

AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE SOLUÇÕES ÁCIDAS NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ARROZ: SIMULANDO UMA CHUVA ÁCIDA

Ruan Carlos Rocha Alves¹

Júlia Batista Severo²

Matheus Legnani Wilken³

Guillermo Arturo Flores Paredes⁴

Andréa Rodrigues Marques⁵

Ecologia Ambiental

Resumo

A chuva ácida é um fenômeno atmosférico resultante da liberação de gases poluentes, como dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, na atmosfera. Esses gases são emitidos principalmente por atividades humanas e podem vir a ter consequências danosas às plantações. Tendo isso em mente, esse estudo objetivou avaliar o efeito da chuva ácida em condições simuladas no crescimento de plântulas de arroz (*Oryza sativa*). Foi realizado um experimento que consistiu no plantio de mudas de arroz regadas periodicamente com água de pH = 5,6 (Tratamento 1, grupo controle), soluções de ácido sulfúrico com pH = 4,0 (Tratamento 2) e pH = 3,0 (Tratamento 3) para a simulação da chuva ácida. Análises químicas (pH, H⁺Al, matéria orgânica, capacidade efetiva de troca de cátions, Al⁺³, Ca⁺² e Mg⁺²) foram realizadas do solo. As plântulas de arroz foram retiradas dos vasos e três parâmetros morfométricos foram medidos: número de folhas, tamanho das folhas e raízes, e biomassa seca das folhas e raízes. Observou-se, portanto, que não houve diferenças significativas crescimento das folhas e raízes das plântulas de arroz entre os tratamentos e controle. A capacidade tamponante do solo e a disponibilidade de nutrientes podem ter contribuído para a estabilidade do pH do solo.

Palavras-chave: Chuva ácida; Ácido sulfúrico; *Oryza sativa*.

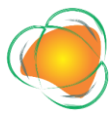
¹Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária – CEFET-MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, ruancralves@gmail.com

²Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária – CEFET-MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, juliabsevero@gmail.com

³Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária – CEFET-MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, matheuslegw@gmail.com

⁴Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária – CEFET-MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, guillermo911.gaf@gmail.com

⁵Professora do Departamento de Ciências Biológicas do CEFET-MG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, andreamg@cefetmg.br



INTRODUÇÃO

A chuva ácida é um fenômeno ambiental que tem despertado cada vez mais preocupação devido aos seus efeitos nocivos em diversos ecossistemas. Essa condição da chuva está atrelada à poluição causada pelo homem na superfície terrestre, principalmente em áreas fortemente urbanizadas (ABREU, 2005). Normalmente, a chuva já apresenta um certo grau de acidez devido à presença de óxidos no ar, sendo considerado um pH em torno de 5,6 como nível normal. No entanto, a chuva para ser considerada ácida necessita ter o pH abaixo de 5,6 (FORNARO, 2006; ABREU, 2005). Entre os principais gases que reagem com as partículas de água suspensas no ar e provocam a chuva ácida, estão o dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio (JESUS, 2023).

No Brasil, já foram registrados casos de ocorrências de chuva ácida, como na região carbonífera de Santa Catarina (SEVÁ, 1991), no polo industrial de São Paulo (FORNARO, 2006) e de Minas Gerais (FIGUERÊDO, 2018), e um exemplo bastante conhecido ocorreu na região da Serra do Mar, em Cubatão, São Paulo, no ano de 1977 segundo a BBC News Brasil (2017). A chuva ácida no território brasileiro é causada principalmente pela degradação da qualidade do ar nos grandes centros urbanos. Fornaro (2006) ainda ressalta que poluentes atmosféricos como NO_x (NO e NO₂) e SO₂, podem ser transportados para regiões distantes, causando chuvas ácidas em regiões menos urbanizadas do Brasil.

Além dos danos ao ambiente urbano, estudos têm indicado efeitos nocivos da chuva ácida no solo e nas plantas (ABREU, 2005). Muitas vezes, esses efeitos não são imediatos e passam despercebidos pela maioria da população. Segundo Singh et al. (2008), espécies de plantas como álamo (*Populus tremuloides*), abeto (*Picea rubens*), bétula (*Betula papyrifera*), pinheiro escocês (*Pinus sylvestris*), abeto noruegês (*Picea abies*), bétula prateada (*Betula pubescens*), e entre outras, reagem negativamente com o teor ácido do solo, ou seja, essas chuvas podem acidificar o solo e acabar por danificar essas vegetações.

No agronegócio na economia brasileira, o arroz é um dos principais produtos desse mercado, principalmente para consumo interno (FERREIRA, C.M. et al., 2021). Portanto, surge a seguinte questão: "A chuva ácida afeta o desenvolvimento dos primeiros estágios de crescimento do arroz?". Dessa forma, esse estudo objetivou avaliar o efeito da chuva

Realização



ácida em condições simuladas no crescimento de plântulas de arroz (*Oryza sativa*).

METODOLOGIA

Coleta do solo

Para execução deste estudo foram retiradas, de três pontos distintos, amostras de solo sem manejo nas dependências do CEFET-MG a 5 centímetros da superfície. As amostras foram peneiradas, com uma peneira de malha de 10 mm, misturadas e homogeneizadas, totalizando 5 quilogramas de solo. Um quilograma de solo foi enviado ao laboratório de química do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) para as análises químicas (pH, H^+Al , matéria orgânica, capacidade efetiva de troca de cátions, Al^{+3} , Ca^{+2} e Mg^{+2}).

A caracterização química do solo determinou que o solo apresentava capacidade de troca catiônica de 6,01 cmol.carga/dm³, pH em água de 7,2, H^+Al igual a 0,83 e teor de matéria orgânica de 2,48 dag/kg. Os nutrientes Ca^{+2} e Mg^{+2} igual a 4,96 e 0,77 cmol.carga/dm³, respectivamente, e Al^{+3} igual a 0,01 cmol.carga/dm³.

Germinação e cultivo das plântulas

Um lote de 60 sementes de arroz (*Oryza sativa*) foi previamente germinado em placas de Petri com papel filtro umedecido com água destilada por 48 h em uma incubadora à 25°C com fotoperíodo de 12 h (Marconi, modelo MA 403). Sementes com radículas de tamanho similares foram introduzidas em potes de plásticos brancos preenchidos com 50 g de solo. O experimento foi conduzido em 30 copos com uma semente germinada plantada. Foram realizados três tratamentos diferentes, cada um usado em 10 plântulas (vide Tabela 1).

A solução de chuva ácida simulada foi preparada por meio da mistura de ácido sulfúrico e água destilada para reduzir o pH a um valor necessário para cada tratamento. No tratamento T2, a concentração de ácido sulfúrico na solução de chuva ácida simulada foi de 5×10^{-5} mol/L, e no tratamento T3, a concentração de ácido sulfúrico foi de 5×10^{-4} mol/L.

Realização



Tabela 1. Tipos de irrigação em cada tratamento.

Tratamentos	Irrigação
T1	Água com pH igual a 5,6 (controle)
T2	Ácido sulfúrico com pH igual a 4,0
T3	Ácido sulfúrico com pH igual a 3,0

Todos os tratamentos das plantas foram irrigados três vezes por semana com um espaçamento de dois dias por irrigação durante um mês e mantidos em estufa úmida. Os tratamentos T2 e T3 foram irrigados uma vez por semana com a solução de ácido sulfúrico. Cada irrigação foi feita com um volume de aproximadamente 2 mL. Após o término do experimento, o pH de cada solo foi medido. Quinze gramas de solo foram secados em uma estufa à 60°C e diluído em 100 mL de água destilada para mensurar o pH através de um pHmetro (TECNAL).

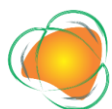
Análises morfométricas das plântulas

As plântulas de arroz foram coletadas após o período de simulação e as seguintes medidas foram realizadas: número de folhas, comprimento das folhas e das raízes (mm) através de uma régua milimetrada de precisão; biomassa seca das folhas e raízes (mg). Para estimar a biomassa das raízes, as plântulas foram mantidas na estufa à 60°C durante 24 h e pesadas em balança analítica de precisão (Marconi, modelo AY220). Os valores obtidos para cada parâmetro analisado foram analisados através de testes estatísticos ANOVA e teste Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que não houve diferenças estatísticas no número de folhas (Tabela 2). Assim como, para os parâmetros de crescimento, como o tamanho das folhas e das raízes, e biomassa da parte aérea e raízes não foram estatisticamente diferentes (Tabela 3). Plantações de arroz foram investigadas por Ren et al. (2018) em diferentes respostas à

Realização



chuva ácida simulada (pH 5,5, 5,0, 4,5 e 4,0) e observaram que o tamanho das folhas de arroz não apresentou diferenças significativas em relação ao grupo de controle. Os resultados apresentados por estes autores, indicaram uma certa tolerância aos efeitos da chuva ácida nesses níveis de pH. Essa tolerância se deve às atividades das enzimas antioxidantes e ao conteúdo de ácido ascórbico, ou vitamina C, pois em níveis moderados de acidez (pH 3,5), as plantas foram capazes de manter os níveis de espécies reativas de oxigênio controlados, evitando danos oxidativos (REN et al., 2018). Portanto, os resultados desse estudo sugerem uma possível semelhança na capacidade das plantas estudadas de tolerar a chuva ácida em níveis moderados de acidez, assim como foi observado no estudo de Ren et al. (2018).

Tabela 2. Número médio das folhas nas plântulas de arroz (*Oryza sativa*) nos diferentes tratamentos. T1 – controle, T2 – chuva pH = 4 e T3 – chuva pH = 3.

Tratamentos	Número médio de folhas*
T1	1,8 ^a
T2	2,2 ^a
T3	2,1 ^a

*Letras iguais representam ausência de diferenças estatísticas (ANOVA, $p > 0,05$).

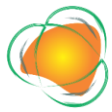
Tabela 3. Tamanho médio e biomassa seca das folhas e raízes das plântulas de arroz (*Oryza sativa*) nos diferentes tratamentos. T1 – controle, T2 – chuva pH = 4 e T3 – chuva pH = 3.

Tratamentos	Tamanho* (mm)		Biomassa seca* (mg)	
	Raízes	Folhas	Raízes	Folhas
T1	130,3 ± 30,59 ^a	153,2 ± 78,48 ^a	3,93 ± 0,8 ^a	9,35 ± 3,0 ^a
T2	124,0 ± 50,84 ^a	178,5 ± 72,35 ^a	4,94 ± 2,6 ^a	9,21 ± 3,0 ^a
T3	110,1 ± 49,92 ^a	63,94 ± 63,94 ^a	4,26 ± 1,5 ^a	10,83 ± 2,0 ^a

*Letras iguais representam ausência de diferenças estatísticas (ANOVA, $p > 0,05$).

Apesar da irrigação com solução ácida, no final do experimento o solo apresentou

Realização



pH similares: T1 igual a 6,5; T2 igual a 6,4 e T3 igual a 6,8. Segundo Camargos (2005), os valores de pH do solo variam, de forma geral, de 3 a 10. Mais especificamente no contexto brasileiro, cerca de 70% dos solos são classificados como altamente ácidos, o que influencia significativamente o crescimento das plantas. No entanto, os solos têm uma resistência em ter seu pH alterado devido a sua capacidade tamponante. O poder tampão do solo aumenta proporcionalmente à acidez potencial (CAMARGOS, 2005). Conseqüentemente, solos com maior teor de argila ou com argila de maior atividade, bem como solos com maior quantidade de matéria orgânica, apresentam um poder tampão mais elevado em comparação a solos arenosos, solos com argila de baixa atividade ou solos com menor teor de matéria orgânica. Mas, também, é relevante observar que a capacidade de tamponamento do solo pode variar de acordo com diversos fatores, como a composição mineralógica e a quantidade de matéria orgânica presente (CAMARGOS, 2005).

Conseqüentemente, diferentes solos podem reagir de forma distinta aos mesmos tratamentos. De acordo com o guia de interpretação da caracterização do solo fornecidos pela EMBRAPA, solos que apresentam CTC Total abaixo de 4,5 cmolc.carga/dm³ geralmente apresentam baixa capacidade tampão. Portanto, o solo usado nesse estudo apresentou uma CTC total igual a de 6,01 cmol.carga/dm³, sendo considerada alta, e, então, considerado resistente às mudanças de pH. Em suma, a capacidade de tamponamento do solo pode ter desempenhado um papel na estabilização dos valores de pH, sem grandes alterações entre os tratamentos, apesar da adição de ácido sulfúrico.

CONCLUSÕES

O estudo sugere que a chuva ácida simulada não teve efeitos significativos no desenvolvimento das plântulas do arroz avaliadas nos tratamentos investigados. A capacidade tamponante do solo e a disponibilidade de nutrientes podem ter contribuído para a estabilidade do pH do solo e para o crescimento semelhante das plantas nos diferentes tratamentos. No entanto, é importante ressaltar que esses resultados são específicos para as condições experimentais e para o tipo de solo e planta utilizados, sendo necessários estudos adicionais para uma compreensão mais abrangente dos efeitos da chuva ácida.

Realização



AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET) pelo apoio financeiro e estrutura física. À professora Andrea Rodrigues Marques pelo conhecimento transmitido e pela oportunidade de realizar um projeto como esse. Ao Ricardo Nodari Forés de Castro pelo apoio técnico no Laboratório de Ecologia Aplicada.

REFERÊNCIAS

ABREU, Mauricio Lobo. **Ocorrência de Chuva Ácida em Unidades de Conservação da Natureza Urbanas**: estudo de caso no parque estadual da pedra branca - rio de janeiro. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=144>. Acesso em: 01 jul. 2023.

ANDREAZZA, Robson; CAMARGO, Flávio Anastácio de Oliveira; ANTONIOLLI, Zaida Inês; QUADRO, Maurício Silveira; BARCELOS, Amauri Antunes. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 3-8, 3 jan. 2019. *Revista de Ciências Agrárias*. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA.16290>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16290>. Acesso em: 05 jul. 2023

CAMARGOS, Sânia Lúcia. **Acidez do solo e calagem (reação do solo)**. 2005. 26 f.- Curso de Agronomia e Medicina Veterinária, Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005. Disponível em: https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf. Acesso em: 05 jul. 2023.

COSTA, Camilla. Mais de 3 décadas após 'Vale da Morte', Cubatão volta a lutar contra alta na poluição. **BBC News Brasil**. Cubatão, 10 mar. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-39204054>. Acesso em: 05 jul. 2023.

FERREIRA, C.M.; WANDER, A.E.; SILVA, O.F. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/mercado-comercializacao-e-consumo>>. Acesso em: Jul. 2023.

FIGUERÊDO, D.V. Chuvas ácidas na região metropolitana de Belo Horizonte/MG, Brasil. **Silo. Tips**. 24 abr. 2018. Disponível em: <https://silo.tips/download/chuvas-acidas-na-regiao->

Realização





metropolitana-de-belo-horizonte-mg-brasil. Acesso em: 12 jul. 2023.

FORNARO, Adalgiza. **Chuva Ácida em São Paulo: Caracterização Química de Amostras Integradas e Sequenciais de Deposição Úmida**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13533/15351/16508>. Acesso em: 01 jul. 2023.

JESUS, Emanuel Fernando Reis de. A IMPORTÂNCIA DE ESTUDAR A CHUVA ÁCIDA NO CONTEXTO DA ABORDAGEM CLIMATOLÓGICA. **Sitientibus**, S.I, 13 jun. 2023. DOI: 10.13102/sitientibus.vi14.9960. Disponível em: <https://periodicos.uefs.br/index.php/sitientibus/article/view/9960>.. Acesso em: 05 jul. 2023.

REN, Xiaoqian *et al.* Response of antioxidative system in rice (*Oryza sativa*) leaves to simulated acid rain stress. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 148, p. 851-856, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651317307996>. Acesso em: 03 jul. 2023.

SEVÁ FILHO, A. Oswaldo. Como Estão as "Manchas Ácidas" no Brasil? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 5, n. 11, p. 81-107, abr. 1991. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40141991000100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TLct5r5HkVJqXfp3qR6xDCj/?lang=pt#ModalScimago>. Acesso em: 03 jul. 2023.

SINGH, Anita; AGRAWAL, Madhoolika. Acid rain and its ecological consequences. **Journal of Environmental Biology**. India, p. 1-10. jan. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18831326/>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SOBRAL, Lafayette Franco; BARRETTO, Marcos Cabral de Vasconcellos; SILVA, Airon José da; ANJOS, Joézio Luiz dos. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2015. 15p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042994/1/Doc206.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

Realização