experimentais empregadas em cada estudo, como a concentração inicial do contaminante, a dosagem do adsorvente e a temperatura do sistema.

Discussão

Embora o solo brasileiro seja fértil, ele exige suplementação nutricional, dessa forma, o manejo inadequado de fertilizantes fosfatados agravado pela falta de capacitação técnica de parte dos agricultores familiares (Embrapa, s.d.; Costa, 2026) favorece o escoamento superficial sob chuvas. Esse carreamento de nutrientes para os corpos hídricos causa a eutrofização, tornando o ambiente tóxico para a fauna aquática (Wang *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 2023).

Nesse cenário, os HDLs despontam como adsorventes promissores por aliarem estabilidade (térmica, química e mecânica) a uma alta área superficial e porosidade (Da Silva, 2022). Sua elevada

capacidade adsortiva deve-se à estrutura interlamelar: a presença de cátions bivalentes e trivalentes gera lamelas carregadas positivamente, que atraem fortemente o ânion fosfato (Ribeiro *et al*., 2023). Consequentemente, esse mecanismo de atração eletrostática é favorecido em meio ácido, tendência unânime corroborada por diversos autores (Ribeiro *et al*., 2023; Borges *et al*., 2025; Huang *et al*., 2026; Song *et al*., 2026; Li e Jiang, 2025; Ji *et al*., 2026; Zhao *et al*., 2026).

Apesar de eficaz, a troca iônica baseada em atração eletrostática é altamente dependente do pH e vulnerável a ânions competidores. O pH do meio é uma variável crítica nesse processo, pois atua tanto na especiação do fósforo em solução quanto na densidade de cargas da superfície do adsorvente. A preferência por faixas de pH ácido a neutro em matrizes contendo alumínio corrobora as observações de Costa (2026). Essa característica reflete a protonação da superfície, que potencializa a atração eletrostática e a troca aniônica. Além disso, as variações de pH ótimo observadas entre os diferentes compósitos decorrem dos deslocamentos no Ponto de Carga Zero (PCZ) de cada material, induzidos pelos metais e polímeros adicionados à estrutura.

Do ponto de vista cinético, o tempo necessário para o sistema atingir o equilíbrio está diretamente ligado à resistência à transferência de massa imposta pela morfologia do adsorvente. A literatura aponta que a utilização de HDLs estruturados em hidrogéis (Huang *et al*., 2026) ou membranas (Lou *et al*., 2026) pode aumentar a resistência à difusão no interior da partícula. Embora essa complexidade estrutural possa tornar o processo mais lento, ela garante uma facilidade muito maior na separação sólido-líquido, solucionando um dos maiores gargalos da aplicação de pós nanométricos em larga escala.

Outro desafio na adsorção por HDLs tradicionais é a vulnerabilidade à presença de ânions competidores, sob condições reais, Borges *et al*. (2025) observaram que a presença de carbonatos, bicarbonatos e sulfatos reduziu drasticamente a capacidade de captura de seus HDLs (que ultrapassava 72 mg P/g em água pura). Para superar essa limitação de seletividade, pesquisas recentes têm incorporado terras raras (La^{3+} e Nd^{3+}) à matriz do HDL, pois esses elementos atuam como ácidos de Lewis rígidos, aumentando a afinidade com o contaminante (Li e Jiang, 2025; Song *et al*., 2026). Comprovando essa eficácia, Huang *et al*. (2026) testaram um hidrogel dopado com lantânio (LDH-La@PNIPAM/SA) diretamente em águas residuárias reais (Lago Jinghu) e obtiveram mais de 95% de remoção de fosfato, mesmo na presença de matéria orgânica.

Além da alta eficiência na despoluição, o fosfato recuperado por esses materiais pode ser reinserido na cadeia produtiva, seja na formulação de fertilizantes de liberação lenta ou na fabricação de cátodos ($LiFePO_4$/C) para baterias de íon-lítio (Lou *et al*., 2026). Essa rota tecnológica promove a economia circular e contribui diretamente para o ODS 12 da ONU, que visa reduzir substancialmente a geração de resíduos até 2030 (IPEA, s.d.).

Conclusão

O carreamento inadequado de fertilizantes fosfatados nos solos brasileiros agrava severamente a eutrofização dos corpos hídricos. Para mitigar essa problemática, esta revisão demonstrou que os hidróxidos duplos lamelares (HDLs) e seus compósitos são adsorventes altamente eficientes, com desempenhos que dependem diretamente das rotas de síntese e das condições operacionais.

A análise dos dados evidenciou que a adsorção de fosfato por esses materiais é otimizada em ambientes de pH ácido a levemente neutro (3,0 a 7,0), com a cinética do processo atingindo o equilíbrio predominantemente entre 3 e 4 horas. Notou-se, ainda, que o desafio da baixa seletividade dos HDLs frente a ânions competidores e a dificuldade de separação sólido-líquido podem ser superados pela modificação estrutural, como a incorporação de terras raras (La^{3+} e Nd^{3+}) à matriz e o confinamento em hidrogéis ou membranas.

Por fim, a aplicação desses adsorventes viabiliza não apenas a descontaminação hídrica, mas também a recuperação de um recurso não renovável. O uso dos compósitos saturados como fertilizantes de liberação lenta ou na síntese de baterias consolida essa rota tecnológica sob o viés da economia circular, contribuindo ativamente para as metas de sustentabilidade da Agenda 2030 da ONU.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Estatísticas do setor. Brasília, DF: **Ministério da Agricultura e Pecuária**, 3 de maio de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor.

BORGES, I. D. *et al*. MgAl and ZnAl layered double hydroxides as efficient sorbents for phosphorus recovery from water. **RSC Advances**, v. 15, n. 53, p. 45427-45437, 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 1 set. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes [...]. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 8, 16 maio 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=26120. Acesso em: 1 set. 2026.

COSTA, M. M. M. N. O fósforo na agricultura: disponibilidade no solo e funções na planta. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2026. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1186403/o-fosforo-na-agricultura-disponibilidade-no-solo-e-funcoes-na-planta.

DA SILVA, A. F. Estudo das modificações estruturais em HDL-MgFe produzidos por diferentes rotas sintéticas: análise da capacidade de adsorção. 2022. 148 f. Tese (Doutorado em Materiais) – Centro de Tecnologia, **Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade Federal de Alagoas**, Maceió, 2022

DA SILVA, S. S. M. *et al*. Nitrogen and phosphorus interactions at a 21 nitrogen:1 phosphorus Redfield-like ratio impact growth and seed yield in wheat (Triticum aestivum L.). **Food and Energy Security**, [s. l.], v. 13, n. 4, e564, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/fes3.564.

DA SILVA, A. O.; DOS SANTOS, F. A modernização da agricultura e seus impactos no campo: uma análise sobre a disseminação dos agrotóxicos em alagoas (2012-2021). **UÁQUIRI-Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre**, v. 5, n. 1, 2023. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Tema: agricultura familiar: sobre o tema. Brasília, DF: **Embrapa**, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema.

ELSHISHINI, H. M. *et al*. Assessing decision-based machine learning algorithms for predicting adsorption efficiency: a detailed study of Mn–Fe LDH functionalized La(OH)$_3$@AC chitosan beads. **Journal of Water Process Engineering**, v. 69, p. 106678, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106678.

FLORES, Catalina V. *et al*. Layered double hydroxides (LDH) materials for effective phosphate adsorption from aqueous solution. **RSC Sustainability**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 61-78, 2026.

HUANG, Jiawei *et al.* PNIPAM-functionalized LDH-La alginate hydrogel beads as a high-capacity and recyclable adsorbent for phosphate capture. **Carbohydrate Polymers**, v. 389, p. 125667, 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **ODS 12**: consumo e produção sustentáveis. Brasília, DF: Ipea, [s.d.]. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/ods/ods12.html.

JI, E. *et al*. Phosphate removal by CaAlNd LDH/hydroxide composite: Role of synergistic precipitation, coordination, and exchange. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 14, n. 3, p.

123100, 2026.

KALKHAJEH, Y. K.; HUANG, B.; HU, W. Impact of preferential flow pathways on phosphorus leaching from typical plastic shed vegetable production soils of China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 307, e107218, 2021.

LI, D.; JIANG, Y. Adsorptive removal of phosphate by ZnAlLa ternary layered double hydroxides: Synthesis conditions, adsorption performance, mechanism and reusability. **Separation and Purification Technology**, v. 354, p. 128668, 2025.

LOU, Z. *et al*. Layered double hydroxide/CNT membrane for efficient recovery and reuse of phosphorus from eutrophic water: Waste utilization and phosphorus recycling. **Separation and Purification Technology**, v. 410, p. 139273, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.139273.

NOGALSKA, A.; SKWIERAWSKA, M.; ZAŁUSZNIEWSKA, A. Effect of meat and bone meal (MBM) and Bacillus subtilis on the content of nitrogen and phosphorus in soil and white mustard biomass. **Agricultural and Food Science**, v. 27, n. 4, p. 275-282, 2018.

ONU. **Plataforma Agenda 2030.** Disponível em: https://nacoesunidas.org/.
QING, Z. *et al*. A stable rare earth-based layered double hydroxide embedded chitosan hydrogel beads for enhanced phosphate removal from aqueous solution: Performance, mechanisms and applicability. **Journal of Water Process Engineering**, v. 59, p. 104989, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104989https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104989.

RIBEIRO, N. I. *et al*. Efficient phosphate adsorption by a composite composed of $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ LDH and Chitosan: kinetic, thermodynamic, desorption, and characterization studies. **Separation and Purification Technology**, [s. l.], v. 307, e122717, 2023.
ROCHA, R. E. **Geoquímica de sedimentos fluviais e sua relação com o fracionamento de fósforo em águas de abastecimento público de Campinas, SP**. 2024. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024.

SONG, Y. *et al*. Electrosorptive phosphate recovery using $La(OH)_3$-Mg-Al LDH composite with induced oxygen vacancies and tuned electronic structure. **Environmental Research**, v. 305, n. 1, p. 124633, 2026.

SU, X. *et al.* Synthesis and characterization of Mg-Al layered double hydroxides supported on flotation tailings for phosphate adsorption from wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, p. 139982, 2026.

UCELLA-FILHO, J. G. M. *et al*. Tannin-rich bark extract of plants as a source of antimicrobial bioactive compounds: A bibliometric analysis. **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 150, p. 1038-1050, 2022.

WANG, L.; LIANG, T.; ZHANG, Q. Laboratory experiments of phosphorus loss with surface runoff during simulated rainfall. **Environmental earth sciences**, v. 70, n. 6, p. 2839-2846, 2013.

ZHAO, C. *et al.* Harnessing pH-dependent pathways in magnetic Ca/Fe hydroxide composites: A multi-mechanistic approach to phosphate removal and resource circularity. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 736, 139559, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2026.139559.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da UFES (PPEQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES).