

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

GLÓRIA MARIA MARINHO¹, BARBARA CHAVES AGUIAR BARBOSA², KELLY DE ARAÚJO RODRIGUES PESSOA¹, RENATA BARROS SILVEIRA BRASIL¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

<gloriamarinho@gmail.com>, <barbara.barbosa@ifma.edu.br>, <kellyarpessoa@gmail.com>, <renatasilveira@ifce.edu.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v18i0.3427

Resumo. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade de remoção de matéria orgânica e de cianeto pelo fungo filamentoso *Aspergillus niger* AN 400 em reatores operados em bateladas. O experimento foi conduzido em duas etapas: I - teste de toxicidade; etapa II - operação com reatores com biomassa dispersa e variação de condições operacionais. Durante a segunda etapa foram realizadas as análises de demanda química de oxigênio - DQO, potencial hidrogeniônico e cianeto. Com os resultados, observou-se que a espécie fúngica A. na 400 foi capaz de crescer em todas as concentrações de manipueira no teste de toxicidade. Na etapa II, a melhor remoção de DQO foi de 91% nos reatores RFN, que continham suplementação de nitrogênio. Já para remoção de cianeto, o maior percentual foi obtido nos RFS (96,75%), em 168 h de operação, reatores com adição de sacarose. Os resultados indicaram que *Aspergillus niger* AN 400 conseguiu crescer em todas as concentrações de manipueira e que a concentração de cianeto do efluente final está de acordo com os limites requeridos pela legislação brasileira para lançamento, 1 mg.L⁻¹.

Palavras-chave: *aspergillus niger*; cianeto; manipueira.

MYCOREMEDIATION OF EFFLUENT FROM CASSAVA PROCESSING IN DISPERSED BATCH

Abstract. This study aimed to evaluate the ability to remove organic matter and cyanide by the filamentous fungus *Aspergillus niger* AN 400 in reactors operated in batches. The experiment was conducted in two stages: I - toxicity test; stage II - operation with reactors with dispersed biomass and variation of operational conditions. During the second stage, analyzes of chemical oxygen demand - COD, hydrogen ion potential and cyanide were carried out. With the results, it was observed that the fungal species *Aspergillus niger* AN 400 was able to grow in all manipueira concentrations tested in the toxicity test. In stage II, the best COD removal was 91% in the RFN reactors, which contained nitrogen supplementation. As for cyanide removal, the highest percentage was obtained in RFS (96.75%), in 168 hours of operation, reactors with addition of sucrose. The results indicated that *Aspergillus niger* AN 400 was able to grow in all manipueira concentrations and that the cyanide concentration of the final effluent is in accordance with the limits required by Brazilian legislation for release, 1 mg.L⁻¹.

Keywords: *aspergillus niger*; cyanide; manipueira.

1 INTRODUÇÃO

A Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta perene, arbustiva, pertencente à família das Eu-

forbiáceas. Trata-se de um alimento de primeira necessidade na maior parte das regiões tropicais (CEPLAC, 2011), e tem sua produtividade elevada no Brasil, chegando a 18.205.120 toneladas produzidas em



MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

2020, conforme dados disponibilizados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO¹.

Um alimento com tanta representatividade em termos de produção, geração de emprego e renda, também possui sua utilização atrelada à geração de um resíduo com potencial poluidor elevado, visto que durante seu processamento ocorre a geração da manipueira, resíduo líquido caracterizado por elevada carga orgânica, bem como a presença de cianetos (Amorim *et al.*, 2021).

Além de possuir elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), altas concentrações de ácido cianídrico, potássio, magnésio, cálcio e fósforo (Camili, 2007), a manipueira, seja oriunda de casas de farinha ou da produção de fécula, apresenta ainda toxicidade elevada, atribuída aos glicosídeos cianogênicos, destacando-se entre eles a linamarina e lotaustralina, que sofrem hidrólise causada pela enzima *linamarase*, originando o ácido cianídrico (HCN) (Lima, 2010).

Diante do exposto, há necessidade de reduzir o potencial poluidor da manipueira, removendo sua carga orgânica elevada, bem como o grau de toxicidade, os quais podem comprometer a microbiota do solo e os ecossistemas aquáticos, no caso de descarte inadequado, minimizando, desta forma, as consequências do seu descarte no meio ambiente. Nesse sentido, já existem trabalhos reportados sobre a utilização da biodegradação da manipueira. Uma vertente crescente é a micorremediação, a qual possui vantagens quando comparada a utilização de bactérias, uma vez que os fungos são de compostores primários, suportam condições desfavoráveis de crescimento e possuem melhores respostas quando expostos a substâncias consideradas recalcentes para bactérias (TORTORA *et al.*, 2012).

Pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar o potencial de espécies fúngicas em degradar a carga poluente de efluentes oriundos do processamento da mandioca. Ademakinwa, Agunbiade e Fagbohun (2021) utilizaram a enzima livre e imobilizada rodanês da espécie fúngica *A. pullulans* para degradar o cianeto presente no efluente de uma usina de mandioca localizada na Nigéria. A concentração inicial de cianeto presente no efluente estudado, pelos autores, foi de 102 ± 12 mg.L⁻¹ e, com 6 h de contato, o percentual de remoção de cianeto foi de 75%, imobilizado com glutaraldeído, em batelada agitada a 150 rpm. Enerijiofi e Chukwuma (2018) realizaram um estudo também na Nigéria com efluente de mandioca. Os autores utilizaram espécies autóctones para avaliar sua capacidade de degradação de cianeto. *Aspergillus niger* e *Pseudomonas sp.* demonstraram maior capacidade de degradação e foram

indicadas pelos autores para continuação de estudos em condições mais favoráveis de crescimento microbiano.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo verificar o potencial da espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400 em reduzir a carga orgânica poluidora e o teor de cianeto da manipueira em bateladas com biomassa dispersa.

2 METODOLOGIA

2.1 Coleta da mandioca e extração da manipueira

A mandioca utilizada para a extração da manipueira foi coletada no Centro de Ensino e Treinamento em Extensão (CETREX) que fica localizado em Caucaia-CE-BR, onde se mantém o cultivo de algumas variedades da espécie *Manihot esculenta*.

Inicialmente, a mandioca foi coletada e lavada para a retirada de terra. Após pesagem, foi ralada, prensada e coada, a fim de separar o bagaço da manipueira (Figura 1). Foi obtido para 1 kg de mandioca processada, aproximadamente, 500 mL de manipueira.

Figura 1: Etapas de processamento da mandioca.



Fonte: Autores (2024).

2.2 Caracterização da manipueira

Para caracterização do líquido de manipueira, foram realizadas as análises de DQO (filtrada), pH, amônia, nitrito, nitrito e sólidos totais, determinadas conforme APHA (2005); açúcar redutor, baseado no método fenol-sulfúrico, de acordo com DuBois *et al.* (1956); e o teor de cianeto conforme Neves *et al.* (2014) adaptado de Epstein (1947).

Posteriormente foram divididas as fases de prosseguimento do estudo, conforme está apresentado nas etapas que se seguem.

Etapa I- Teste de toxicidade

Para determinar a toxicidade da manipueira com a espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400, utilizou-se placas de Petri esterilizadas que receberam 10 mL de

¹ Dados disponíveis em: <https://www.fao.org/faostat/en/data/QCL>

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

meio PDA (ágar batata dextrose), diluído em manipueira 100% concentrada – placa controle – e ainda em diferentes concentrações de manipueira em água destilada nas concentrações de 5%, 10%, 25%, 50%, 70% e 100%.

Foi inoculada uma suspensão de esporos cedida pelo Laboratório de Tecnologia Ambiental -LATAM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, em cada uma das placas de Petri com concentração final de 2×10^6 esporos.mL⁻¹, com exceção das placas controle, sem adição de esporos fúngicos.

Os testes foram realizados em triplicata, em estufa microbiológica, da marca Biopar, a $\pm 28^\circ\text{C}$, durante período de crescimento de 12 dias, para verificação da esporulação na superfície das placas. Os meios foram previamente esterilizados a 121°C , sob pressão entre 1 e 1,5 kgf.cm², durante 20 minutos, em autoclave (marca Prismatec).

Aclimatação do microrganismo à manipueira

Com intuito de aclimatar os microrganismos ao efluente a ser estudado, foi realizado um procedimento de adaptação dos fungos à manipueira, que consistiu na utilização de erlenmeyers de 250 mL contendo esporos de *A. niger* AN 400 na concentração de 2×10^6 esporos.mL⁻¹, e 50 mL de manipueira, introduzida na forma concentrada (100% v/v) e na forma diluída: 0,5%, 1%, 5%, 20%, 30%, 50% e 80% (v/v).

Para verificar uma possível interferência por microrganismos presentes na manipueira extraída, foram montados dois grupos de reatores: um com meio não esterilizado (NE) e outro contendo meio esterilizado (E) (Figura 2). O meio do grupo (E) foi previamente esterilizado a 121°C , sob pressão entre 1 e 1,5 Kgf.cm², durante 20 minutos, em autoclave. A vantagem de esterilizar seria a de evitar possíveis competidores ao fungo *Aspergillus niger*.

Em ambos os grupos, o meio foi acrescido de 10% em peso de sacarose, concentração esta baseada no trabalho de Leonel e Cerada (1995) que utilizaram manipueira e *A. niger* para a produção de ácido cítrico. Os reatores foram submetidos à agitação de 120 rpm, em mesa agitadora orbital da marca Cientec, sob temperatura de $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, durante 14 dias. Além da sacarose, todos os reatores receberam adição de uréia, peptona e sulfato de amônia na concentração de 5 g.L⁻¹ cada um, e ainda de 1 mL.L⁻¹ de solução de micronutrientes Vishniac ($10,0 \text{ g.L}^{-1}$ EDTA, $4,4 \text{ g.L}^{-1}$ ZnSO₄. 7H₂O, 1 g.L^{-1} MnCl₂. 4H₂O, $0,32 \text{ g.L}^{-1}$ CoCl₂. 6H₂O, $0,22 \text{ g.L}^{-1}$ (NH₄)₆Mo₇O₂₄. 4H₂O, $1,47 \text{ g.L}^{-1}$ CaCl₂.

2H₂O e 1 g.L⁻¹ FeSO₄. 7H₂O) de acordo com (Sampaio, 2005).

2.2.1 Produção da suspensão de esporos

Depois que os microrganismos cresceram na etapa de adaptação à manipueira, eles foram removidos dos erlenmeyers em que houve maior esporulação e posteriormente foram semeados em placas de Petri.

A semeadura ocorreu em placas contendo meio ágar-manipueira, o qual foi obtido dissolvendo-se meio PDA em manipueira, diluída a 80% v/v, em água, conforme Leonel e Cerada (1995). O procedimento nas placas ocorreu com auxílio de alça de platina, e estas foram levadas para estufa microbiológica (marca Biopar), onde permaneceram a $30^\circ\text{C} \pm 2$, por 14 dias, para crescimento das colônias fúngicas. Após este período, os esporos foram removidos, com 5 mL de solução Tween, a fim de facilitar o desprendimento dos mesmos, com uso da alça de Drigalski. Posteriormente utilizou-se a pipeta automática para que a suspensão de esporos fosse então transferida para frasco âmbar. Finalizada a contagem dos esporos, manteve-se o recipiente sob refrigeração, a 4°C . O procedimento de contagem de esporos foi baseado em Sampaio (2005).

2.2.2 Etapa II- Reatores em bateladas

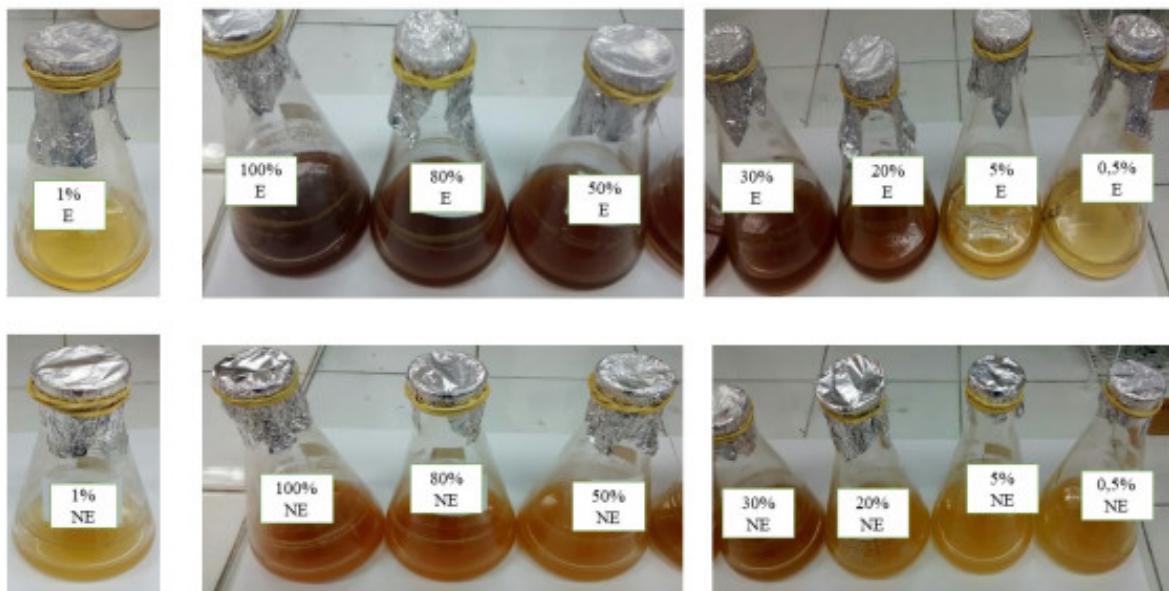
Nesta etapa do experimento foram utilizados 50 reatores (erlenmeyers) de 250 mL de volume total e 150 mL de volume útil, os quais foram separados em função da fonte de nitrogênio, da adição de sacarose e inóculo, constituindo assim 5 grupos diferentes de reatores, sendo cada grupo constituído por 10 reatores (duplicata). Em cada grupo, os reatores foram operados em função dos tempos reacionais (TR) de 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 168 h, de modo que ao atingirem o tempo reacional definido, cada reator era removido da batelada.

Todos os reatores receberam vedação utilizando tampas produzidas artesanalmente com papel alumínio e lacradas com elástico, a fim de minimizar contaminação, sendo previamente esterilizados em autoclave. O experimento foi conduzido em mesa agitadora, sob agitação de 120 rpm e temperatura de $30^\circ\text{C} \pm 2$, ao longo de 7 dias.

A concentração de *A. niger* AN 400 utilizada foi de 2×10^6 esporos. mL⁻¹. Utilizou-se como fontes de nitrogênio: uréia, peptona e sulfato de amônia na proporção de 5 g.L⁻¹ cada, mesmas usadas por Pastore, Hasan e Zempulski (2011). A concentração de sacarose acrescida, foi de 100 g.L⁻¹, mesma aplicada por Leonel e Cerada (1995) e por Pastore, Hasan e Zempulski

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

Figura 2: Produção de inóculo adaptado a partir de cultivo em maniqueira, em meio não esterilizado (NE) e esterilizado (E), nas concentrações de 0,5%, 1%, 5%, 20%, 30%, 50%, 80% e 100% v/v.



Fonte: Autores (2024).

(2011), enquanto a solução de Vishiniac foi empregada na concentração de 1 mL.L^{-1} .

A diluição da maniqueira utilizada nos reatores foi feita com base na melhor resposta de esporulação observada no ensaio de adaptação. A organização operacional dos reatores está descrita na Tabela 1.

As análises realizadas nesta etapa foram: DQO (filtrada) e pH, executadas de acordo com APHA (2005) e cianeto livre descrito por Neves *et al.* (2014), adaptado de Epstein (1947).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização da maniqueira

Na caracterização da maniqueira realizada 24 h após a prensagem (Tabela 2) foi encontrada elevada concentração de DQO (65.000 mg.L^{-1}) e de açúcar redutor (15.000 mg.L^{-1}). Os valores encontrados podem ser considerados altos, tendo-se como premissa que a DQO de esgotos domésticos, em torno de 400 mg.L^{-1} já indica que o efluente é considerado forte (Metcalf; Eddy; Tchobanoglous, 1991).

O pH da maniqueira foi determinado após 24 horas de prensagem da mandioca, período este padronizado para as demais análises e seu valor médio foi de $6 \pm 0,3$. Segundo Ribeiro *et al.* (2010), o pH inicial da maniqueira, quando determinado no momento da prensagem, situa-se por volta de 6 e, momentos depois, percebe-se

redução desses valores, por volta de 4, com posterior estabilização, devido a atividade microbiana presente na maniqueira.

Os teores de cianeto encontrados na maniqueira do presente estudo foram de $7,75 \text{ mg.L}^{-1}$, superiores ao que a Resolução 430/2011 do CONAMA (Brasil, 2011) recomenda como padrão de lançamento, que é 1 mg.L^{-1} .

As concentrações dos constituintes da maniqueira podem variar devido a fatores como a idade da planta, tempo após a colheita, tipo e ajuste de equipamentos industriais (CEREDA, 2001). Neves *et al.* (2014) observaram que em casos da mesma variedade de mandioca, a composição da maniqueira não pode ser considerada padrão, visto que para cada local de cultivo e época do ano, observa-se que as relações edáficas e climáticas influenciam nas características da maniqueira.

Machado *et al.* (2019) também encontraram valores de DQO e pH próximos ao deste estudo, 67.782 mg.L^{-1} e $4,3$, respectivamente, assim como Cavalcante (2021), que utilizou a maniqueira de uma casa de farinha em São Paulo e observou valor de DQO de $46.8000 \text{ mg.L}^{-1}$ e pH de $4,4$.

As frações nitrogenadas apresentaram também valores elevados: amônia teve concentração de 300 mg.L^{-1} , o nitrato de 60 mg.L^{-1} e o nitrito de 45 mg.L^{-1} .

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

Tabela 1: Organização experimental dos grupos de reatores com biomassa dispersa.

	Fungo	Manipueira	Sacarose 10%	Fontes de Nitrogênio	Solução de Vishiniac
RRC		X			
RRFS	X	X	X		X
RRFSN	X	X	X	X	X
RRF	X	X			X
RRFN	X	X		X	X

RC – Reator Controle; **RFS** - Reator com Fungo e Sacarose; **RFSN** - Reator com Fungo, Sacarose e Fontes de Nitrogênio; **RF** - Reator com Fungo; **RFN** - Reator com Fungo e Adição de Nitrogênio.

Fonte: Autores (2024).

Tabela 2: Caracterização da primeira manipueira extraída da mandioca fornecida pelo CETREX.

UNIDADE	VARIÁVEL	CONCENTRAÇÃO
mg.L^{-1}	Sólidos Totais	7
	DQO	65000
	Amônia	300
	Nitrito	60
	Nitrito	45
	Açúcar Redutor	105000
	Cianeto	7,75
	pH	6

Etapa I - Teste de toxicidade

De acordo com os resultados obtidos do teste de toxicidade verificou-se que o fungo foi capaz de crescer em todas as concentrações de manipueira testadas, as quais variaram de 5% a 100%, indicando assim, que o *A. niger* tolerou a presença da manipueira no meio.

Nas placas contendo apenas meio de cultura PDA, sem manipueira e sem inoculação fúngica (Branco), não houve visualmente nenhum crescimento de fungos (Figura 3), conforme era esperado.

Pode-se observar neste teste de toxicidade, que a espécie fúngica cresceu independentemente da diluição de manipueira utilizada. Certos microrganismos possuem a capacidade de se reproduzirem em substratos contendo cianeto, como foi relatado por Velmurugan *et al.* (2010), que isolaram e identificaram fungos retirados de uma amostra de solo contaminado por chumbo e cianeto e encontrou dentre eles, o fungo *Aspergillus niger*. O teste realizado neste estudo indicou a capacidade do *Aspergillus niger* na 400 crescer na presença da manipueira em diferentes concentrações.

Assim como no presente estudo, Gusmão *et al.* (2018) observaram que as espécies fúngicas foram capazes de crescerem em meio contendo cianeto. Os autores avaliaram a capacidade de fungos filamentosos produzirem enzimas tendo como substrato a manipueira e observaram que as espécies fúngicas foram capazes de

crescer e produzir enzimas pectinase, xilanase, amilase e CMCase, por *A. sp* e *Penicillium sp*.

Diante do crescimento da espécie fúngica no substrato de manipueira, foi possível dar prosseguimento à pesquisa.

Aclimatação do microrganismo à manipueira

Após um tempo de reação de 14 dias, nos reatores em que a manipueira não foi esterilizada (NE), não houve crescimento de biomassa filamentosa, porém observou-se a formação de pequenas esferas esbranquiçadas com características morfológicas leveduriformes (Figura 4).

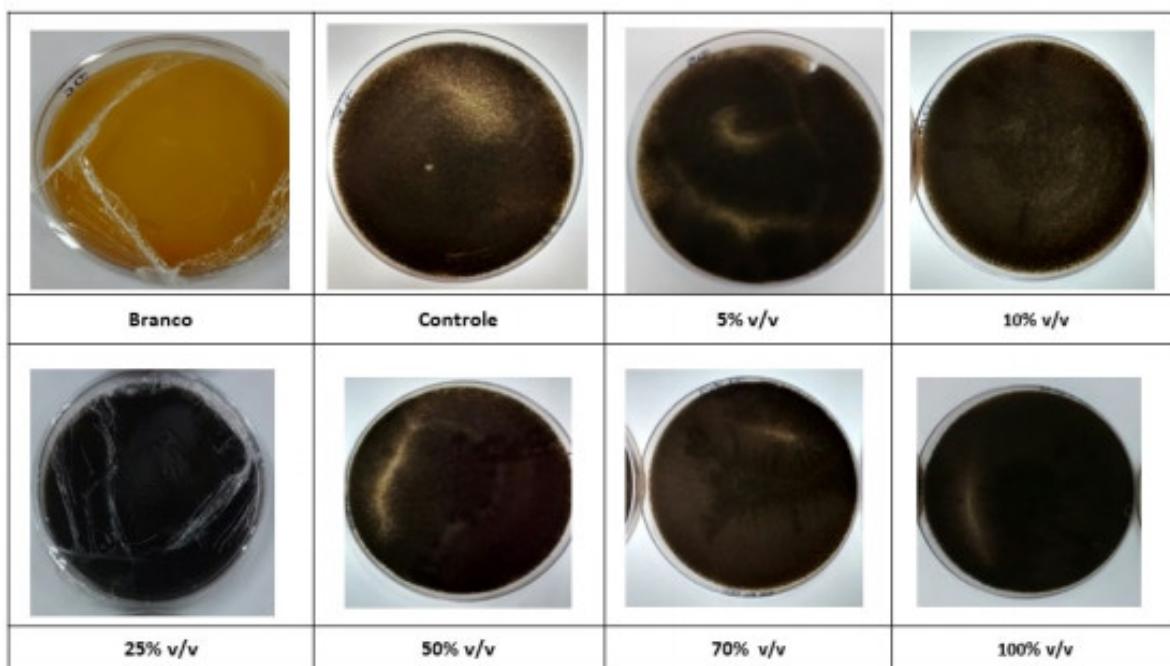
Nos reatores que receberam a manipueira esterilizada (E), verificou-se crescimento de biomassa filamentosa, sem o crescimento de leveduras, que com o processo de esterilização foram provavelmente eliminadas do meio. Segundo Grimm *et al.* (2005), os fungos filamentosos como *A. niger* apresentam morfologias de crescimento diferentes em culturas submersas, variando de formas compactas (pellets) a formas filamentosas, que podem afetar de maneira significativa o desempenho das células. O crescimento de biomassa filamentosa foi mais intenso, com maior esporulação, nos reatores contendo manipueira a 50% (v/v) (Figura 5). Os esporos presentes nestes reatores foram os selecionados para a produção de esporos e para operação dos reatores com biomassa dispersa.

Etapa II - Operação em reatores em bateladas com biomassa fúngica dispersa

Nesta etapa houve a operação dos 50 reatores com biomassa dispersa, os quais foram inoculados com os esporos aclimatados na etapa anterior. A concentração de manipueira usada foi de 50% v/v, em todos os reatores, pois foi nela que a espécie fúngica estudada teve maior crescimento e esporulação.

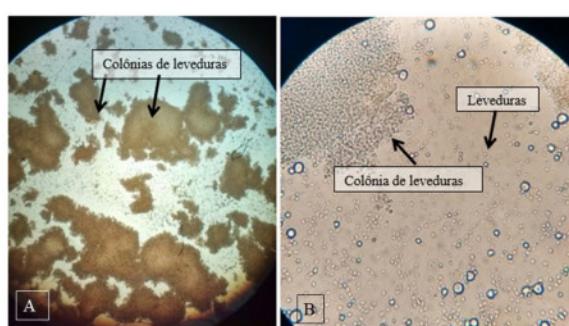
MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

Figura 3: Teste de toxicidade realizado com diluições de manjueira em placas de Petri contendo meio PDA com 288 h.



Fonte: Autores (2024).

Figura 4: Imagens de leveduras presentes nos reatores não esterilizados (NE) após tempo reacional de 14 dias, fotografadas a partir de microscópio óptico com aumento de 100 X (a) e de 400 X (b).



Fonte: Autores (2024).

Figura 5: Imagens de biomassa filamentosa de *Aspergillus niger* AN 400 presentes nos reatores esterilizados a 100% (v/v) fotografadas a partir de microscópio óptico com aumento de 100 X (A) e de 400 X (B).



Fonte: Autores (2024).

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

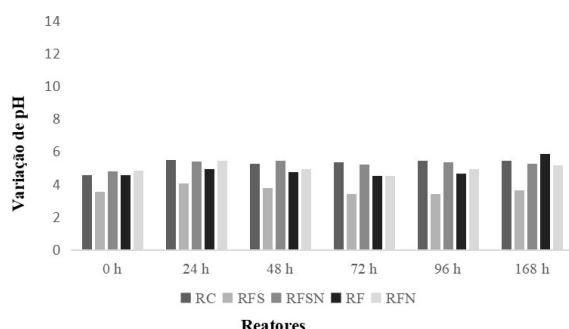
Potencial hidrogeniônico (pH)

Nos reatores controle (RC) houve pequena oscilação do pH (4,59 a 5,48), sendo que na maior parte do tempo permaneceram entre 5 e 6 (Figura 6). Em relação aos reatores RFS, RFSN, RF e RFN, o pH ficou ligeiramente inferior aos valores encontrados nos reatores RC. Contudo, os reatores RFS apresentaram os menores valores de pH entre todos, possivelmente pela degradação da sacarose ocorrida nesses reatores, visto que o consumo dessa fonte de carbono poderá interferir na dinâmica de acidez ou basicidade do meio em que estão (TORTORA et al., 2012).

Todos os reatores inoculados com a espécie fúngica apresentaram faixa de pH entre 3 e 6, que é considerada uma faixa boa para crescimento fúngico. Segundo Tortora et al., (2012), o pH ótimo para o desenvolvimento de vários fungos encontra-se na faixa entre 4,0 e 6,0, porém a maioria dos fungos filamentosos tolera variações de pH entre 2,0 e 9,0. Os valores de pH mais adequados para a atividade de *Aspergillus niger* são aqueles próximos de 4,0 (Tebbouche et al., 2016).

Um fator que pode reduzir o pH é a presença de fontes de carbono e nitrogênio. O *Aspergillus niger* quando cultivado na presença de meios contendo fontes de carbono pode produzir moléculas ácidas, dependendo do metabolismo predominante. A diminuição do pH estaria atrelada então ao consumo da sacarose do meio, o que geraria como produtos ácidos liberados pelos fungos e modificaria o pH da solução, fato também já reportado por Hatami, Younesi e Bahramifar (2015).

Figura 6: Variação do pH nos reatores em batelada (RC, RFS, RFSN, RF e RFN) com biomassa dispersa de *Aspergillus niger* AN 400 durante 168 h de experimento.

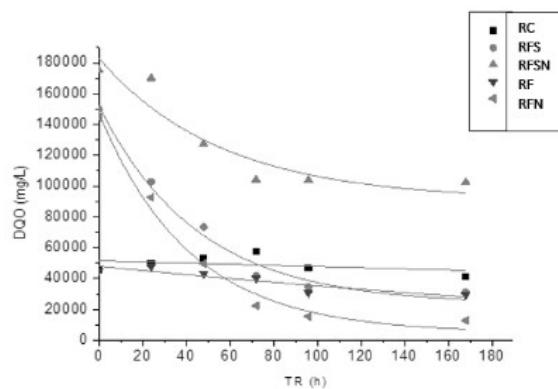


Fonte: Autores (2024).

DQO

A cinética de decaimento de DQO nas bateladas com biomassa dispersa está apresentada na Figura 7.

Figura 7: Cinética de decaimento de DQO (g.L^{-1}) nos reatores em batelada (RC, RFS, RFSN, RF e RFN) com biomassa dispersa de *Aspergillus niger* AN 400 durante 168 h de experimento.



Fonte: Autores (2024).

Dentre os reatores experimentais que continham manipueira, o que teve a melhor remoção foi o reator RFN, com remoção de 91% de DQO. Resultado próximo ao encontrado por Xu et al. (2015), que ao estudar a mandioca como substrato para produção de ácido cítrico utilizando *Aspergillus niger*, observaram remoção de DQO acima de 90%.

No reator RFS a remoção foi de 79%, enquanto no reator que continha tanto nitrogênio como sacarose, a remoção foi menor, 42%. Os valores obtidos nos demais reatores foram: 79%, 42%, 35% e 9%, respectivamente RFS, RFSN, RF e RC.

Subbarayan, Anjana e Aswin (2019) avaliaram a degradação biológica de efluente da manipueira por consórcio de bactérias e fungos e verificaram que a máxima remoção de DQO foi de 74,3%, com 6 dias de tempo reacional. A concentração inicial de matéria orgânica foi de 1856 mg. L^{-1} , valor bem abaixo da presente pesquisa, que mesmo tendo maior concentração de DQO, conseguiu alcance de maior percentual de remoção, o que pode indicar um diferencial vantajoso para utilização da espécie *A. niger*.

A partir da Tabela 3 é possível observar que os reatores RFN e RFS possuíram os maiores valores de R2, de 0,97979 e 0,97779, respectivamente, superiores aos encontrados nos reatores RFSN e RF (0,81213 e 0,72968). Excetuando-se o reator controle (RC), os valores da constante de velocidade k aumentaram na ordem: RFN > RF > RFS > RFSN, o que indicou que neste trabalho os reatores que continham nitrogênio e sacarose isoladamente tiveram o consumo de DQO mais rápido do que os demais, inclusive quando esses mesmos substratos estiveram presente no efluente, só que em conjunto.

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

Tabela 3: Cinética de decaimento e eficiência de remoção de DQO (g.L^{-1}) nos reatores em batelada (RC, RFS, RFSN, RF e RFN) com biomassa dispersa de *Aspergillus niger* AN 400 durante 168 h de experimento.

REATOR	$k (\text{h}^{-1})$	R^2	REMOÇÃO %
RFS	2,204397E-02	0,97779	79
RFSN	1,782492E-02	0,81213	42
RF	2,245193E-03	0,72968	35
RFN	2,413542E-02	0,97979	91

Contudo, quando da ausência de nitrogênio e sacarose, a eficiência de remoção de DQO ficou comprometida, decaiu para apenas 35%. Esse cenário pode ser explicado pela necessidade do microrganismo de ter fonte de carbono e nitrogênio disponíveis para conseguir metabolizar o cianeto, o que já foi relatado em outros estudos com compostos recalcitrantes (SUBBARAYAN, ANJANA e ASWIN, 2019).

Cabe aqui mencionar que houve remoção expressiva de DQO em todos os reatores com fungos, como está indicado na Tabela 3. Esse comportamento pode indicar que a espécie fúngica utilizada neste estudo possui aptidão para se desenvolver e remover do efluente contendo composto recalcitrante matéria orgânica, expressa em DQO.

A variação nos percentuais de remoção esteve ligada à configuração dos reatores e o que apresentou maior velocidade no consumo da DQO foram os reatores com adição de fonte externa de nitrogênio (RFN), enquanto que a menor velocidade, dos reatores inoculados com *A. niger* foi registrada nos reatores que não foram suplementados com nitrogênio ou sacarose, indicando assim que essas fontes externas podem acelerar o processo de consumo de matéria orgânica no meio, conforme já mencionado por Xie *et al.* (2013) e Getenga, Doerfler e Schroll (2009).

Cianeto

Na Tabela 4 estão apresentadas as constantes de velocidade, no período de 168 h de reação, em bateladas com biomassa dispersa (Etapa II). Em todos os reatores inoculados com fungos foi possível observar que houve diminuição da concentração de cianeto, contudo, maior remoção ocorreu no reator RFN com 97% de remoção.

A partir da Tabela 4 é possível observar que os reatores RFSN, RFN e RF possuem os maiores valores de R^2 , de 0,98105, 0,94182 e 0,91139, respectivamente. O reator RFSN apresentou menor velocidade de consumo do cianeto, com R^2 de 0,71103. Excetuando-se o reator controle (RC), os valores da constante de velocidade aumentaram na ordem: RF > RFS > RFN > RFSN.

A maior velocidade do reator RF indica que nas horas iniciais houve uma rápida remoção do cianeto, contudo essa remoção ao final do TR de 168 horas foi de 90%, menor do que aquela encontrada no reator suplementado com nitrogênio (RFN) de 97%, que obteve uma baixa constante de velocidade k .

Em termos de concentração final, todos os reatores, atenderam a legislação ambiental vigente para lançamento de cianeto em corpo hídrico, Resolução CONAMA 430/2011. Os reatores RF atingiram os valores de lançamento com 72 h, seguidos pelos RFS com 86 h e os RFSN e RFN com 168 h. A maior velocidade do RF pode ser entendida pela composição do meio, visto que a maniqueira é composta prioritariamente por amido, que consequentemente será convertido em glicose e pode se apresentar como bom substrato para desenvolvimento dos fungos (Pastore; Hasan; Zempulski, 2011).

Pastore, Hasan e Zempulski (2011) também avaliou a capacidade de *A. niger* sob adição de fonte externa de nitrogênio e carbono para degradar efluente contendo maniqueira e alcançou remoção de apenas 22%, mesmo a concentração inicial do cianeto sendo de $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$. Na presente pesquisa a espécie fúngica foi submetida a concentração superior ao estudo anteriormente reportado e mesmo assim conseguiu alcance de melhores percentuais de remoção.

Em outro estudo, Amorim *et al.* (2021) avaliaram o potencial natural da maniqueira de autodepurar e verificaram que o cianeto teve remoção de apenas 27% em 15 dias exposto a condições naturais, próximas aquelas que seriam deixadas depois de produzidas no campo. No estudo dos autores supracitados, a concentração inicial de cianeto foi $0,3 \text{ g.L}^{-1}$ e ao longo dos dias do experimento foi observado que apenas 22% foram removidos. Esse percentual, quando comparado ao da presente pesquisa indica a relevância deste estudo, tanto pelo maior percentual de remoção obtido como pelo menor tempo gasto pelos microrganismos envolvidos no processo.

4 CONCLUSÕES

A espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400 conseguiu crescer em todas as concentrações de maniqueira, que foram de 5%, 10%, 25%, 50%, 70% e 100%, contudo houve retardo na esporulação com o aumento da concentração do líquido do processamento da mandioca. Para os reatores com biomassa dispersa, observou-se que não houve muita variação de pH, sendo observado leve acidificação nos reatores com presença de fonte externa de carbono. Sobre a concentração de DQO, embora tenham sido registradas remoções de até 91% (RFN), a matéria orgânica remanescente não se

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

Tabela 4: Cinética de decaimento e eficiência de remoção de cianeto (g.L^{-1}) nos reatores em batelada (RFS, RFSN, RF e RFN) com biomassa dispersa de *Aspergillus niger* AN 400 durante 168 h de experimento.

REATOR	k (h ⁻¹)	R2	REMOÇÃO (%)	CONCENTRAÇÃO
RFS	0,0133	0,71103	76	0,95
RFSN	0,0000	0,98105	85	0,85
RF	0,0229	0,91139	90	0,54
RFN	0,0006	0,94182	97	0,17

enquadrou para lançamento do efluente final. Já para a remoção de cianeto, observou-se que os reatores ficaram de acordo com os limites requeridos pela legislação brasileira. Nesse contexto, o uso da espécie fúngica *Aspergillus niger* AN 400 apresentou-se como promissora na redução do potencial poluidor do cianeto presente na manipueira.

REFERÊNCIAS

- ADEMAKINWA, A. N.; AGUNBIADE, M. O.; FAGBOHUN, O. Biodegradation of cyanide in cassava wastewater using a novel thermodynamically-stable immobilized rhodanese. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, Taylor & Francis, v. 51, n. 6, p. 607–617, 2021.
- AMORIM, M. C. C.; SOBRINHO, M. A. M.; SILVA, A. F.; BARBOSA, P. da S.; SOUZA, P. T. D. *et al.* Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira. **Revista Geama**, v. 7, n. 2, p. 4–12, 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 430. Brasília, DF. 2011.** 2011. Disponível em: <https://x.gd/5oSw2>. Acesso em: 20 Jul. 2023.
- CAMILI, E. A. **Tratamento da manipueira por processo de flotação sem uso de agentes químicos.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2007.
- CAVALCANTE, G. S. **Avaliação da produção de ácido lático a partir de manipueira e microrganismos autóctones em sistemas anaeróbios.** Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.
- CEPLAC. **Culturas atendidas: mandioca. Radar técnico.** 2011. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/restrito/radar.asp>.
- CEREDA, M. P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M. P. (Ed.). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca.** São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v. 4, n. 1, cap. 1, p. 13–37.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. t.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, ACS Publications, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.
- EPSTEIN, J. Estimation of microquantities of cyanide. **Analytical Chemistry**, ACS Publications, v. 19, n. 4, p. 272–274, 1947.
- GETENGA, Z. M.; DOERFLER, U.; SCHROLL, R. Study of atrazine degradation in soil from kenyan sugarcane-cultivated fields in controlled laboratory conditions. **Toxicological & Environ Chemistry**, Taylor & Francis, v. 91, n. 2, p. 195–207, 2009.
- GRIMM, L.; KELLY, S.; KRULL, R.; HEMPEL, D. Morphology and productivity of filamentous fungi. **Applied microbiology and biotechnology**, Springer, v. 69, n. 1, p. 375–384, 2005.
- GUSMÃO, R. d. O.; SOLIDADE, L. S.; FERREIRA, L. F. A. A.; ASSIS, F. G. d. V. de; CRUZ, A. R. da; LEAL, P. L. Filamentous fungi producing enzymes under fermentation in cassava liquid waste. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Universidade Estadual de Maringá, v. 40, n. 1, p. 1, 2018.
- HATAMI, M.; YOUNESI, H.; BAHRAMIFAR, N. Simultaneous saccharification and fermentation (ssf) of rice cooker wastewater by using *aspergillus niger* and *saccharomyces cerevisiae* for ethanol production. **Journal of Applied Research in Water and Wastewater**, Razi University, v. 2, n. 1, p. 103–107, 2015.
- LEONEL, M.; CERADA, M. Manipueira como substrato na biossíntese de ácido cítrico por *aspergillus niger*. **Scientia agrícola**, SciELO Brasil, v. 52, n. 1, p. 299–304, 1995.

MICORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTE DO PROCESSAMENTO DA MANDIOCA EM BATELADA DISPERSA

- LIMA, R. A. **Tratamento de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca.** Dissertação (Mestrado em desenvolvimento de processos ambientais) — Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.
- MACHADO, E. P.; ARAÚJO, J. H. B. de; KREUTZ, C.; GODINHO, J. P.; PIFFER, V. Avaliação do desempenho de um reator anaeróbio de fluxo vertical com separação de fases no tratamento de manipueira. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 5, p. 2104–2123, 2019.
- METCALF, L.; EDDY, H. P.; TCHOBANOGLOUS, G. **Wastewater engineering:** treatment, disposal, and reuse. 3. ed. Singapura: McGraw-Hill New York, 1991.
- NEVES, O. S. C.; SOUZA, A. S.; COSTA, M. A.; SOUSA, L. de A.; VIANA, A. E. S.; NEVES, V. B. F. Persistência do cianeto e estabilização do ph em manipueira. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 1, p. 1, 2014.
- PASTORE, N. S.; HASAN, S. M.; ZEMPULSKI, D. A. Produção de ácido cítrico por aspergillus niger: avaliação de diferentes fontes de nitrogênio e de concentração de sacarose. **Engevista**, v. 13, n. 3, p. 1, 2011.
- RIBEIRO, J. S.; NEVES, O. S. C.; SOUZA, A. S.; VIANA, A. E. S.; SANTOS, A.; LIMA, D. H. N.; COSTA, M. A. **Determinação da composição química da manipueira produzida na microrregião de Vitória da Conquista.** Anais.. IV Encontro de química da Bahia. Barreiras, 2010.
- SAMPAIO, G. M. M. S. **Remoção de metil paration e atrazina em reatores de bancada com fungos.** Tese (Doutorado em Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- TEBBOUCHE, L.; HANK, D.; ZEBOUDJ, S.; NAMANE, A.; HELLAL, A. Evaluation of the phenol biodegradation by aspergillus niger: application of full factorial design methodology. **Desalination and Water Treatment**, Taylor & Francis, v. 57, n. 13, p. 6124–6130, 2016.
- VELMURUGAN, N.; HWANG, G.; SATHISHKUMAR, M.; CHOI, T. K.; LEE, K.-J.; OH, B.-T.; LEE, Y.-S. Isolation, identification, pb (ii) biosorption isotherms and kinetics of a lead adsorbing penicillium sp. mrf-1 from south korean mine soil. **Journal of Environmental Sciences**, Elsevier, v. 22, n. 7, p. 1049–1056, 2010.
- XIE, S.; WAN, R.; WANG, Z.; WANG, Q. Atrazine biodegradation by arthrobacter strain dat1: effect of glucose supplementation and change of the soil microbial community. **Environmental Science and Pollution Research**, Springer, v. 20, n. 1, p. 4078–4084, 2013.
- XU, J.; CHEN, Y.-Q.; ZHANG, H.-J.; BAO, J.-W.; TANG, L.; WANG, K.; ZHANG, J.-H.; CHEN, X.-S.; MAO, Z.-G. Establishment and assessment of an integrated citric acid–methane production process. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 176, n. 1, p. 121–128, 2015.