

**Análise do transporte de contaminantes agrícolas em corpos hídricos  
através da simulação de uma plantação de milho na plataforma MOHID  
Land em Varre-Sai, RJ**

*Analysis of the transport of agricultural contaminants in water bodies through  
the simulation of a corn plantation on the MOHID Land platform in Varre-  
Sai, RJ*

**Laise Novellino Nunes de Souza, Doutoranda em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos no Instituto Federal Fluminense (IFF). Mestre em Engenharia Ambiental pelo IFF, Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).**

lalanovellino@hotmail.com

**Wagner Rambaldi Telles, Doutorado em Modelagem Computacional pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Graduado em matemática e professor da Universidade Federal Fluminense (UFF).**

wr\_telles@yahoo.com.br

**Jader Lugon Junior, Pós-doutorado em Modelagem Computacional pelo Instituto Politécnico da UERJ. Coordenador do Doutorado Profissional em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos do IFF.**

jlugonjr@gmail.com.

**Vicente de Paulo Santos de Oliveira. Professor Titular do Instituto Federal Fluminense e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa.**

vsantos@iff.edu.br

## **Resumo**

Buscando o aumento da produção agrícola e, ao mesmo tempo, a preocupação com o meio ambiente, esse trabalho busca utilizar a plataforma MOHID Land acoplada ao modelo SWAT para demonstrar viabilidade de aplicação de tais softwares no estudo do transporte de contaminantes em meios hídricos. Para isso, foi desenvolvida uma simulação de uma plantação de milho no sítio Panorama, região do município de Varre-Sai, Rio de Janeiro. Concluiu-se que a plataforma MOHID Land pode ser utilizada para o estudo do transporte de contaminantes nos corpos hídricos, sendo uma ferramenta de gestão e auxílio a tomada de decisão para engenheiros e entidades públicas que buscam adotar medidas de controle da poluição ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Agricultura; milho; poluição.

## **Abstract**

*Seeking to increase agricultural production and, at the same time, concern for the environment, this work seeks to use the MOHID Land platform coupled with the SWAT model to demonstrate the feasibility of applying such software to study the transport of contaminants in water environments. To this end, a simulation of a corn plantation was developed at the Panorama site, in the municipality of Varre-Sai,*

Rio de Janeiro. It was concluded that the MOHID Land platform can be used to study the transport of contaminants in water bodies, being a management tool and decision-making aid for engineers and public entities seeking to adopt measures to control pollution in the environment.

**Keywords:** Agriculture; corn; pollution.

## 1. Introdução

Atender às crescentes necessidades de produção de alimentos de uma sociedade e, ao mesmo tempo, manter ou melhorar a qualidade da água, é um desafio enfrentado em todo o mundo, em diversas bacias hidrográficas. Em muitas nações, a norma agrícola é que os agricultores ditem o que, quando, e onde plantar com base na procura do mercado e na utilização economicamente mais eficiente dos recursos da terra para cada empresa agrícola individual (Jiang, 2021) [1].

O Brasil é um dos maiores exportadores agrícola do mundo, e, também, o principal exportador mundial de soja, suco de laranja, açúcar, carnes, café, tabaco e etanol. Sendo ainda, o segundo maior exportador de milho e o terceiro de algodão. O sistema agrícola brasileiro foi orientado para a aquisição de máquinas e equipamentos, e a estimulação da utilização de insumos modernos. Houve grande investimento em pesquisa agrícola inovadora. Isso permitiu que o país pudesse atender uma ampla demanda de exportação, sem deixar de suprir o mercado interno (Luna; Klein, 2019) [2].

Com a modernização das práticas, e aumento das plantações, tem-se aumentado o uso de fertilizantes, que podem gerar poluição no solo e nos recursos hídricos. Para manter a produção e diminuir o uso de fertilizantes no solo, podem-se utilizar técnicas de simulação baseadas em softwares. Estas podem prever o comportamento dos ciclos de crescimento e colheita dos plantios, e o movimento dos recursos hídricos no solo, que carregam os insumos agrícolas. Com esse recurso, é possível criar soluções para a poluição dos recursos hídricos e o transporte de contaminantes, bem como, entender o consumo hídrico da vegetação.

A acidificação e a contaminação dos recursos hídricos por amoníaco são atualmente reconhecidas como graves problemas ambientais (Longhini et al., 2024; Mazur et al., 2016; Rodhe, 1989) [3],[4],[5]. Em particular, já foi observada concentrações de nitrato amoniacal em água de rio, em desconformidade com a classe 02, que é definida para recursos hídricos superficiais com águas doces, com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ (por cento por mil) destinados ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional (CONAMA, 2005; Gomes; Barizon, 2014) [6],[7]. Ressalta-se que a poluição de águas superficiais e subterrâneas causadas pela agricultura é um problema mundial (Sandu et al., 2022; Zhang et al., 2017) [8],[9], mas essa poluição por amônia também é observada em águas salinas (Asih et al., 2022) [10].

Dentre os objetivos para o desenvolvimento sustentável, da Organização das Nações Unidas, o número 6, “Água potável e saneamento”, busca a disponibilização igualitária de água limpa e saneamento básico entre todas as populações do planeta. De modo a atender esse objetivo, até 2030, será necessário investimento na promoção da manutenção e restauração da qualidade da água (ONU, 2015) [11].

Segundo a ONU (2024) [12], atualmente, 2,4 bilhões de pessoas vivem em países com estresse hídrico, fato agravado pela poluição dos recursos hídricos, sendo que comunidades em todo o mundo estão buscando maneiras de gerenciar a água de forma mais sustentável e

encontrar novas fontes, em um contexto de mudanças climáticas que aumentam a incidência da seca.

## 2. Revisão Bibliográfica

Dentre os diversos softwares que podem ser utilizados na simulação da poluição de recursos hídricos, pode-se citar o MOHID *Modelling System*, o qual é um sistema modular integrado de última geração, composto por uma série de modelos que simulam corpos d'água superficiais, córregos e bacias hidrográficas. O desenvolvimento do código do MOHID segue uma metodologia que melhora sua robustez em relação a erros de programação. MOHID é escrito em ANSI FORTRAN 95, aproveitando todos os seus novos recursos, incluindo a capacidade de produzir código orientado a objetos, embora não seja uma linguagem orientada a objetos. Inclui recursos orientados a objetos. Isto resulta em uma série de modelos orientados a objetos para simular o ciclo da água que integra diversas escalas e processos diferentes (Chambel-Leitão et al., 2007) [13].

A plataforma MOHID tem sido desenvolvida para aplicações oceânicas e hidrológicas desde 1985. Sendo possível fazer simulações hidrodinâmicas e de transporte no oceano pelo MOHID Water e hidrológicas no continente pelo MOHID Land. A plataforma é oferecida como um código de programação aberto e livre, sendo produzida na MARETEC no Instituto Superior da Universidade de Lisboa. Atualmente, o código de programação do MOHID é vendido comercialmente pela empresa Bentley® através da interface OpenFlows® Flood®. Uma das interfaces da plataforma MOHID foi desenvolvida pela Bentley® sendo denominada OpenFlows Flood®. O sistema OpenFlows Flood® é um software comercial que consiste em uma interface que permite: (i) elaborar um modelo com facilidade usando os códigos da plataforma MOHID; (ii) rodar as simulações e; (iii) visualizar os resultados obtidos.

O modelo MOHID Land simula o desenvolvimento das culturas e o crescimento da biomassa, que pode potencialmente ser utilizada para estimar as taxas de lotação no ecossistema e prevenir a degradação do solo (Simionesei et al., 2018) [14].

Outro software comumente utilizado na simulação de cenários envolvendo poluição agrícola é o *Soil & Water Assessment Tool* (SWAT), o qual consiste em um modelo para bacias hidrográficas. Este software requer informações específicas sobre clima, propriedades do solo, topografia, vegetação e práticas de manejo da terra na bacia para simular diretamente processos físicos associados ao movimento da água, movimento de sedimentos, crescimento de culturas, ciclagem de nutrientes, entre outros. No SWAT, uma bacia é dividida em sub-bacias usando informações topográficas. As sub-bacias, por sua vez, são subdivididas em unidades de resposta hidrológica, que representam uma combinação única de uso da terra, tipo de solo e inclinação (Alemayehu et al., 2017; Neitsch et al., 2011) [15],[16].

O SWAT incorpora características de vários outros com melhorias, tais como: a) cálculos simultâneos em diversas sub-bacias para prever a produção de água da bacia; b) um componente de água subterrânea ou fluxo de retorno; c) um componente de armazenamento de reservatório para calcular o efeito de lagoas agrícolas e reservatórios na produção de água e sedimentos; d) um modelo de simulação meteorológica incorporando dados de precipitação, radiação solar e temperatura para facilitar simulações de longo prazo e fornecer condições meteorológicas representativas temporal e espacialmente; e) melhora o método de previsão dos picos de escoamento; f) o modelo de crescimento da cultura para contabilizar a variação anual no crescimento; g) um componente simples de roteamento de inundação; h) componentes de transporte de sedimentos para simular o movimento de sedimentos através de lagoas,

reservatórios, riachos e vales; i) o cálculo das perdas de transmissão; j) o componente de destino de um pesticida; h) tecnologia SCS, popularmente conhecida como *Curve Number*, opcional para estimar taxas de escoamento de pico e; c) equações de produção de sedimentos recentemente desenvolvidas. Essas modificações ampliaram a capacidade do modelo de lidar com uma ampla variedade de problemas de gestão de bacias hidrográficas (Neitsch et al., 2011) [16].

Cabe mencionar ainda que o SWAT apresenta um banco de dados de cobertura do solo e crescimento de plantas, no qual, contém informações necessárias ao para simular o plantio de uma cobertura de solo específica. Esses parâmetros no banco de dados definem o crescimento das plantas em condições ideais e quantificam o impacto de algumas tensões no desenvolvimento da cultura (Neitsch, 2012) [17]. O SWAT já foi utilizado para simular plantações em várias regiões, como Gana (Worqlul et al., 2018) [18], Etiópia (Wabela et al., 2022) [19] e Quênia (Alemayehu et al., 2017) [15].

Para fazer a integração entre o MOHID e o SWAT, o código fonte do SWAT foi parcialmente modificado, nomeadamente nas entradas e saídas do modelo, utilizando o código e a filosofia de programação do MOHID. Estas alterações mantiveram a integridade do modelo original, garantindo assim que os resultados permaneçam iguais aos da versão original do SWAT. Isso permitiu a saída dos resultados no formato MOHID, possibilitando o processamento imediato com as ferramentas de visualização e análise de dados do MOHID (Chambel-Leitão et al., 2007) [13].

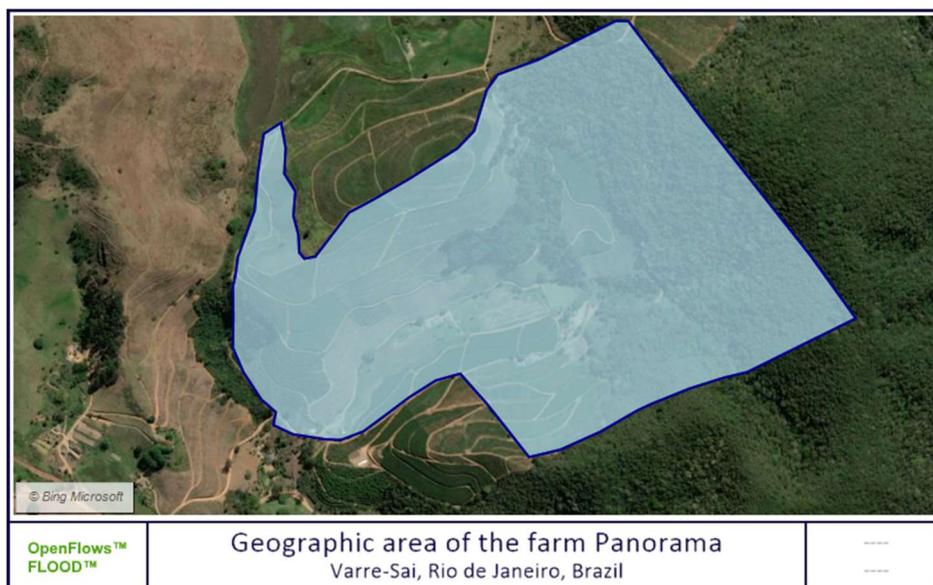
Diante do exposto, a área de estudo é o Sítio Panorama, localizado no município de Varre Sai, no Noroeste do Rio de Janeiro, Brasil, foi utilizado como referência para este estudo, por se tratar de uma propriedade que apresenta muitos dados bibliográficos disponíveis em função da realização de estudos e pesquisas já desenvolvidos (Zanetti, 2007) [20]. A propriedade apresenta cultura de milho, mesmo não sendo esta sua plantação majoritária (Maciel et al., 2012) [21]. Entre as culturas disponíveis na região, o milho é o que apresenta mais estudos disponíveis no MOHID Land (Ramos et al., 2018)[22], por isso, esta cultura foi utilizada neste trabalho. Para estimar a quantidade de grãos na colheita de milho, é possível adotar a mesma proporção usada por Song et al. (2017) [23], isto é, a cada 1 unidade de biomassa, tem-se 0,8 unidades de grãos. Para efeito de cálculo, pode-se considerar que 20% da quantidade de biomassa seria considerada produtividade do plantio, a qual seria vendida para abastecimento interno de alimentos.

### 3. Objetivos

O objetivo deste trabalho é entender como as tecnologias de modelagem podem auxiliar engenheiros na gestão de contaminantes, a partir da análise de um modelo agrícola de plantação de milho formulado na Plataforma MOHID Land no município de Varre-Sai, Rio de Janeiro, Brasil.

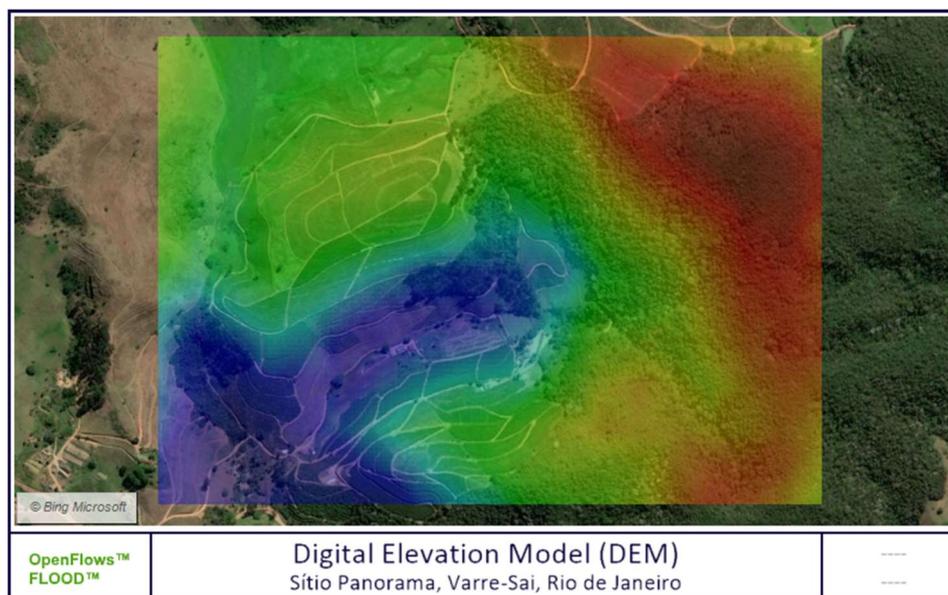
### 4. Procedimentos Metodológicos

Inicialmente, para baixar o limite do sítio Panorama no município de Varre Sai utilizou-se o site do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural- SICAR (< <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index> >), conforme Figura 1.



**Figura 1:** Área Geográfica do sítio Panorama em Varre-Sai, Rio de Janeiro, Brasil. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

Em seguida, para baixar pontos topográficos acessou-se o site TOPODATA (<<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>). Selecionou-se os arquivos do tipo “xyz” (longitude, latitude, elevação), os quais estão disponíveis no formato “ASCII”, em extensão “.txt”, e baixou-se o arquivo referente ao sítio de estudo, cuja localização é indicada pela numeração “20s42”. Com isso, foi possível desenvolver no MOHID, o Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno, em inglês *Digital Elevation Model (DEM)*, conforme Figura 2.



**Figura 2:** Modelo Digital de Elevação do sítio Panorama, Varre-Sai, Rio de Janeiro. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

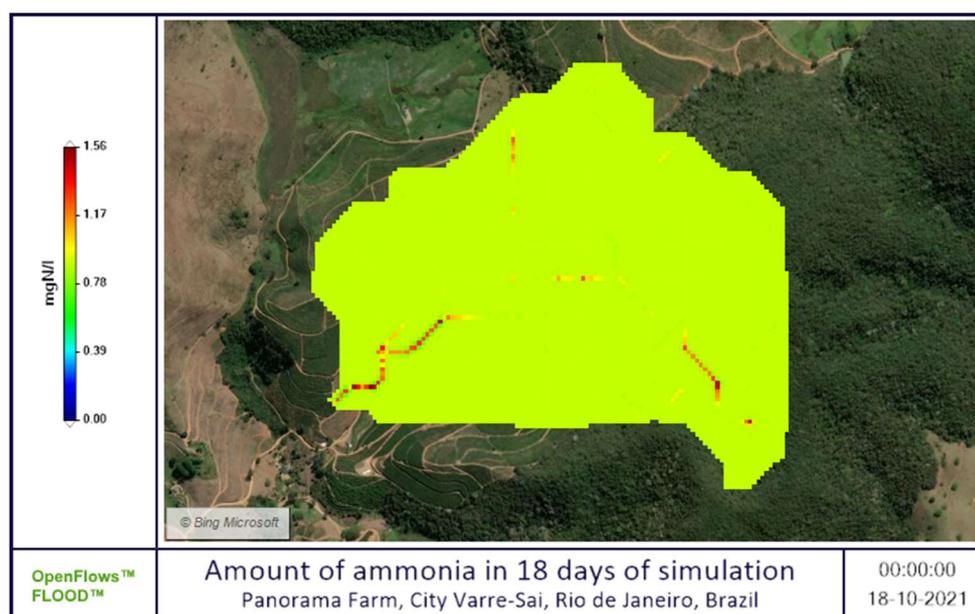
Já nos dados de solo utilizados no MOHID Land para representar o sítio de Varre Sai, no Rio de Janeiro, foram adotadas 8 camadas de solo, de 12cm, 12cm, 27cm, 30cm, 33cm, 18cm, 115cm e 65cm. Os 5 (cinco) primeiros solos seguiram as porcentagens e profundidades definidos por Mendes *et al.* (2014) [24], a primeira camada tinha 57,9% de argila, 10,6% de

silte, 31,5% de argila e densidade de 1,28g/cm<sup>3</sup>, a segunda tinha 57,9% de argila, 12,9% de silte, 29,2% de argila, a terceira camada tinha 27,1% de areia, 10,9% de silte, 62% de argila e 1,22 g/cm<sup>3</sup> de densidade, a quarta camada tinha 25,3% de areia, 10,9% de silte, 63,8% de argila, e 1,26g/cm<sup>3</sup> de densidade, a quinta camada tinha 24,4% de areia, 9,9% de silte, e 65,7% de argila. Os valores em porcentagem da composição do solo foram utilizados para preencher a tabela do Rosetta (<https://www.handbook60.org/rosetta/>), onde foram obtidos os dados necessários para preenchimento da característica do solo no MOHID. Para preencher o coeficiente de saturação do solo (Ksat), foi necessário passar para a unidade metro por segundo (m/s) pois o Rosetta fornece o resultado na unidade centímetro por dia (cm/dia). Mendes *et al.* (2014) consideram mais três camadas de solo com características similares, entretanto, não definem suas medidas de composição em porcentagem. Nestas três últimas camadas, 6 até 8, adotou-se as mesmas características, e seu valor foi baseado no solo que já vem preenchido no modelo do MOHID Land.

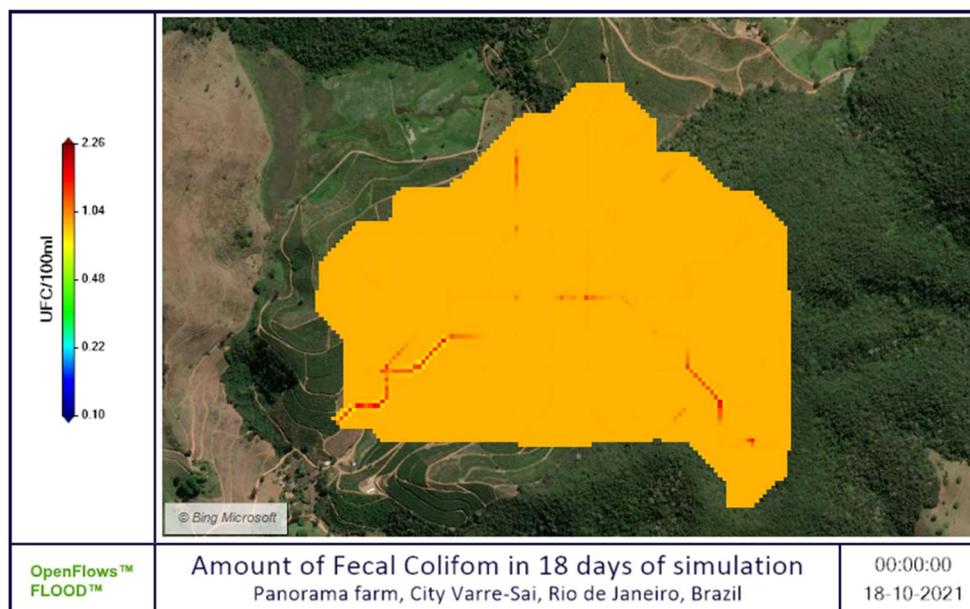
Com objetivo experimental, e devido a escolha do mês de outubro, que é ensolarado, adotou-se uma radiação de 1000W/m<sup>2</sup>. O tempo simulado foi de 19 (dezenove) dias, sendo que nos dias 01, 06, 10, 14 e 17 foram adotadas uma chuva de 3 milímetros (mm) a cada 15 minutos até completar 8 horas, após, ocorre um intervalo sem chuva, ao fim de 24 horas, ocorre mais 3 mm de chuva. Nos dias 02, 04, 07, 11, 15 e 18 não choveu. Nos dias 03, 08, 12, 16 e 19 adotou-se uma chuva de 3 mm no dia. O objetivo era variar as condições pluviométricas para verificar os resultados simulados.

## 5. Aplicações e/ou Resultados

A aplicação do resultado da simulação feita visa o estudo do transporte de contaminantes nos corpos hídricos. Isto porque ela obtém dados estimados do percurso de substâncias encontradas na agricultura, que podem ser de risco aos corpos hídricos, quando lixiviados para rios e/ou galerias subterrâneas próximas, entre eles, pode-se citar a Amônia, Figura 3, e os Coliformes termotolerantes (subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas), Figura 4. Sendo que a amônia é provavelmente resultado do uso de adubos nitrogenados aplicados na área enquanto os coliformes termotolerantes são originados a partir de fezes homeotérmicos também utilizada na adubação do solo.



**Figura 3:** Fluxo de água com a medição de miligrama de Nitrogênio amoniacal por litro de água. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).



**Figura 4:** Fluxo de água com a medição de Unidade de Coliformes Fecais por 100ml de água. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

## 6. Análises dos Resultados ou Discussões

O MOHID Land tem boa sensibilidade às condições climáticas, sendo possível fazer simulações com períodos variáveis de chuva, entretanto, para a simulação de semanas e meses, devido a quantidade de dados processados, de solo, radiação, vento, chuva, fertilizantes, pesticidas, entre outros, usados como entrada, existe uma demora considerável na análise dos resultados, e/ou maior possibilidade de erros na programação. Muitos dados são encadeados, e dependentes entre si, o que faz necessário um estudo aprofundado das características da plantação, do solo da região e das características dos próprios insumos agrícolas adotados para preenchimento de lacunas no programa.

De acordo com o CONAMA (2005) [6], não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros para águas de Classe 02, o que atende a unidade encontrada na Figura 3. Em complemento, na Figura 4 tem-se um valor abaixo de 3,7mg de Nitrogênio amoniacal por litro, o que é permitido para águas doces de Classe 01, com PH menor ou igual a 7,5.

## 7. Conclusão ou Considerações Finais

Considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, pois pôde-se simular durante 19 (dezenove) dias uma plantação de milho no sítio Panorama no município de Varre Sai, no Rio de Janeiro, e com 18 (dezoito) dias, já foi possível visualizar o percurso de nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes no programa. Esta visualização já permite tirar conclusões acerca da quantidade permitida pelo CONAMA (2005) [6] destes componentes.

Com essa pesquisa, pôde-se concluir que a plataforma MOHID Land pode ser utilizada para o estudo do transporte de contaminantes nos corpos hídricos, sendo uma ferramenta de gestão

e auxílio a tomada de decisão para engenheiros e entidades públicas que buscam adotar medidas de controle da poluição ao meio ambiente.

Espera-se que este trabalho contribua no entendimento das funcionalidades do MOHID Land, para que, aliado a boa técnica de modelagem, auxilie a previsão da contaminação hídrica, dê suporte ao planejamento, torne possível garantir a segurança pública e crie um ambiente que minimize os efeitos nocivos da agricultura aos recursos hídricos.

Futuramente, pode-se analisar outros componentes agrícolas que são utilizados nas plantações e sua concentração nos recursos hídricos. Em complemento, sugere-se acompanhar todo o crescimento de uma plantação no MOHID Land, visando, com a simulação de um maior período de plantação, garantir uma colheita mais sustentável, aquela que, mantenha a produção e agrida o mínimo possível o meio ambiente.

## Referências

- [1] JIANG, F. Reallocating crop rotation patterns improves water quality and maintains crop yield. **Agricultural Systems**, v. 187, p. 103015, 1 fev. 2021.
- [2] LUNA, F. V.; KLEIN, H. S. Transformações da agricultura brasileira desde 1950. **História Econômica & História de Empresas**, v. 22, n. 2, 19 dez. 2019.
- [3] LONGHINI, V. Z. et al. Mathematical models for adjustments in the quantification of ammonia volatilization from urea fertilizer applied on tropical pastures. **Ciência Rural**, v. 54, n. 5, p. e20230230, 2024.
- [4] MAZUR, R. et al. A *Lymnaea stagnalis* Embryo Test for Toxicity Bioindication of Acidification and Ammonia Pollution in Water. **Water**, v. 8, n. 7, p. 295, jul. 2016.
- [5] RODHE, H. Acidification in a Global Perspective. **Ambio**, v. 18, n. 3, p. 155–160, 1989.
- [6] CONAMA. 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, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.** Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- [7] GOMES, M. A. F.; BARIZON, R. R. M. Panorama da Contaminação Ambiental por Agrotóxicos e Nitrato de origem Agrícola no Brasil: cenário 1992/2011. 2014.
- [8] SANDU, M. et al. Non-ionized ammonia pollution level of the small rivers water in the Central Development Region of the Republic of Moldova. **Present Environment and Sustainable Development**, p. 251–259, 2022.
- [9] ZHANG, W. et al. Influence of rapid rural-urban population migration on riverine nitrogen pollution: perspective from ammonia-nitrogen. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 35, p. 27201–27214, 1 dez. 2017.

- [10] ASIH, E. N. N. et al. Concentration of Ammonia Pollution in Madura Traditional Salt Production Water. **Omni-Akuatika**, v. 18, n. S1, p. 53–58, 18 abr. 2022.
- [11] ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 19 fev. 2024.
- [12] ONU. **Organização das Nações Unidas. Crise hídrica global lança países em busca por novas fontes de água | ONU News**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/01/1826487>>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- [13] CHAMBEL-LEITÃO, P. et al. Integration of MOHID Model and Tools with SWAT Model. **Proceedings of The IEEE - PIEEE**, 1 jan. 2007.
- [14] SIMIONESEI, L. et al. Modeling Soil Water Dynamics and Pasture Growth in the Montado Ecosystem Using MOHID Land. **Water**, v. 10, n. 4, p. 489, abr. 2018.
- [15] ALEMAYEHU, T. et al. An improved SWAT vegetation growth module and its evaluation for four tropical ecosystems. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 9, p. 4449–4467, 7 set. 2017.
- [16] NEITSCH, S. L. et al. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009**. [s.l.] Texas Water Resources Institute, set. 2011. Disponível em: <<https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/128050>>. Acesso em: 27 jan. 2022.
- [17] NEITSCH, S. Appendix A: Databases. 2012. Disponível em: <[https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/1969.1/128050/1/TR-406\\_Soil%20and%20Water%20Assessment%20Tool%20Theoretical%20Documentation.pdf](https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/1969.1/128050/1/TR-406_Soil%20and%20Water%20Assessment%20Tool%20Theoretical%20Documentation.pdf)>. Acesso em: 27 jan. 2022.
- [18] WORQLUL, A. W. et al. Multi-Dimensional Evaluation of Simulated Small-Scale Irrigation Intervention: A Case Study in Dimbasinia Watershed, Ghana. **Sustainability**, v. 10, n. 5, p. 1531, maio 2018.
- [19] WABELA, K. et al. Optimization of Irrigation Scheduling for Improved Irrigation Water Management in Bilate Watershed, Rift Valley, Ethiopia. **Water**, v. 14, n. 23, p. 3960, jan. 2022.
- [20] ZANETTI, S. S. **MODELAGEM HIDROLÓGICA EM MICROBACIA HIDROGRÁFICA DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**. 2007.
- [21] MACIEL, C. P. et al. Diagnóstico multidisciplinar de um ambiente de trabalho rural em Varre-Sai - RJ, como subsídio à construção coletiva de soluções. **Revista Vértices**, v. 14, n. 1, p. 7–18, 23 mar. 2012.
- [22] RAMOS, T. B. et al. Assessing the Impact of LAI Data Assimilation on Simulations of the Soil Water Balance and Maize Development Using MOHID-Land. **Water**, v. 10, n. 10, p. 1367, out. 2018.
- [23] SONG, J. et al. Integrated Economic and Environmental Assessment of Cellulosic Biofuel Production in an Agricultural Watershed. **BioEnergy Research**, v. 10, n. 2, p. 509–524, 1 jun. 2017.

[24] MENDES, M. et al. **Caracterização detalhada de um perfil de Latossolo Amarelo sob cafezal (Coffea arabica L.) no município de Varre-Sai - Rio de Janeiro - Brasil.** [s.l: s.n.].