



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

JULIANA SOCORRO BARBOSA DA COSTA

**ADSORÇÃO DO CHUMBO NA *MANIHOT ESCULENTA* (MANDIOCA)
EXPOSTA AO RIO CATETÉ-PA CONTAMINADO POR METAIS PESADOS**

ANANINDEUA

2022

JULIANA SOCORRO BARBOSA DA COSTA

**ADSORÇÃO DO CHUMBO NA *MANIHOT ESCULENTA* (MANDIOCA)
EXPOSTA AO RIO CATETÉ-PA CONTAMINADO POR METAIS PESADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Saboia de Paiva.

Orientador: Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves.

ANANINDEUA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

S678a Socorro Barbosa da Costa, Juliana.
ADSORÇÃO DO CHUMBO NA MANIHOT ESCULENTA
(MANDIOCA) EXPOSTA AO RIO CATETÉ-PA
CONTAMINADO POR METAIS PESADOS / Juliana Socorro
Barbosa da Costa. — 2022.
96 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Reginaldo Sabóia de Paiva
Coorientador(a): Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira
Neves

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de
Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais,
Ananindeua, 2022.

1. Modelagem matemática . 2. Adsorção. 3.
Chumbo. I. Título.

CDD 620

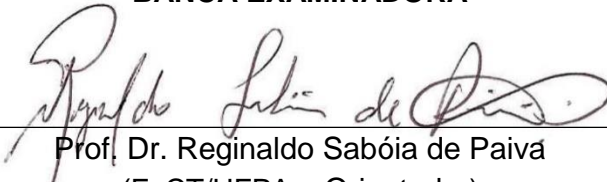
JULIANA SOCORRO BARBOSA DA COSTA

**ADSORÇÃO DO CHUMBO NA *MANIHOT ESCULENTA* (MANDIOCA)
EXPOSTA AO RIO CATETÉ-PA CONTAMINADO POR METAIS PESADOS**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Data de Aprovação: 11/02/2022

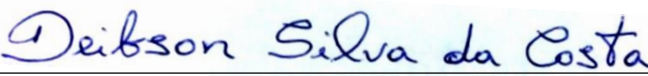
BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Reginaldo Sabóia de Paiva
(FaCT/UFPA – Orientador)



Prof. Me. Alacid do Socorro Siqueira Neves
(FEMat/UFPA – Orientador)



Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
(FEMat/UFPA – Examinador Interno)



Prof. Dr. Edemário Araújo Hidelbrando
(FEMat/UFPA – Examinador Interno)

Dedico este trabalho aos meu pais, pelo
incentivo em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Antes de tudo, a Deus por me conceder saúde, sabedoria e força para concluir este trabalho.

À meu pai, Reginaldo Costa, minha mãe, Maria de Jesus Costa por serem meus grandes exemplos de perseverança e fé, por todos os valores ensinados, todo amor, carinho e apoio.

Aos meus irmãos e sobrinha, por todo amor e carinho.

Ao Profº Reginaldo Sabóia de Paiva pela oportunidade e valiosos ensinamentos, assim como a orientação, os conselhos e a paciência durante a realização deste trabalho.

Ao também Profº Alacid Neves, pelos ensinamentos e participação no trabalho.

Aos professores da FEMAT por todo o conhecimento transmitido.

Agradeço também as minhas amigas e companhias diárias Nelma Siqueira e Rute Nara Farias, aprendi e cresci muito com vocês, tanto pessoal, quanto profissionalmente.

Aos meus colegas de sala, Janylle, Lucas, Wellington e Wilian pela amizade e ajuda nos momentos mais adversos do curso.

À todos aqueles que passaram pela minha vida e me inspiraram a ser melhor.

E por fim, obrigada a todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação.

RESUMO

Neste trabalho, aborda-se um caso real de contaminação pelo metal pesado chumbo, devido o lançamento de efluentes do empreendimento minerário localizado próximo ao Rio Cateté, que pertence a região de Carajás, Sudeste do Estado do Pará. Ao longo deste rio foram escolhido dois pontos para serem estudados, o porto da Aldeia Indígena Cateté e o porto da Aldeia Indígena Djudjeko. Com isso, investigando a rotina da população que habita essa área e se utiliza desse porto, percebeu-se que é uma característica dos índios da região utilizarem o rio para produção de farinha de mandioca (*manihot esculenta*), alimento muito consumido por eles. No entanto, as análises químicas da água do Rio Cateté, do lodo das margens do rio e da própria mandioca, apontaram que estes se encontram contaminados por chumbo. O estudo em questão aborda o fenômeno da adsorção que ocorre na etapa de produção da farinha exercida com o auxílio do rio, onde a mandioca é imersa nas águas do rio, por um determinado período, para o seu amolecimento. Diante disso, este trabalho propõe-se a traduzir este fenômeno através do desenvolvimento de um modelo matemático que descreve numericamente o processo de adsorção de chumbo pela mandioca exposta ao Rio Cateté. Para as análises químicas, foram preparadas amostras da água do rio, mandioca, farinha de mandioca e do lodo formado na margem do rio. Em seguida, após a identificação dos teores de chumbo nessas amostras, foi criado um modelo algébrico em que foi aplicado a união do modelo sigmoidal e o da transformada de Laplace para resolver o balanço de carga iônica. Com isso, foram realizadas simulações para ambos os modelos, inclusive a simulação de extrapolação, em que é possível observar o ponto máximo de adsorção. Por fim, o modelo obtido atendeu ao objetivo proposto neste trabalho, sendo capaz de caracterizar e representar o fenômeno de adsorção do chumbo na contaminação da mandioca (*manihot esculenta*) exposta a água do Rio Cateté, concluindo que a contaminação do tubérculo ocorre pela concentração de chumbo depositado no lodo das margens do rio.

Palavras-chave: Modelo Matemático. Adsorção. Chumbo.

ABSTRACT

In this work, the study site is monitored by an environmental monitoring group, due to the release of effluents from the mining enterprise located near the Cateté River, which belongs to the region of Carajás, Southeast of the State of Pará, where along this river were chosen two points to be studied, the port of the Cateté Indigenous Village and the port of the Djudjeko Indigenous Village. With this, investigating the routine of the population that inhabits this area and uses this port, it was noticed that it is a characteristic of the Indians of the region to use the river for the production of cassava flour (*manihot esculenta*), food very consumed by them. However, from the confirmations of analyzes of the waters of the Cateté River, carried out by the monitoring team, they indicate that it is contaminated by lead. The study in question addresses the phenomenon that occurs in the stage of production of flour carried out with the aid of the river, the stage of softening, where the cassava is immersed in the waters of the river for a certain period for its softening. Therefore, this work proposes to translate this phenomenon through the development of a mathematical model that numerically describes the process of adsorption of lead by cassava exposed to the Cateté River. For chemical analyses, samples of river water, cassava, cassava flour and sludge formed on the river bank were prepared. Then, after identifying the lead levels in these samples, an algebraic model was created in which the union of the sigmoidal model and the Laplace transform was applied to solve the ionic charge balance. Thereby, simulations were performed for both models, including the extrapolation simulation, in which it is possible to observe the maximum adsorption point. Finally, the model obtained met the objective proposed in this work, being able to characterize and represent the phenomenon of adsorption of lead in the contamination of cassava (*manihot esculenta*) exposed to water from the Cateté River, concluding that the contamination of the tuber occurs by the concentration of lead deposited in the sludge on the banks of the river.

Keywords: Mathematical Model. Adsorption. Lead.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Uma visão ampla do Rio Cateté.....	15
Figura 2.1 - Termos básicos em adsorção.....	20
Figura 2.2 - Formas típicas de isotermas.....	23
Figura 2.3 - Dupla Camada Elétrica de Helmholtz e Perrin.....	27
Figura 2.4 – Dupla Camada Elétrica de Gouy-Chapman.....	28
Figura 2.5 - Modelo de TL e Bockris para a dupla camada elétrica.....	29
Figura 2.6 - Fluxogramas de processamento da farinha de mandioca d'água no município Castanhal, PA, 201.....	34
Figura 2.7 - Diagrama de dispersão de experimentos que apresentam curvas sigmoidais, onde Y é a variável resposta e t é o tempo (Dados fictícios).....	36
Figura 2.8 - Curva sigmoidal.....	37
Figura 2.9 - Ilustração de crescimento exponencial e logístico.....	39
Figura 2.10 - Gráfico de crescimento exponencial.....	40
Figura 2.11 - Gráfico de crescimento logístico.....	41
Figura 2.12 - Balanço de massa genérico.....	44
Figura 3.1 – Coleta da água do Rio Cateté.....	48
Figura 3.2 – Frasco fechado e identificado com água do Rio Cateté.....	49
Figura 3.3 – Pontos da Aldeia Cateté e da Aldeia Djudjeko.....	49
Figura 3.4 – Sacos com mandioca sendo imersos no Rio Cateté.....	50
Figura 3.5 – Lodo em formação nas margens.....	52
Figura 3.6 – Lodo formado nas margens.....	52
Figura 4.1 – Gráfico obtido do comportamento da adsorção de metais pesados pela mandioca exposta a água do Rio Cateté no Porto da Aldeia Cateté.....	55
Figura 4.2 – Gráfico obtido do comportamento da absorção de metais pesados pela mandioca exposta a água do Rio Cateté no Porto da Aldeia Djudjeko.....	55

Figura 4.3 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C descrita pelo método da sigmoidal.....	64
Figura 4.4 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D descrita pelo método da sigmoidal.....	65
Figura 4.5 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C descrita pelo método da transformada de Laplace.....	71
Figura 4.6 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D descrita pelo método da transformada de Laplace.....	72
Figura 4.7 – Gráfico do comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C.....	73
Figura 4.8 – Gráfico do comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D.....	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Comparação entre o processo de quimisorção e fisiosorção.....	22
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Resultado da determinação de chumbo na água - Ponto C.....	54
Tabela 4.2 – Resultado da determinação de chumbo na água - Ponto D.....	54
Tabela 4.3 – Resultado da deteminação de metais na farinha de mandioca exposta a água do Ponto C.....	57
Tabela 4.4 – Resultado da deteminação de metais na farinha de mandioca exposta a água do Ponto D.....	57
Tabela 4.5 - Resultados da Análise do Lodo (Ponto C).....	58
Tabela 4.6 - Resultados da Análise do Lodo (Ponto D).....	58
Tabela 4.7 - Valores das variáveis k e $ k $	71
Tabela 4.8 - Valores do erro absoluto e relativo para os pontos C e D.....	72

LISTA DE ABREVEATURA E SIGLAS

ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GTEMA	Grupo de Tratamento de Minérios, Energia e Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
Pb	Chumbo
Ponto C	Porto da Aldeia Indígena Cateté
Ponto D	Porto da Aldeia Indígena Djudjeko

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivo	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.1.3 Estrutura do Trabalho.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	19
2.1 Adsorção	19
2.1.1 Isotermas de adsorção	22
2.1.2 Cinética de adsorção.....	25
2.2 Dupla Camada Elétrica	26
2.2.1 Teoria de Helmholtz e Perrin.....	27
2.2.2 Teoria de Gouy e Chapman	27
2.3 Chumbo	29
2.4 <i>Manihot esculenta</i> (Mandioca)	31
2.4.1 Produção de farinha	32
2.5 Modelagem matemática	35
2.6 Modelos de crescimento	36
2.6.1 Modelos de crescimento sigmoidal	36
2.6.2 Crescimento exponencial e logístico	38
2.6.3 Crescimento exponencial	39
2.6.4 Crescimento logístico	41
2.7 Balanço de massa	42
2.8 Transformada de Laplace	44
2.8.1 Condição de existência da transformada de Laplace.....	45
2.9 A utilização de tubérculos em processos de adsorção	47
3. MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 Preparação das amostras	48
3.1.1 Preparação das amostras de água	48
3.1.2 Preparação das amostras de mandioca	50
3.2 Análise química	51
3.2.1 Análise da água.....	51
3.2.2 Análise da mandioca	51
3.2.3 Análise da farinha.....	51

3.2.4 Análise do lodo	51
3.3 Modelagem matemática	53
3.3.1 Obtenção do modelo matemático	53
3.3.2 Simulação do modelo matemático	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 Análise química	54
4.1.1 Análise da água	54
4.1.2 Análise da mandioca	54
4.1.3 Análise da farinha	56
4.1.4 Análise do lodo	58
4.2 Modelagem matemática	59
4.2.1 Resolução a partir da sigmoidal	59
4.2.2 Simulação do modelo obtido pela sigmoidal	63
4.2.3 Resolução a partir do balanço de massa	66
4.2.4 Simulação a partir do modelo obtido	70
4.2.5 Simulação da extrapolação	73
5 CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO

A área de estudo deste trabalho é prejudicada pelo lançamento de efluentes de mineração. A mineração é uma atividade que pode causar grave impacto ambiental, como a contaminação de solos e rios e conseqüentemente danos à saúde de populações que vivem em seu entorno, sendo uma das principais causas, o despejo de resíduos de beneficiamento de minérios, denominados rejeitos, pois dependendo do teor de metais presentes e do efeito tóxico desse metal, trará prejuízos à saúde (BARRETO, 2001).

É uma característica dos índios da região construírem suas casas próximas aos rios, como fonte de alimento como pescado, caça e cuidados com higiene pessoal. Assim como é comum para produção de farinha, alimento muito consumidos por eles, colocarem a mandioca para amolecer no rio de 1,5 a 4 dias, dependendo do tipo. Hoje motivado pelo avançado estágio de degradação ambiental, o Rio Cateté, que abastece essa região, são objetos de um plano de monitoramento e recuperação promovido por um grupo de pesquisa Grupo de Tratamento de Minérios, Energia e Meio Ambiente GTEMA/CNPq.

A Figura 1.1 apresenta uma visão ampla do Rio Cateté.

Figura 1.1 – Uma visão ampla do Rio Cateté.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Mais uma importante informação do caso é que, durante a pesquisa, verificou-se a formação de lodo ao longo das margens do rio, em locais de baixa velocidade, ou seja, nos pontos dos portos de utilização para a etapa de amolecimento. A partir das confirmações de análises químicas das águas do Ponto C (Rio Cateté, Porto Cateté) e Ponto D (Rio Cateté, Porto Djudjeko) mostrarem que as mesmas encontram-se contaminadas pelo chumbo, o estudo em questão aborda o que ocorre na etapa de amolecimento da produção de farinha. Diante disso, observou-se que durante essa etapa, quando a mandioca é imersa no rio, ocorre o processo da adsorção e esta se contamina.

O metal pesado chumbo (Pb), atualmente é um dos contaminantes mais comuns do ambiente, devido às inúmeras atividades industriais que favorecem a sua grande distribuição. Assim, todos os seres humanos têm chumbo em seus organismos como resultado da exposição às fontes exógenas (SARYAN e ZENZ, 1994). No entanto, este metal não possui nenhuma função fisiológica conhecida no organismo, e seus efeitos tóxicos sobre os homens e animais já são conhecidos há muito tempo por afetarem praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano (XIE *et al.*, 1998).

A adsorção é um fenômeno físico-químico em que o componente em fase líquida ou gasosa migra para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são chamados adsorvatos, ao mesmo tempo que a fase sólida que retém o adsorvato é chamada adsorvente (ANDIA, 2009).

O desenvolvimento de um modelo que descrevesse numericamente o processo de adsorção de chumbo pela mandioca exposta a um rio contaminado, ou seja, em condições não controladas, e que posteriormente pudesse ser comparado com dados obtidos através da análise química, que é a que se propõe este trabalho, tem seu ponto de partida em estudos baseados em uma das etapas do processo de produção de farinha de mandioca que é quando se dá, a imersão da raiz com casca em água, ao ar livre em igarapé com água corrente. Esta etapa, também conhecida como amolecimento em água da raiz, está inserida na produção da chamada farinha d'água e da farinha mista, tipos estes de farinha, muito difundidos em nossa região. Só então, na observação de fenômenos físico-químicos que ocorrem nesta etapa, é que se pôde dar início aos trabalhos de modelagem matemática com a sua respectiva finalidade.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo matemático que caracterize e represente o fenômeno de adsorção do chumbo na contaminação da mandioca exposta a água do Rio Cateté.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar os resultados das análises químicas do tubérculo, da farinha de mandioca, e do lodo;

- Entender como acontece a contaminação do alimento exposto a água contaminada por chumbo do Rio Cateté;

- Verificar se a concentração de chumbo na fase final da produção, no caso, na farinha de mandioca tem potencial para contaminar o organismo humano;

1.1.3 Estrutura do Trabalho

A seção 1 apresenta uma introdução, objetivos do trabalho, pretendendo contextualizar o tema a ser discutido e sua importância, onde destaca-se o fenômeno de adsorção que ocorre na mandioca exposta ao rio contaminado pelo chumbo (Pb).

A seção 2 aborda uma revisão bibliográfica acerca dos processos envolvidos neste estudo com ênfase para o processo de adsorção. Também é abordado as características do tubérculo e sua produção de farinha.

A seção 3 expõe a metodologia aplicada à pesquisa, descrevendo os processos realizados para obtenção das análises químicas e do modelo matemático.

A seção 4 apresenta resultados obtidos através da metodologia aplicada, fazendo as análises e discussões sobre os resultados encontrados.

A seção 5 aborda as conclusões obtidas durante a realização deste trabalho de forma sintetizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

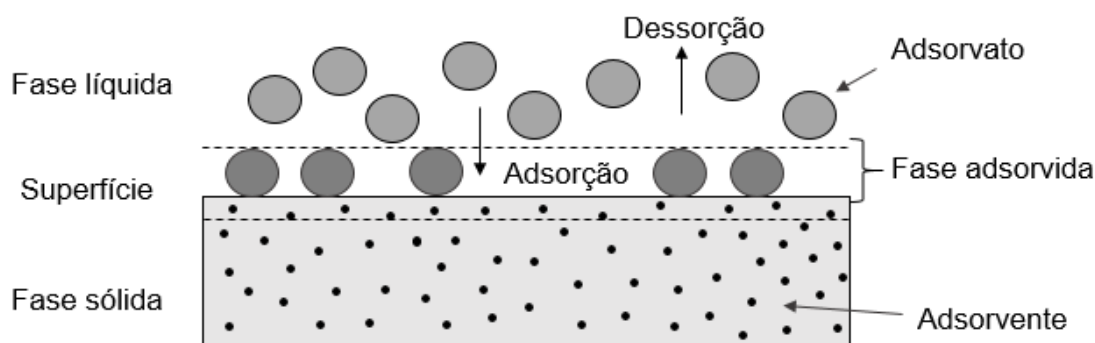
2.1 Adsorção

Muitos processos físicos e químicos ocorrem no limite entre duas fases, enquanto outros são iniciados nessa interface. Uma compreensão dos fenômenos que ocorrem em tais superfícies limites é, portanto, muitas vezes essencial para explicar o mecanismo de, por exemplo, dissolução e cristalização, processos de eletrodo, catálise heterogênea e fenômenos relacionados ao estado coloidal. A adsorção é um dos fenômenos de superfície fundamentais e o conhecimento detalhado dos fenômenos de superfície é indispensável, pois as superfícies desempenham um papel significativo em todas as ciências naturais (OSCIK, 1982).

Este processo foi exposto no início do século XVIII, quando observou-se que o carvão detinha em seus poros grandes quantidades de vapor d'água, sendo este removido quando o carvão sofria aquecimento (REYNOLDS e RICHARDS, 1995).

A adsorção é um processo de transferência de massa, no qual avalia a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos, como está ilustrado na Figura 2.1. Visto que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, maior será a adsorção. A espécie que se acumula na interface do material é geralmente denominada de adsorvato; e a superfície sólida na qual o adsorvato se acumula, de adsorvente (RUTHVEN, 1984).

Figura 2.1 - Termos básicos em adsorção.



Fonte: Worch, 2012.

Os processos de adsorção são geralmente classificados de acordo com o tipo de fases que constituem a interface, e de acordo com o tipo de forças que atuam nessa superfície. Dependendo do tipo de fases em contato, pode-se considerar o processo de adsorção nos seguintes sistemas: (1) líquido / gás, (2) sólido / gás, (3) sólido/Líquido e (4) líquido / líquido (OSCIK, 1982).

A maior parte dos adsorventes são altamente porosos e a adsorção pode ocorrer nas paredes das partículas e em sítios específicos. Considerando que os poros dos materiais adsorventes são geralmente muito pequenos, a área superficial específica é várias ordens de magnitude superior quando comparada com a superfície externa, como no caso de carvões, cujo valor pode atingir 2000 m²/g (McCABE *et al.*, 1998).

Uma das características mais importantes de um adsorvente é a quantidade de adsorvido que pode acumular, o que geralmente é calculado nas isotermas de adsorção. As isotermas de adsorção são uma relação de equilíbrio de temperatura constante entre as quantidades de adsorvato por unidade de adsorvente e seu equilíbrio de concentração da solução. Um bom adsorvente deve geralmente possuir uma estrutura porosa, resultando em alta área de superfície (GUPTA, 2009)

Na separação por adsorção, os processos estão baseados em três mecanismos distintos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para o mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as habilidades dos diferentes sólidos para

acomodar diferentes espécies de adsorvatos, que são adsorvidos, de preferência, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (DO, 1998).

Os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. Desta forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio (NASCIMENTO, 2014).

De acordo com a natureza das forças envolvidas no processo, duas diferentes formas de interação entre moléculas do meio fluido e as do sólido, podem ser observadas dentro do fenômeno da adsorção: a adsorção física ou fisissorção e a adsorção química ou quimissorção. Em determinadas ocasiões, é possível que os dois tipos de interação ocorram simultaneamente (CHEREMISINOFF e ELLERBUSCH, 1978).

A adsorção física é composta por interações relativamente fracas, do tipo forças de van der Waals (interação de dispersão ou dipolo induzido, também chamada de forças de London, e interação dipolo-dipolo, por exemplo) e interações eletrostáticas incluindo polarização, dipolo e interação quadrupolo. Já na adsorção química, há a relação de interações químicas entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente, devido a transferência de elétrons, equivalente à formação de ligações químicas entre o adsorvato e a superfície do sólido. Além disso, na adsorção física podem surgir camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na adsorção química se forma uma única camada molecular adsorvida (monocamada) (MEZZARI, 2002). Na Quadro 2.1 estão descritas as características gerais que diferenciam a adsorção física da química.

Quadro 2.1 - Comparação entre o processo de quimisorção e fisiosorção.

Fisiosorção	Quimiosorção
Forças de Van de Waals	Forças comparáveis a ligações químicas
Calor de adsorção inferior a 20 kJ/mol	Calor de adsorção superior a 20 kJ/mol
A espécie adsorvida conserva sua natureza	A espécie adsorvida sofre uma transformação e origina-se uma espécie diferente
A quantidade adsorvida depende mais do adsorvato do que o adsorvente	A quantidade adsorvida depende tanto do adsorvato como o do adsorvente
Especificidade baixa	Especificidade elevada
Adsorção apreciável somente abaixo do ponto de ebulição do adsorvato	Adsorção pode acontecer a temperaturas elevadas
Energia de ativação baixa	Energia de ativação elevada
Adsorção pode acontecer em multilaminas	Adsorção somente em monocamadas

Fonte: Andia, 2009.

2.1.1 Isotermas de adsorção

Uma isoterma de adsorção é a relação entre a concentração de adsorvato no seio da solução e nas partículas do adsorvente, onde todas as outras condições são mantidas constantes (temperatura, pH, força iônica, entre outros) (McCABE *et al.*, 1998).

As isotermas de adsorção são ferramentas utilizadas para descrever a capacidade de adsorção de um adsorvente específico, no estado de equilíbrio. Para gases, a concentração é dada em porcentagem molar como uma pressão parcial. Para líquidos, a concentração geralmente é expressa em unidades de massa (ANDIA, 2009). A Figura 2.2 apresenta as formas mais comuns das isotermas de adsorção.

Figura 2.2 - Formas típicas de isotermas.



Fonte: McCABE *et al.*, 1998.

Os processos de adsorção foram inicialmente observados em sólidos porosos com a capacidade de captar seletivamente grandes quantidades de gás em seus vazios. Conforme a quantidade de adsorvato presente no gás, há uma quantidade definida de adsorvato presente na fase adsorvida. Isso acontece quando se atinge o equilíbrio. Essas relações de equilíbrio são representadas em forma de modelos que correlacionam matematicamente as quantidades adsorvidas em equilíbrio com o meio circulante (ANDIA, 2009).

São determinantes no equilíbrio características como, a natureza do sólido (sítios ativos e distribuição de poros) e natureza do adsorvato (dipolos, forma e tamanho molecular) (MASEL, 1996).

As isotermas de solutos orgânicos foram divididas em quatro classes principais conforme a natureza inicial da curva que descreve a isoterma e as variações de cada classe foram divididas em subgrupos de acordo com a configuração final dessas curvas (OSCIK, 1982).

Algumas isotermas com curvatura descendente são classificadas como favoráveis, e algumas isotermas com uma curvatura ascendente são

caracterizadas como desfavoráveis. Esses termos indicam que adsorção frequentemente será usada para deter pequenas quantidades de soluto de soluções diluídas. No resultado, uma isoterma favorável será particularmente eficaz em soluções diluídas, por outro lado uma isoterma desfavorável será especialmente inapta sob estas condições (ANDIA, 2009).

Os pesquisadores classificaram quatro principais classes de isotermas. Nas isotermas do tipo S (Sigmoidal) as interações adsorvente-adsorvato são mais fracas que as interações adsorvato-adsorvato e solvente-adsorvente, com isso possuem uma curvatura inicial voltada para cima. Já as isotermas do tipo L (Langmuir) apresentam uma curvatura inicial voltada para baixo, pois há uma diminuição da disponibilidade dos sítios ativos com o aumento da concentração da solução. Enquanto as isotermas do tipo H (*“high affinity”*) acontecem quando o adsorvato tem grande afinidade pelo adsorvente. A quantidade adsorvida inicial é alta e o equilíbrio é alcançado logo após. As isotermas do tipo C (*“constant partition”*) caracterizam-se por um início linear, indicando que o número de sítios ativos é constante (GILES *et al.*, 1960).

No que se aos subgrupos, o primeiro compreende isotermas em que a quantidade adsorvida é proporcional à concentração da solução no início da curva. O subgrupo 2 aponta a saturação da superfície em que o adsorvato tem mais afinidade pelo solvente do que pelas moléculas já adsorvidas. O subgrupo 3 é definido por uma subida após um ponto de inflexão e o subgrupo 4 mostra a formação de camadas múltiplas de adsorvato adsorvido. Por fim, as isotermas do subgrupo mx indicam que em altas concentrações do adsorvato as interações adsorvato-adsorvato aumentam muito mais rapidamente do que as atrações adsorvato-adsorvente (GILES, *et al.*, 1960).

Para avaliar quantitativamente a adsorção por meio das isotermas, o procedimento experimental é bastante simples: é só pôr em contato a solução contendo o componente a ser adsorvido em diferentes concentrações com massa fixa do adsorvente. O sistema que se forma mantém-se sob agitação até o equilíbrio, para assim ser obtida a quantidade adsorvida (q_{eq} em mg g⁻¹) e a concentração de adsorvato que permanece em solução (C_{eq} em mg L⁻¹). A partir desses dados é possível obter a isoterma de adsorção com o gráfico de q_{eq} versus C_{eq} (PERRY, 1998).

A quantidade de adsorvato por unidade de massa de material adsorvente (q_{eq}) obtida em sistemas do tipo batelada é calculada de acordo com a seguinte relação:

$$q_{eq} = \frac{(C_0 - C_{eq})V}{m} \quad (1)$$

São vários os modelos de isotermas de adsorção que podem ser aplicados para ajustar os dados das isotermas e alcançar parâmetros importantes sobre o adsorvente como, por exemplo, a interação com o adsorvato e a capacidade de adsorção (FEBRIANTO *et al.*, 2009).

2.1.2 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção é explicada como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em função do tempo. Abrange a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente (NASCIMENTO, 2014). Na cinética determina-se o tempo de equilíbrio e a velocidade em que ocorre a adsorção, sendo de extrema importância a sua identificação (SILVA, 2012).

Vale ressaltar que, é importante estudar não somente, o equilíbrio de adsorção, mas também o tipo de mecanismo para o processo de adsorção em estudo. Com a finalidade, de investigar o mecanismo de adsorção e as etapas controladoras do processo que incluem transferência de massa e reações químicas caso seja preciso, modelos cinéticos têm sido desenvolvidos para testar os dados experimentais (HO e MacKay, 1999; FEBRIANTO *et al.*, 2009).

Além disso, os parâmetros cinéticos fornecem a informação que é necessária para selecionar boas condições de uma futura aplicação do processo de remoção a nível industrial (ANDIA, 2009).

Todos os dados cinéticos apresentados possibilitam verificar a natureza das etapas determinantes da velocidade, que está diretamente ligada as interações adsorvente/adsorvato e pode ser parcialmente compreendida pela energia de ativação do processo e pelo efeito da temperatura sobre a velocidade. É normal que calcular e entender os parâmetros cinéticos seja relevante no processo de adsorção, já que permite calcular a velocidade de adsorção, além de determinar o tempo requerido para retirar os contaminantes, a quantidade

adsorvida e o tempo de residência do adsorbato na interface sólido-líquido (HO e MacKay, 1999).

Muitas vezes, uma equação de taxa satisfatória não oferece todas as informações essenciais para esclarecer o mecanismo. Além disso, é indispensável conhecer a taxa de adsorção para avaliar a capacidade de um adsorvente. Tendo em consideração também que, dados termodinâmicos só evidenciam informações quanto ao estado final de um sistema, é de desejo para muitas questões da química da superfície compreender desde os mecanismos de adsorção/dessorção até problemas mais práticos como corrosão, catálise e remoção de poluentes de soluções (ANDIA, 2009)

Na literatura estão presentes vários modelos para entender a cinética de adsorção, os quais mensuram o mecanismo ou a etapa limitante em cada processo adsorptivo específico.

2.2 Dupla Camada Elétrica

Uma das maneiras de explicar a adsorção do metal chumbo nas paredes do tubérculo seria através do modelo de dupla camada.

Um fenômeno elétrico em um sistema bateria/água, a superfície celular bacteriana é dinâmica e responde fortemente as mudanças do meio através da adsorção de íons e compostos macromoleculares (POORTINGA *et al.*, 2002). A carga em uma parede celular bacteriana se origina da dissociação ou protonação dos diversos grupos funcionais presentes na parede celular e conseqüentemente dependem do pH e a atividade dos eletrólitos em solução (HUNTER, 1981).

Essa carga superficial é o que faz com que ocorra a distribuição dos íons, sendo que cargas iguais (co-íons) se repelem entre si e cargas contrárias (contra-íons) se atraem. Gerando assim um balanço dinâmico de cargas na interface de contato. Este mecanismo associado ao fenômeno da agitação térmica entre as moléculas forma a dupla camada elétrica, que é constituída por uma superfície carregada e um meio polar onde se distribuem os íons (FONTELLES, 2014).

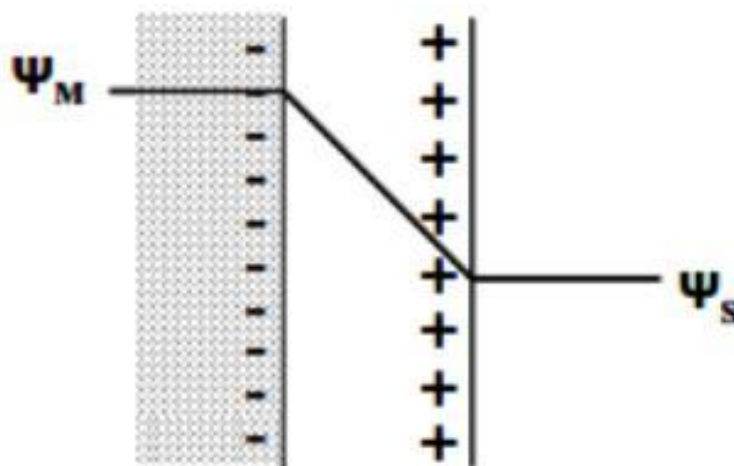
Existem diversos modelos que descrevem a distribuição das cargas na dupla camada elétrica. São eles: modelo de Helmholtz e Perrin, modelo de Gouy e Chapman e modelo de Stern (SHAW, 1975).

2.2.1 Teoria de Helmholtz e Perrin

Segundo essa teoria, a dupla camada é igualada a um capacitor de placas paralelas onde uma das placas está conectada a uma superfície sólida, já a outra, possui carga contrária e esta na fase líquida. O potencial elétrico (Ψ_M) é linear até o final da dupla camada (Ψ_S) e a distância entre as placas é pequena (HUNTER, 1981), como pode ser visto na Figura 2.3.

Essa teoria não foi considerada suficiente para explicar uma série de fenômenos eletrocinéticos, e sua principal falha foi considerar muito pequena a espessura da dupla camada elétrica (FONTELLES, 2014).

Figura 2.3 - Dupla Camada Elétrica de Helmholtz e Perrin.



Fonte: Fontelles, 2014.

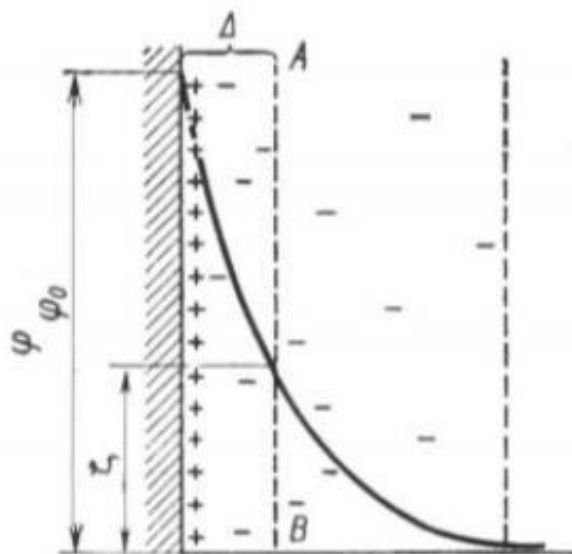
2.2.2 Teoria de Gouy e Chapman

Nessa teoria considera uma camada difusa de contra-íons, de acordo com a influência de forças elétricas e do movimento térmico. Este modelo baseia-se nos seguintes critérios: a superfície é plana, infinita e com cargas elétricas distribuídas uniformemente; os íons são cargas pontuais localizadas segundo a distribuição de Boltzmann; o solvente só influencia a dupla camada por meio de sua constante dielétrica, a qual se supõe que possua o mesmo valor ao longo de toda a camada difusa; há um único eletrólito simétrico de carga z (SHAW, 1992).

Segundo este estudo, flutuações tendem a afastar os contra-íons da interface, levando à formação de uma camada difusa, mais extensa que uma camada molecular. O campo elétrico da fase sólida atrai uma quantidade equivalente de contra-íons o mais perto possível da interface, ao mesmo tempo em que tendem a permanecer dispersos na fase fluida devido à agitação térmica. Esta combinação de forças leva a formação de uma dupla camada (LIMA, 2008).

A ação do campo elétrico prevalece na proximidade da interface, onde existe uma tendência de organização das primeiras camadas de íons. Essa intensidade decresce à medida se afasta da superfície e os íons encontram-se mais espalhados em função do movimento de agitação térmica, até que em maiores distâncias a concentração dos íons seja igual à do seio da fase. Nesta camada difusa, se estabelece um equilíbrio dinâmico. Os co-íons são repelidos pela fase sólida, tendendo a se distanciar da interface. Estes efeitos combinados levam a uma distribuição de potencial na camada difusa (FONTELLES, 2014).

Figura 2.4 - Dupla Camada Elétrica de Gouy-Chapman.

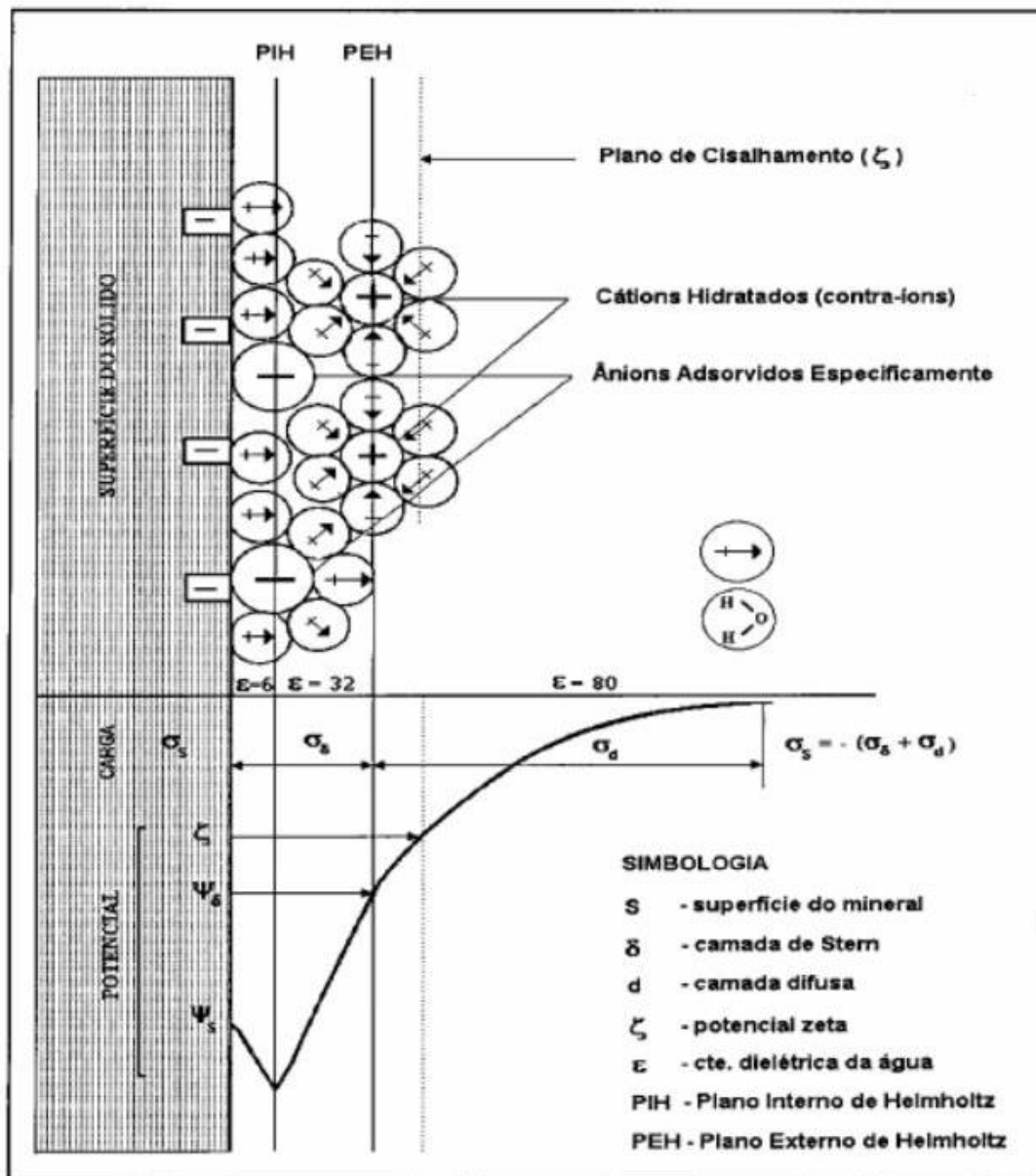


Fonte: Fontelles, 2014.

O modelo mais completo é o modelo de Stern (Figura 2.5). Nesta teoria, a dupla camada elétrica se divide em duas partes bem distintas, separadas pelo plano de Stern, que se localiza a uma distância da superfície igual ao raio dos

íons hidratados. No modelo proposto está prevista a adsorção específica de íons, além da adsorção puramente eletrostática (FONTELLES, 2014).

Figura 2.5 - Modelo de TL e Bockris para a dupla camada elétrica.



Fonte: Benvindo da Luz *et al.*, 2002.

2.3 Chumbo

Os metais pesados constituem um importante grupo de contaminantes que afeta as águas subterrâneas. Ao consultar a literatura, o termo metal pesado é utilizado para designar um grupo heterogêneo de elementos, incluindo metais,

ametais e semi-metais. Segundo Duffus (2002), este termo foi registrado pela primeira vez na década de 30, cuja definição foi baseada na densidade da forma elementar de um metal, classificando como “metais pesados” aqueles elementos que possuem densidade acima de $7\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Já Malavolta (1980) considerou como um elemento com densidade maior que $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ou os elementos que possuem número atômico maior que 20.

Nos solos, os metais pesados podem ser gerados de fontes naturais, ou através da ação do homem. As taxas naturais de metais no solo (também chamado de “*background level*” dependem de seus constituintes mineralógicos e do material sobre o qual o solo se desenvolveu. Solos que apresentam rochas básicas como material de origem, possuem maiores teores de metais quando correlacionados com solos que possuíram formação sobre gnaisses, arenitos, granitos e siltitos (TILLER, 1989; OLIVEIRA, 1996). Esses solos são capazes de disponibilizar uma maior quantidade de metais para as plantas do que solos desenvolvidos de gnaiss e arenito + sedimentos do terciário (OLIVEIRA, 1996). A solução do solo normalmente apresenta baixa concentração de metais pesados, na ordem de 1 a 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$, em certos casos esse valor fica abaixo de $1\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$. Sob essas condições, o elemento propende-se a ficar retido no solo em uma forma não trocável por adsorção (McBRIDE, 1989).

As fontes antropogênicas mais relevantes de metais pesados no meio ambiente são provenientes de fertilizantes, pesticidas, águas de irrigação contaminadas, resíduos urbanos e industriais, mineração, fundição e refinamento de metais. No círculo urbano, as atividades industriais destacam-se como uma das principais fontes de contaminação de metais pesados (MILANEZ, 2007).

O chumbo (Pb) é o quinto elemento do grupo IV da tabela periódica de número atômico 82 e massa atômica 207,2 u (ATSDR, 2007). É um metal resistente e maleável, bastante utilizado em produtos de metais, tubos e cabos, assim como em tintas e pesticidas. O principal mineral do chumbo é a galena, e também pode ser encontrado em minerais de zinco, prata, cobre e urânio. Além disso existe uma pequena quantidade de chumbo disperso na crosta terrestre (SALGADO, 1996a; FERNER, 2001).

A utilização do chumbo no campo industrial procedeu em uma redistribuição deste metal no meio ambiente, poluindo o ar, água e alimentos.

Por consequência, ocorreu um aumento significativo deste metal no sangue e órgãos do corpo humano, já que conduziu a um acúmulo de resíduos nocivos à saúde (YULE *et al.*, 1981). Está entre os quatros metais que causam mais danos a saúde e pode ser ingerido através da água (20 % dos casos) e dos alimentos contaminados (65 % dos casos) e também inalado através do ar (15 % dos casos) (MARCUS, 2001).

Além de não ser essencial, o chumbo também não tem função relevante no organismo, sendo seus efeitos divergentes a saúde, o rompimento da biossíntese da hemoglobina e decorrente anemia, aumento da pressão arterial, lesão renal, aborto, modificação do sistema nervoso, lesão cerebral, redução da fertilidade do homem (dano espermático), mudança da capacidade cognitiva e do comportamento (agressividade, impulsividade e hiperatividade) (VIJ *et al.*, 1998).

As principais vias de penetração no organismo são através da inalação ou ingestão, com cerca de 90 %, o principal depósito do chumbo corpóreo encontra-se nos ossos (MOREIRA *et al.*, 2004).

2.4 *Manihot esculenta* (Mandioca)

A mandioca é proveniente da cultura pré-colombiana. No momento em que os colonizadores portugueses chegaram ao Brasil já se depararam com os povos americanos consumindo a mandioca e a confundiram com o inhame, tubérculo já então conhecido no continente europeu. O cultivo da mandioca tem sua origem da cultura indígena, logo que, o seu consumo no Pará é mais variado que nas demais regiões do Brasil, já que abrange consumo de farinha de mesa, farinha de tapioca, tucupi, folha, goma (amido com 45 % de umidade) e in natura após cozimento. Apenas o consumo per capita de farinha de mesa na região metropolitana de Belém é de 34 kg, sendo o mais alto do Brasil e 2,35 vezes maior que o consumo da região metropolitana de Salvador, que é o segundo maior consumidor deste produto no país (CARDOSO *et al.*, 2001).

Este alimento foi tão importante para a colonização do país que a sua ausência inviabilizaria as grandes navegações, levando em consideração que a farinha de mandioca tornou-se a fonte alimentar de carboidratos nas caravelas. Juntamente com a carne e boi, a mandioca nas Entradas e Bandeiras rumo à

conquista do sertão brasileiro, possibilitou a dieta dos exploradores com a dupla “carne seca e farinha”, tanto que tornou-se conhecida como “farinha velha de guerra”. No Pará é conceituada uma cultura tão abençoada que até sendo cultivada em diferentes níveis tecnológicos, ainda assim se institua na mais importante cultura nacional, do ponto de vista da segurança alimentar. Tanto que para os agricultores familiares descapitalizados, a última cultura que eles deixam de plantar é a mandioca. Nas mais precárias condições de cultivo, mesmo assim, produz no mínimo uma tonelada de proteínas e duas toneladas de carboidratos (ALVES e MODESTO JÚNIOR, 2013).

O Estado do Pará lidera o ranking nacional de produção de raiz de mandioca, com participação de 22,05 %, seguido pelo Paraná com 18,21 %, a Bahia com 8,72 %, o Maranhão com 6,24 % e Rio Grande do Sul com 5,49 %. Esses estados somam 60,73 % do volume produzido pelo País em 2013 (IBGE, 2013).

A mandioca é uma planta heliófila, perene, arbustiva, pertencente à família das euforbiáceas. Também é cultivada em muitos países, com produção mundial de aproximadamente 140 milhões de toneladas, é o sexto produto alimentar da humanidade, em volume de produção, depois do trigo, arroz, milho, batata e cevada. Nos trópicos, onde é mais cultivada, sua importância passa para o terceiro lugar (LORENZI, 1995).

As raízes são o principal produto da mandioca, elas necessitam de solos profundos e friáveis (soltos), sendo ideais os solos arenosos ou de textura média, por possibilitarem um fácil crescimento das raízes, pela boa drenagem e pela facilidade de colheita. Os terrenos de baixada, planos e sujeitos a encharcamentos periódicos, são também inadequados para o cultivo da mandioca, por provocarem um pequeno desenvolvimento das plantas e o apodrecimento das raízes (SILVA *et al.*, 2008).

2.4.1 Produção de farinha

São vários os produtos derivados da mandioca, sendo que a maior parte da produção destina-se à fabricação de farinha de mandioca e o restante divide-se entre alimentação humana, animal e processamento para amido (fécula). Aproximadamente toda a produção de raízes de mandioca do Pará é consumida

na forma tradicional de farinha de mesa. Apesar de ser a maneira mais ampla de aproveitamento industrial da mandioca, a farinha não é um produto muito valorizado, principalmente pela falta de uniformidade (CEREDA e VILPOUX, 2003).

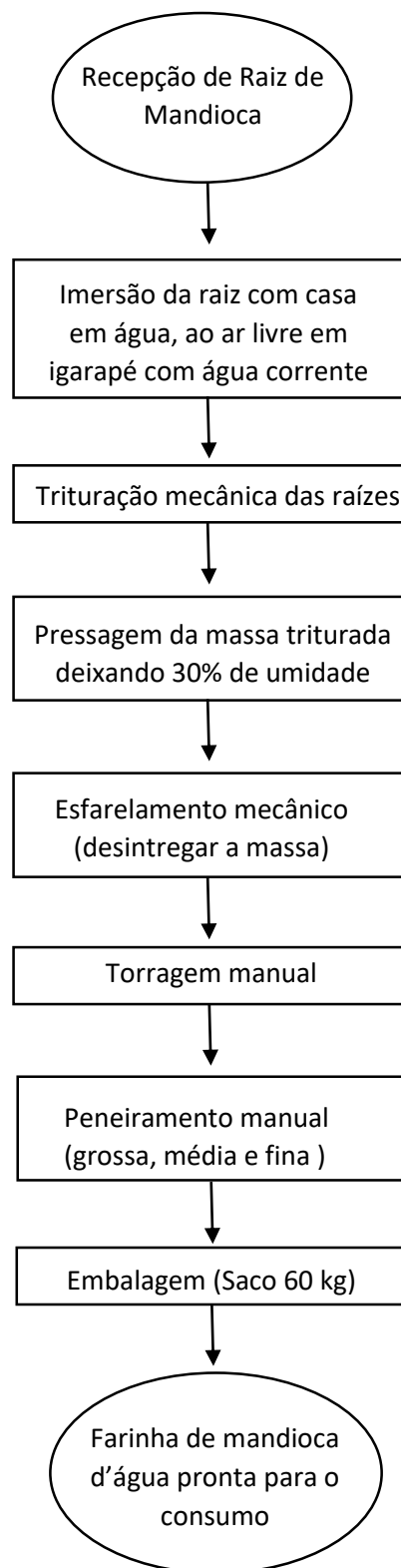
A dissemelhança da farinha de mandioca é devido, sobretudo, à fabricação por pequenos produtores para uso próprio, cada um seguindo uma metodologia própria. Em uma mesma propriedade é difícil ocorrer uniformidade em produções sucessivas (LIMA, 1982).

A fabricação de farinha ocorre nos “retiros ou casas de farinha” de agricultores familiares, com infraestrutura rústica, processo artesanal de produção e na informalidade. Dois grupos de farinha, que se destacam, são classificados de acordo com seu o processo de produção: farinha de mandioca d’água e farinha de mandioca seca, divididas em diferentes granulometrias (fina, média e grossa). A principal diferença entre as farinhas d’água (farinha de puba) e a seca é a existência de uma etapa prévia de fermentação na produção da farinha d’água, por aproximadamente três ou quatro dias (CHISTÉ e COHEN, 2006).

Como exemplo, uma “casa de farinha” situada no município de Castanhal dispõe de uma estrutura de porte médio, que usa processo artesanal de fabricação de farinha seca (em maior quantidade) e farinha d’água, com instalações rústicas, no entanto com bom nível de organização das etapas de produção, como mostra a Figura 2.4. Em estudos feitos pelo Pará observou-se a presença de retiros de farinha com apenas um forno e com metodologia totalmente manual e artesanal, com capacidade de produção de 3 sacos de farinha/trabalhador/ semana, totalizando 144 sacos de 60 kg de farinha por trabalhador/ ano (DERNANDIN, 2015).

Através da Figura 2.6, que apresenta a sequência do processo de produção para farinha seca e d’água, observa-se a etapa de amolecimento da raiz pela imersão em ao igarapé

Figura 2.6 - Fluxogramas de processamento da farinha de mandioca seca e farinha de mandioca d'água no município Castanhal, PA, 201



Fonte: Adaptado de Dernandin, 2015.

2.5 Modelagem matemática

A modelagem matemática é um método de reprodução de problemas da realidade em termos matemáticos, no objetivo de encontrar soluções para os problemas. Um modelo matemático pode ser conceituado como uma simplificação ou abstração de um (complexo) problema ou situação de dados reais numa forma matemática, transformando, assim, o problema real em um problema matemático. O problema matemático pode então ser resolvido por meio de quaisquer técnicas conhecidas para se obter uma solução matemática. Esta solução é, assim, interpretada e traduzida em termos reais (BERTONE *et al*, 2014).

Os benefícios da utilização da modelagem em termos de pesquisa podem ser observadas nos avanços alcançados em vários campos como a Engenharia, a Física, a Química e a Biologia, entre outros. Uma dos aspectos mais importantes da modelagem é que presume a multidisciplinaridade. E, por esse lado, vai na direção das novas tendências que indicam para a remoção de fronteiras entre as diversas áreas de pesquisa (BERTONE *et al*, 2014).

Partindo da dedução de que todas as ciências são simultaneamente teóricas e empíricas, conhecimentos em que a busca da verdade deve ser impulsionada por referências empíricas, associadas à atividade criadora, em que a pesquisa de leis para as quais a aplicação da lógica e das ferramentas matemáticas é primordial (formulação de problemas e ensaios de hipóteses a serem testadas e avaliadas), é simples perceber o potencial do emprego da modelagem nos campos científicos com métodos e propósitos comuns. Estudiosos que dominam a linguagem matemática apresentam contribuições relevantes para suas áreas de pesquisa e transitam com mais clareza entre os vários campos do conhecimento científico (BERTONE *et al*, 2014).

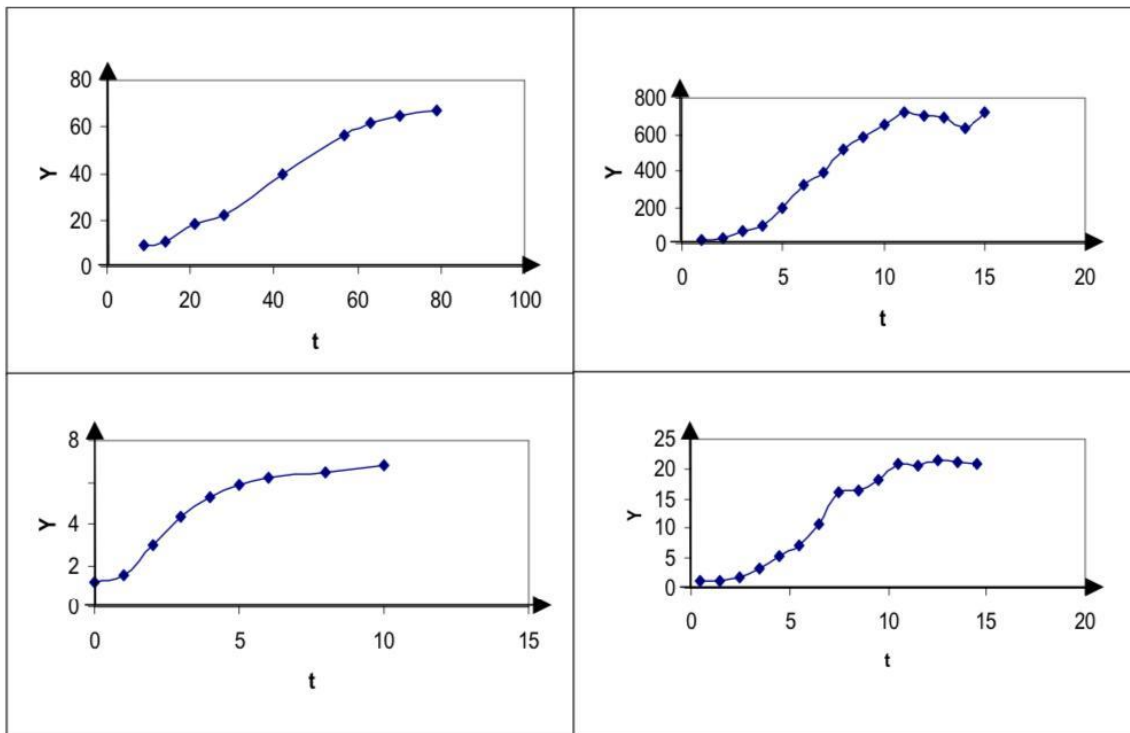
Para modelar ou descrever o comportamento de certos fenômenos ou sistemas por meio da matemática é necessário identificar as variáveis do modelo, ou seja, as leis que alteram o sistema, e possuir um conjunto de informações sobre o sistema que se deseja modelar. Tais modelos muitas vezes possuem como variáveis independente o tempo já que almejam descrever o comportamento do sistema no passado, presente e futuro (SOUZA, 2020).

2.6 Modelos de crescimento

Em várias áreas de pesquisa científica é uma atividade bastante comum analisar dados obtidos a partir de fenômenos de crescimento (dados de crescimento), os modelos usados em análise de dados de crescimento são, na maior parte, não lineares, fundamentados em considerações teóricas do fenômeno de crescimento em estudo (MAZUCHELI, 1995).

Muitas vezes os modelos mais preferidos nos processos de crescimento em forma de S, são as curvas sigmoidais ou modelos de crescimento sigmoidal (Figura 2.7).

Figura 2.7 - Diagrama de dispersão de experimentos que apresentam curvas sigmoidais, onde Y é a variável resposta e t é o tempo (Dados fictícios).



Fonte: UEDA, 2003.

2.6.1 Modelos de crescimento sigmoidal

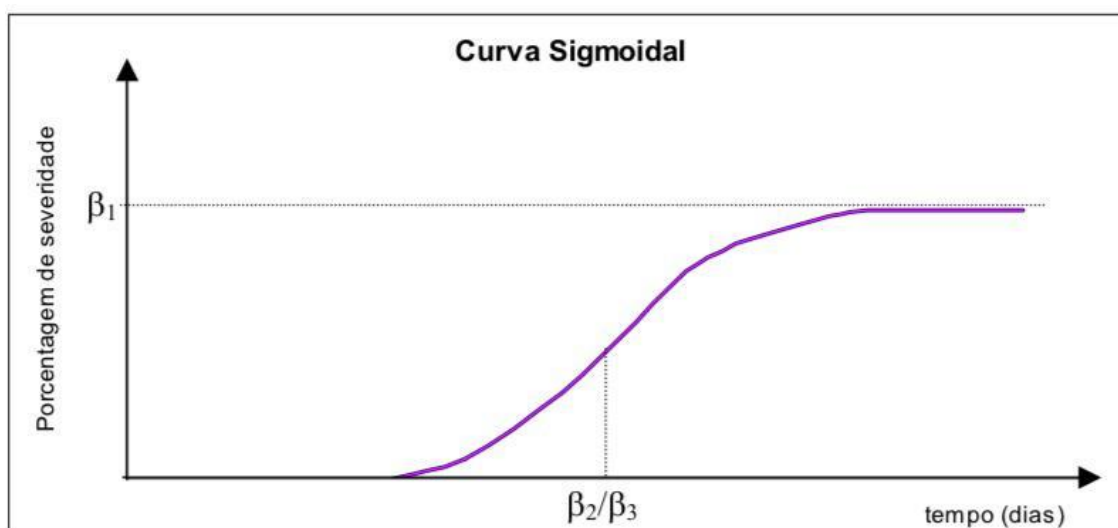
As curvas sigmoidais ocorrem de maneira bastante freqüente em Engenharia, Agronomia, Biologia, Ecologia, etc. De acordo com RATKOWSKY (1983), uma curva sigmóide inicia em algum ponto fixo, com a taxa de crescimento aumentando monotonicamente até atingir o ponto de inflexão e, em

seguida, essa taxa decai até aproximar, assintoticamente de algum valor final (Figura 2.7). Vários modelos matemáticos exibem esses comportamentos e são bastante utilizados na análise de dados de curvas de crescimento. Dentre esses modelos, têm-se o logístico, o de Gompertz, o tipo Weibull, o Morgan-Mercer-Flodin e o Richards.

O modelo logístico foi um dos modelos mais usados na análise de dados de curvas de crescimento para o estudo de populações humanas, e atualmente é usado na modelagem do crescimento de vegetais e animais (MAZUCHELLI, 1995). Segundo RATKOWSKY (1983), os parâmetros desse modelo possuem boas propriedades estatísticas, pois, em geral, os seus estimadores são dependentes e os modelos mostram medidas de curvatura não significativas, mesmo em casos onde a amostra não é muito grande.

Os modelos logísticos e os de Gompertz são modelos de curvas sigmoidais com três parâmetros, quais sejam: β_1 , β_2 e β_3 (Figura 2.8), enquanto que os modelos tipo-Weibull, Morgan-Mercer-Flodin e Richards são modelos que podem apresentar quatro parâmetros: β_1 , β_2 , β_3 e β_4 . Nesses modelos não lineares, os parâmetros citados, em geral, têm interpretações, a partir de considerações físicas (UEDA, 2003).

Figura 2.8 - Curva sigmoidal.



Fonte: Ueda, 2003.

2.6.2 Crescimento exponencial e logístico

Leonhard Euler deduziu no século dezessete um modelo para o crescimento de uma população utilizando uma Equação de diferenças e, no mesmo século, Daniel Bernoulli criou um modelo diferencial que demonstrava a disseminação da varíola. Em 1798, Thomas Robert Malthus (1766-1834) publicou um trabalho fundamentado no modelo de Euler onde a taxa de crescimento de uma população é proporcional ao tamanho da própria população (EDELSTEIN-KESHET, 2005), o modelo é:

$$\frac{dN}{dt} = kN \quad (5)$$

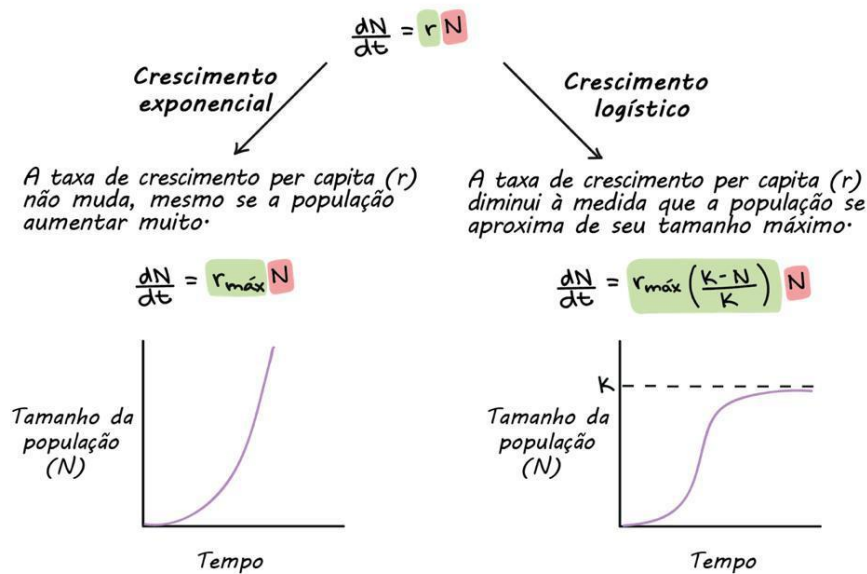
Nesta Equação, dN/dt corresponde a taxa de crescimento da população em um dado momento, N representa o tamanho da população, t refere-se ao tempo, e r é a taxa de crescimento per capita – ou seja, a velocidade com que uma população cresce por indivíduo já presente na população (RYE, 2016).

Quando estabelecido que não há movimento de indivíduos para dentro ou fora da população, o r é somente uma função das taxas de natalidade e mortalidade (RYE, 2016).

A Equação (5) é bastante abrangente, e pode-se derivá-la em formas mais específicas para descrever dois diferentes tipos de modelos de crescimento: o exponencial e o logístico (RYE, 2016)

Quando a taxa per capita de crescimento (r) assume o mesmo valor positivo, independentemente do tamanho populacional, então tem-se um crescimento exponencial. Por outro lado, quando a taxa per capita de crescimento (r) diminui à medida que a população aumenta em direção ao seu limite máximo, então tem-se um crescimento logístico (RYE, 2016). A Figura 2.9 ilustra a diferença entre crescimento exponencial e crescimento logístico.

Figura 2.9 - Ilustração de crescimento exponencial e logístico.



Fonte: Rye, 2016.

2.6.3 Crescimento exponencial

Um exemplo excelente de crescimento exponencial é o crescimento bacteriano em laboratório. No crescimento exponencial, a taxa de crescimento populacional torna-se maior ao longo do tempo, em proporção ao tamanho da população (RYE, 2016).

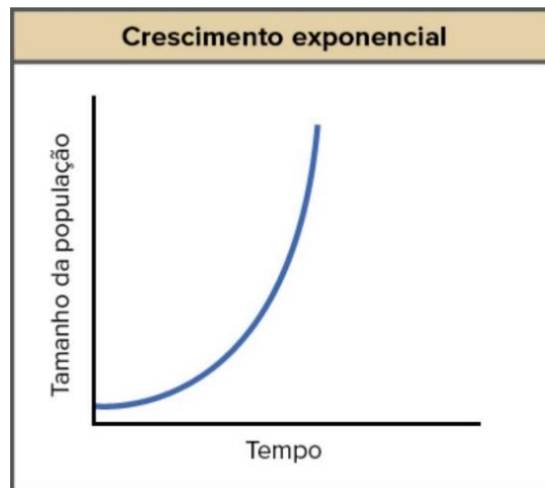
Para melhor entendimento tem-se, como exemplo, que as bactérias se reproduzem por fissão binária (se dividem ao meio), e o tempo entre as divisões é por volta de uma hora para a maioria das espécies de bactéria. Para visualizar este crescimento exponencial, inicia-se colocando 1000 bactérias em um frasco, com um suprimento inacabável de nutrientes (RYE, 2016).

Observa-se após 1 hora que cada bactéria se dividirá, produzindo 2000 bactérias (um aumento de 1000 bactérias). Em seguida, pós 2 horas cada uma das 2000 bactérias se dividirá, produzindo 4000 (um aumento de 2000actérias). Então, após 3 horas cada uma das 4000 bactérias se dividirá, produzindo 8000 (um aumento de 4000) (RYE, 2016)

A ideia central do crescimento exponencial é que a taxa de crescimento populacional — o número de organismos agregado em cada geração — aumenta

à medida que a população também cresce. E os resultados podem ser expressivos: após 1 dia (24 passos de divisão), a população de bactérias teria crescido de 1000 para mais de 16 bilhões (RYE, 2016). Quando o tamanho populacional, N , é planejado ao longo do tempo, uma curva de crescimento em forma de J se forma, como mostra a Figura 2.10.

Figura 2.10 - Gráfico de crescimento exponencial.



Fonte: Rye, 2016.

Com isso, obtém-se um crescimento exponencial quando r (a taxa de crescimento per capita) para a população é positiva e constante. Embora qualquer valor de r positivo e constante possa levar ao crescimento exponencial, quase sempre o crescimento exponencial é representado com um r de r_{max} . (RYE,2016)

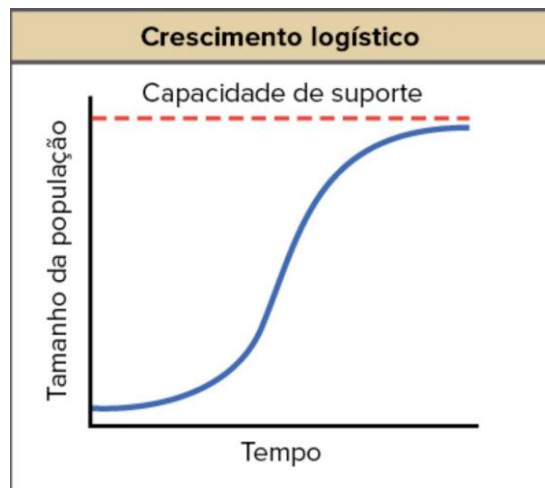
O termo r_{max} é a taxa máxima de aumento per capita para uma espécie em particular sob condições ideais, e que varia de espécie para espécie. Por exemplo, bactérias podem se reproduzir muito mais rápido do que seres humanos, e teriam uma taxa máxima de aumento per capita maior (RYE, 2016) A taxa máxima de crescimento populacional para uma espécie, às vezes chamada de seu potencial biótico, é expressa na seguinte Equação (6):

$$\frac{dN}{dT} = r_{max}N \quad (6)$$

2.6.4 Crescimento logístico

O crescimento exponencial pode existir durante algum tempo nas seguintes condições: poucos indivíduos e muitos recursos. No entanto, quando o número de indivíduos cresce disparadamente, os recursos começam a se esgotar, diminuindo a taxa de crescimento. Com isso, a taxa de crescimento ficará estável ou diminuirá, formando uma curva em forma de S, como mostra a Figura 2.11. O tamanho da população em que ela se torna estável, representa o tamanho máximo de população que um determinado ambiente pode suportar e é chamada de capacidade de carga, ou K (RYE, 2016).

Figura 2.11 - Gráfico de crescimento logístico.



Fonte: Rye, 2016

Dessa forma, pode-se descrever matematicamente o crescimento logístico, modificando a equação de crescimento exponencial, usando um r (taxa de crescimento per capita) que depende do tamanho da população (N) e de e da sua proximidade com a capacidade de carga (K). Assumindo que a população tem uma taxa base de crescimento r_{max} quando é muito pequena, pode-se escrever a seguinte Equação:

$$\frac{dN}{dT} = r_{max} \frac{(K-N)}{K} N \quad (7)$$

Analisando esta Equação, tem-se que em qualquer momento do crescimento populacional, a expressão $K - N$ nos diz quantos indivíduos ainda podem ser adicionados à população, antes que ela alcance sua capacidade de

carga. $(K - N)/K$ é a fração da capacidade de carga que ainda não foi "utilizada". Quanto mais capacidade de carga for consumida, mais o termo $(K - N)/K$ irá reduzir a taxa de crescimento (RYE, 2016).

Quando a população é muito reduzida, N é muito pequeno comparado a K . O termo $(K - N)/K$ torna-se aproximadamente K/K , ou 1, voltando a ser uma equação exponencial. Isso se enquadra no nosso gráfico acima: a população cresce quase exponencialmente no princípio, mas vai se estabilizando cada vez mais ao se aproximar de K (RYE, 2016).

2.7 Balanço de massa

O balanço de massa (ou material) se baseia no princípio de conservação da massa, sendo feito através da contabilidade de material que entra e deixa um sistema determinado por uma fronteira, seja ela uma corrente, um equipamento ou processo. A aplicação do mesmo depende do contexto do problema em análise, mas é regido pelo fato de que matéria não pode desaparecer e nem ser criada (JUNIOR, 2010).

Os balanços material e energético, de modo geral, são a primeira etapa na solução de um problema de engenharia química, seja ele simples ou complexo. No estudo das operações unitárias da engenharia química, se a mesma envolver apenas transferência de massa entre as correntes, apenas o balanço material será necessário. Se envolver transferência de calor entre as correntes, ou entre o exterior do equipamento, também é aplicado o balanço de energia (BRASIL, 2004).

Segundo AQUIM (2004), o balanço de massa é fundamentado na lei de conservação de massa, ou de Lavoisier, que nos diz que a massa não pode ser criada, nem destruída. Logo, não havendo acúmulo de massa no interior de um equipamento, tem-se ao longo de um determinado intervalo de tempo que:

$$m_{entra} = m_{sai} \quad (2)$$

É possível ser realizado dois tipos de balanços: o balanço global ou o balanço parcial, que condiz ao balanço para cada um dos componentes presentes no sistema. A soma dos balanços parciais representa o balanço global, o qual sempre deve ser satisfeito (BRASIL, 2004; HIMMELBLAU, 2006).

No balanço parcial, é importante considerar a transição da espécie química em análise, e o balanço é determinado pela Eq.2 (BRASIL, 2004).

$$\textit{Taxa de Entrada} + \textit{Taxa de Geração} = \textit{Taxa de Saída} + \textit{Taxa de Consumo} + \textit{Taxa de Acúmulo} \quad (3)$$

Os termos geração e consumo representam ganho e perda do processo e estão presentes sempre que ocorrem reações químicas no processo, e o balanço é em base molar ou mássica. Se o processo opera em regime estacionário, o termo acúmulo será igual à zero. Para se determinar qual a fração de cada componente que está presente nas correntes é utilizada a Eq.3 (BRASIL, 2004; BADINO, 2011).

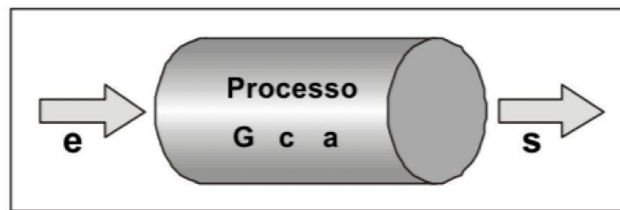
Para análise de um novo processo e bem como de um processo já existente, o balanço de massa é fundamental. O funcionamento de um processo pode ser classificado conforme o comportamento das variáveis ao longo do tempo. No regime estacionário, os valores das variáveis de processo (temperatura, pressão, vazões, concentrações, etc) não variam com o tempo em qualquer posição fixa e, em regime transiente, os valores das variáveis de processo variam com o tempo em alguma posição fixa do processo (AQUIM, 2004).

Na concepção de um balanço de massa devem ser bem determinados: o volume de controle, um equipamento ou um conjunto de equipamentos e as correntes envolvidas no balanço de massa que passam das fronteiras do volume de controle. Assim, o balanço de massa é a descrição de um material específico em relação a um sistema estabelecido (AQUIM, 2004).

Um sistema é conceituado por meio da sua transferência de massa através de sua fronteira, durante o intervalo de tempo de interesse, em aberto (há transferência de material através da fronteira do sistema) e fechado (não há transferência de material através da fronteira do sistema) (AQUIM, 2004).

A Figura 2.12 representa o esquema de um balanço de massa de qualquer processo.

Figura 2.12 - Balanço de massa genérico.



Fonte: Aquim, 2004.

O balanço da grandeza em relação a fronteira estabelecida é dado pela Equação:

$$\{e\} - \{s\} + \{G\} - \{c\} = \{a\} \quad (4)$$

Onde esta sendo representado: quantidade da grandeza que entra através da fronteira (e), quantidade da grandeza que sai através da fronteira (s), quantidade da grandeza gerada no interior do sistema (G), quantidade da grandeza consumida no interior do sistema (c) e a quantidade da grandeza acumulado no interior do sistema (a). Qualquer serviço de gestão passa antes de tudo pelo conhecimento das variáveis que agem sobre o sistema analisado (AQUIM, 2004).

2.8 Transformada de Laplace

Basicamente, a transformada de Laplace é uma transformação semelhante a derivação ou integração, pois leva função em outra função. Para mais, essa transformação leva a derivada de uma função em produtos da função original. Isso explica que essa transformação leva uma equação diferencial a uma nova equação em termos da função transformada que é algébrica e pode facilmente ser resolvida. Vista que a transformada de Laplace é conhecida, tem-se que calcular a transformada inversa para obter a solução do problema (STRAUCH, 2016; ZILL, 2012).

Seja $f(t)$ uma função definida nos reais não negativos. Quando a integral:

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad (8)$$

for convergente, ela será chamada de transformada de Laplace da função $f(t)$.

A transformada de Laplace $\mathcal{L}\{f(t)\}$ de uma função $f(t)$ é uma função da variável s . A notação usual neste contexto é letra minúscula para a função e letra maiúscula para a transformada: $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s)$, $\mathcal{L}\{g(t)\} = G(s)$, $\mathcal{L}\{h(t)\} = H(s)$. Nos próximos exemplos, aplica-se a definição para calcular a transformadas de Laplace de algumas funções (SAUTER *et al.*, 2020).

2.8.1 Condição de existência da transformada de Laplace

A integral que determina a transformada de Laplace nem sempre converge e, nessa situação, pode-se dizer que a função não possui transformada de Laplace. As funções $f(t) = e^{t^2}$ e $f(t) = \frac{1}{t}$ são alguns dos exemplos de funções que não possuem transformada de Laplace. Neste capítulo, tem-se a introdução de um conjunto de funções que possuem transformada de Laplace.

Neste cenário, considera-se as funções que são contínuas por partes, ou seja, aquelas que possui um número finito de descontinuidade (SAUTER *et al.*, 2020).

Pode-se dizer que uma função $f(t)$ é de ordem exponencial c se existem constantes c , $M > 0$ e $T > 0$ tal que $|f(t)| \leq Me^{ct}$ para todo $t > T$ (SAUTER *et al.*, 2020).

Teorema 1: Se $f(t)$ é integrável em cada intervalo $[a, b] \subset [0, \infty)$ e de ordem exponencial c , então a transformada de Laplace de $f(t)$ existe para $s > c$ (SAUTER *et al.*, 2020).

Exemplo 1: Como a função $f(t)$ é de ordem exponencial c , então existem constantes c , $M > 0$ e $T > 0$ tal que $|f(t)| \leq Me^{ct}$ para todo $t > T$. Dessa forma, se \hat{T} é maior ou igual a T , a transformada de Laplace pode ser escrita como a seguinte soma (SAUTER *et al.*, 2020):

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = \int_0^{\hat{T}} f(t)e^{-st} dt + \int_{\hat{T}}^0 Me^{ct} e^{-st} dt \quad (9)$$

A primeira parcela do lado direito é a integral do produto de duas funções integráveis no intervalo $[0, \hat{T}]$, logo, está bem estabelecido. Agora, como $\hat{T} > T$, pode-se estimar (SAUTER *et al.*, 2020):

$$\begin{aligned} \left| \int_{\hat{T}}^{\infty} f(t) e^{-st} dt \right| &\leq \int_{\hat{T}}^{\infty} |f(t)| e^{-st} dt \leq \int_{\hat{T}}^{\infty} f(t) e^{-st} dt = M \int_{\hat{T}}^{\infty} e^{-(s-c)t} dt = \\ &= \frac{M}{c-s} e^{-(s-c)t} \Big|_{\hat{T}}^{\infty} = \frac{M}{c-s} e^{-(s-c)\hat{T}}, \quad s > c. \end{aligned} \quad (10)$$

Como $\lim_{\hat{T} \rightarrow \infty} \frac{M}{c-s} e^{-(s-c)\hat{T}} = 0$, a integral $\int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$ converge para todo $s > c$, ou seja, a transformada de Laplace existe neste domínio. Vale resaltar que, o teorema 1 apresenta condições suficientes para existência da transformada de Laplace, estas condições não são, porém, indispensáveis. Por exemplo, a função $f(t) = \ln(t)$ não é contínua na origem, nem ao menos é limitada quando $t \rightarrow 0+$, mas admite uma Transformada de Laplace (SAUTER *et al.*, 2020).

Teorema 2.: (Comportamento no infinito) Se a transformada de Laplace de uma função limitada $f(t)$ existe, $F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$ (SAUTER *et al.*, 2020), então:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} F(s) = 0 \quad (11)$$

Exemplo 2: iniciando pela definição,

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \quad (12)$$

Fazendo $u = st$, tem-se:

$$|F(s)| \leq \frac{M}{s} \int_0^{\infty} e^{-u} du = \frac{M}{s} \quad (13)$$

Usando o fato que f é limitada, existe M tal que $|f(t)| < M$ e, assim,

$$F(s) = \frac{1}{s} \int_0^{\infty} f\left(\frac{u}{s}\right) e^{-u} du \quad (14)$$

Portanto, $|F(s)| \rightarrow 0$ quando $s \rightarrow \infty$, o que implica em:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} F(s) = 0 \quad (15)$$

2.9 A utilização de tubérculos em processos de adsorção

Em ALFREDO (2013), realizou-se o estudo da adsorção de azul de metileno em casca de batata, com o objetivo de verificar a viabilidade da utilização da casca de batata (*Solanum tuberosum* L) como adsorvente alternativo usando ensaios de adsorção com o corante azul de metileno. Na cinética de adsorção o equilíbrio do sistema foi alcançado no tempo de 1 hora e o modelo que se ajustou aos dados cinéticos foi o de pseudo-segunda ordem. No método de adsorção em batelada, o modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos dados das isotermas, apresentando um valor de quantidade máxima adsorvida ($q_{\text{máx}}$) de 48,7 mg g⁻¹. No estudo de adsorção em coluna de leito fixo a capacidade máxima de adsorção da coluna foi de 35,83 mg g⁻¹.

No trabalho de NETO (2019), foi abordado a adsorção de fósforo em meio aquoso utilizando resíduo agrícola de mandioca (*manihot esculenta*) como bioadsorvente, no objetivo de caracterizar e avaliar o potencial de adsorção da casca de mandioca na remoção de fósforo em meio aquoso. O processo de adsorção foi avaliado por meio de cinética e isoterma de adsorção, modelando esse comportamento de acordo com equações descritas na literatura. Na cinética, o modelo Elovich se ajustou melhor ao experimento, sendo o bioadsorvente produzido a 700 °C o que obteve o melhor desempenho. A capacidade de adsorção se equipareu a outros adsorventes agrícolas, sendo o modelo de Freundlich o que mais se adequou ao comportamento dos dados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação das amostras

3.1.1 Preparação das amostras de água

Para a amostra da água do rio, o frasco de plástico foi aberto e lavado três vezes com a água do rio a ser coletada, em seguida mergulhou-se o frasco no rio e a água foi recolhida até encher $\frac{3}{4}$ ou (75%) do frasco (Figura 3.1), por fim o frasco foi fechado e identificado (Figura 3.2). Foram produzidas amostras em triplicatas do Porto da Aldeia Indígena Cateté (Ponto C) e do Porto Aldeia Indígena Djudjeko.

Figura 3.1 – Coleta da água do Rio Cateté.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Figura 3.2 – Frasco fechado e identificado com água do Rio Cateté.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

A Figura mostra o Porto da Aldeia Cateté, cuja a coordenada é 06°15'24.84"S - 50°47'49.28"W, e o Porto Aldeira Djudjedko, com coordenada de 06°18'5.96"S - 50°54'14.08"W.

Figura 3.3 – Pontos da Aldeia Cateté e da Aldeia Djudjedko.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

3.1.2 Preparação das amostras de mandioca

As amostras de mandioca foram preparadas da mesma maneira que a mandioca é preparada pelos indígenas para etapa de amolecimento. Todas as amostras foram preparadas em triplicatas.

Para o Ponto C (Porto da Aldeia Cateté) foram preparados 8 sacos de rafia de 10 kg com mandioca, sendo que 01 saco foi mantido em *in natura*. Enquanto o restante dos sacos, foram imersos na água do rio e retirados em 6, 12, 18, 24, 30, 36 e 48 horas.

Devido a mandioca do Ponto D (Porto da Aldeia Djedko) atingir seu ponto de amolecimento em menos tempo, foram preparados apenas 7 sacos de rafia de 50 kg com mandioca. Em seguida 6 sacos de amostra foram expostos a água do rio por tempos de 6, 12, 18, 24, 30 e 48 horas. Apenas 01 saco foi mantido em *in natura*.

A Figura 3.2 mostra a momento em que os sacos com mandioca são depositadas no rio.

Figura 3.4 – Sacos com mandioca sendo imersos no Rio Cateté.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

3.2 Análise química

3.2.1 Análise da água

Todas as análises químicas foram realizadas por um laboratório particular credenciado. As amostras da água foram submetidas a análise através da metodologia SM22 MÉTODO 3500 Pb D, com referência na resolução do CONAMA 357/05 que estabelece o valor máximo de 0,01 mg/l em águas.

3.2.2 Análise da mandioca

As amostras foram submetidas a análise para identificação de teores de chumbo, através da metodologia AOAC Official Method 2013.06 adapt., no objetivo de se estudar o comportamento de absorção do tubérculo mediante a exposição na água do rio. As amostras mantidas *in natura* também foram submetidas à análise química.

3.2.3 Análise da farinha

Se a mandioca exposta a água do rio contaminado é um dos veículos de contaminação dos indivíduos da comunidade, seria necessário produzir a farinha a partir da mandioca contaminada e verificar sua composição pós-produção.

Para responder a essa questão analisou-se a farinha produzida pelos índios a partir da mandioca exposta a água do rio por 48 horas e através da metodologia AOAC Official Method 2013.06 adapt.

3.2.4 Análise do lodo

O lodo encontrado nas margens do rio tem em sua composição materiais sólidos orgânicos tipo vegetais e oleaginosos, microorganismos aquáticos, e metais tóxicos o qual dentre estes foi encontrado o chumbo. Os lodos ocorrem em rios contaminados e que devido ao processo de autodepuração biológica e mineral formam-se como medida de atividade de descontaminação natural do meio ambiente aquático, esse lodo ocorre, provavelmente, devido ao rio está contaminado por chumbo e outros elementos metálicos.

No objetivo de se encontrar como o chumbo está contaminando os tubérculos exposto as águas do rio, foi observado que o metal chumbo se adsorve em fibras de vegetais, porque é diretamente proporcional a área de contato das

fibras dos tubérculos e ao tempo de contato. Deste modo, como nas margens e ao longo de todo rio, foi observado que vêm se formando abundantemente, um lodo de cor estranha, cinza e verde, executou-se a coleta de amostras desse lodo para a posterior análise química mineralógica por meio da metodologia USEPA 3050B:1996ver.2/6010C:200.

A Figura 3.3 mostra a formação do lodo na margem do rio.

Figura 3.5 – Lodo em formação nas margens



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

A Figura 3.4 mostra o lodo já formado na margem do rio.

Figura 3.6 – Lodo formado nas margens



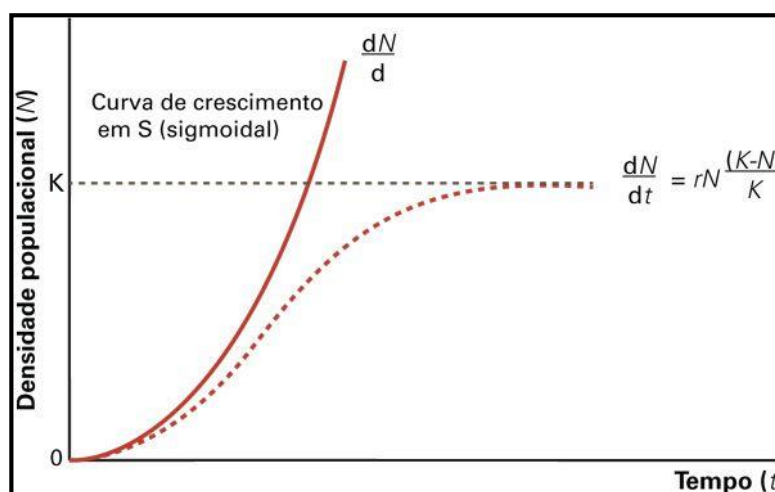
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

3.3 Modelagem matemática

3.3.1 Obtenção do modelo matemático

Através do estudo de dados químicos do rio (Ponto C e Ponto D), estimou-se as teorias que envolviam o fenômeno. Tendo como primeiro fundamento teórico, a curva do tipo s, conhecida como sigmoidal, que é expressa pela equação do crescimento logístico. O crescimento logístico ou sigmoidal envolve o crescimento exponencial da população seguido por uma redução constante no crescimento populacional até que o tamanho da população se estabilize, assumindo uma curva em forma de S (Figura 3.4). A partir disso, obteve-se a primeira equação que atende ao processo de adsorção.

Figura 3.4 - Aumento exponencial (linha contínua) e Aumento sigmoidal (linha tracejada) do densidade populacional (N) com o tempo.



Fonte: USP – Disciplinas, 2022.

Observando o fenômeno, percebeu-se que estava havendo ganho e perda de massa adsorvida durante todo o processo. Então com o intuito de completar a modelagem, o balanço de massa foi considerado para esta segunda etapa e resolvido por transformada de Laplace.

3.3.2 Simulação do modelo matemático

Após a criação do modelo matemático, foi realizada a simulação normal e de extrapolação, em que os gráficos foram plotados através do Microsoft Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise química

4.1.1 Análise da água

A Tabela 4.1 apresenta o resultado obtido da análise química da água do Porto da Aldeia Indígena Cateté (Ponto C).

Tabela 4.1 – Resultado da determinação de chumbo na água - Ponto C.

Metal	Resultado
Chumbo	Não Identificado

É possível observar que não foi detectado teor chumbo de acordo com a resolução do CONAMA 357/05 que estabelece o valor máximo de 0,01 mg/l em águas. Por outro lado, para o Porto da Aldeia Indígena Djudjedko (Ponto D) o resultado obtido foi de 0,002 mg/l, como mostra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultado da determinação de chumbo na água - Ponto D.

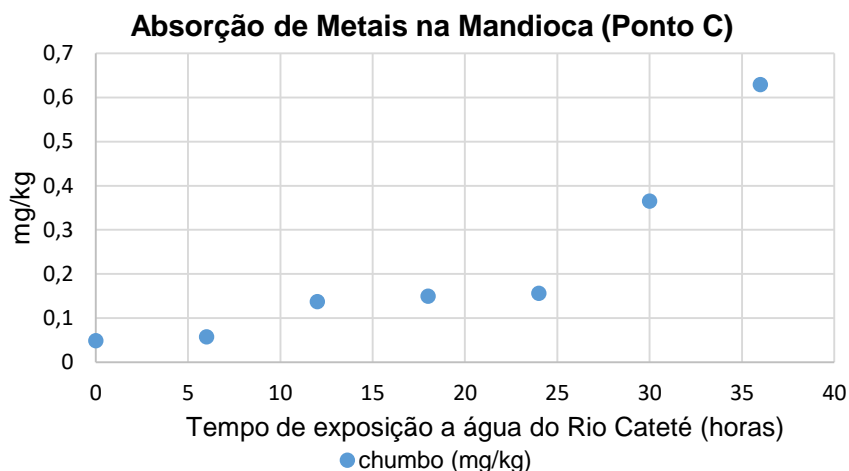
Metal	Resultado
Chumbo	0,002

Notou-se que o teor de chumbo encontrado na análise química do Ponto D, apesar de ser relativamente baixo, foi capaz de acumular ao compor o Lodo.

4.1.2 Análise da mandioca

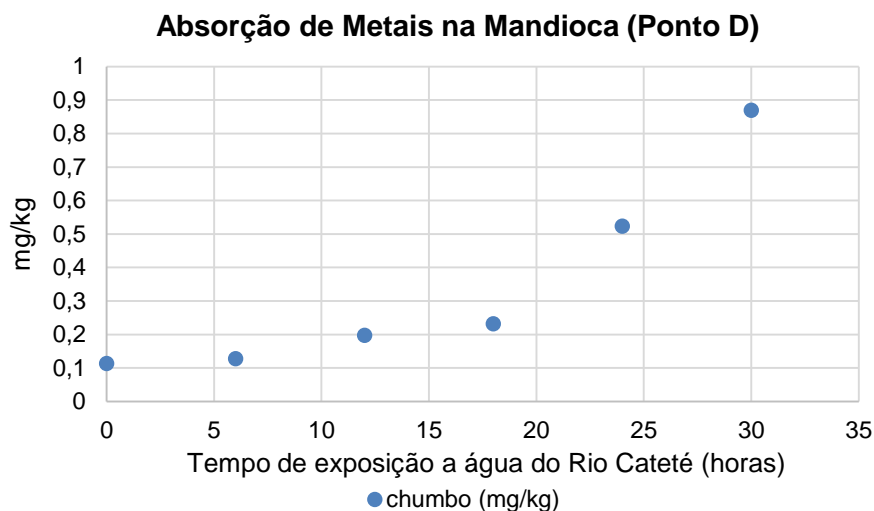
Após os procedimentos de análises laboratoriais, obtiveram-se como resultados um perfil comportamental indicativo de que a mandioca adsorve em suas fibras o metal pesado “chumbo”, exibindo um contorno característico de uma curva exponencial. Os resultados da análise, em função do tempo de exposição ao rio, estão apresentados nos gráficos das Figuras 4.1 e 4.2 a seguir:

Figura 4.1 – Gráfico obtido do comportamento da adsorção de metais pesados pela mandioca exposta a água do Rio Cateté no Porto da Aldeia Cateté



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Figura 4.2 – Gráfico obtido do comportamento da adsorção de metais pesados pela mandioca exposta a água do Rio Cateté no Porto da Aldeia Djudjeko.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

O comportamento, com o perfil bastante parecido das curvas, referentes a adsorção do metal chumbo sugerem um modelo único com características do padrão sigmoidal para representar o comportamento característico do fenômeno.

Outro fato notado através dos resultados da análise, é que a mandioca mantida *in natura* apresentou teor de chumbo em sua composição, sendo de 0,048 mg/kg para o Porto da Aldeia Cateté (Ponto C) e de 0,114 mg/kg para o Porto da Aldeia Djudjeko.

Observou-se também, que após 18 horas no Ponto D e 24 horas no Ponto C de exposição da mandioca no rio, a absorção se eleva consideravelmente, os indígenas para evitar o amolecimento exagerado do alimento, o retira do rio. É importante observar, conforme o tipo de mandioca, que no processo deverá ocorrer um ponto temporal em que a mandioca amolece totalmente e expõe ao máximo suas fibras para receberem o metal, e daí em diante, a curva característica, então, deverá ficar constante ou entrar em decaimento devido a influência das correntes de água do rio.

É considerável ressaltar, que os índices de chumbo na água do Ponto C, estão abaixo do limite da legislação do CONAMA, mas que mesmo assim, sua absorção surpreende. Outra verificação relevante, é que o Ponto D está localizado mais próximo de um empreendimento minerário e se tem demonstrado maior índice de contaminação por metais pesados do que no Ponto C, se observarmos o resultado do gráfico, verificam-se que em menos tempo a mandioca adsorve uma massa maior de metais.

No ponto do Ponto C, enquanto se tem uma massa adsorvida de 0,63 mg/kg em 36 horas, verificam-se no ponto do Ponto D que em apenas 30 horas os tubérculos de mandioca absorvem 0,87 mg/kg de chumbo, um valor bastante expressivo de contaminação, haja visto que, o limite máximo imposto pelo CONAMA para o metal chumbo em alimentos tubérculos, aponta para uma concentração de 0,1 mg/kg.

4.1.3 Análise da farinha

Após a mandioca ter amolecido o suficiente para a execução dos procedimentos de preparo da farinha de mandioca, levou-se as amostras para ser processada para a produção da farinha de mandioca. Após a produção, a farinha obtida foi analisada. O resultado da análise da concentração do chumbo na farinha exposta a água do Ponto C está expresso na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Resultado da determinação de metais na farinha de mandioca exposta a água do Ponto C.

Metal	Resultado
Chumbo	0,63 mg/kg

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Verifica-se que o teor de chumbo na farinha continua com o mesmo valor de teor de composição da mandioca exposta ao rio, no momento que se retirou as amostras para o preparo, em que ao final das 36 horas de molho, alcança o valor de 0,63 mg/kg.

A seguir é apresentada a Tabela 4.4 contendo os resultados da análise físico-química da farinha de mandioca obtida a partir da mandioca em contato com a água do Ponto D, com intuito no amolecimento, fase necessária para a produção da farinha.

Tabela 4.4 – Resultado da determinação de metais na farinha de mandioca exposta a água do Ponto D.

Metal	Resultado
Chumbo	0,913 mg/kg

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Observou-se que o teor de chumbo obtido na farinha foi maior que o teor encontrado na mandioca exposta ao rio, onde ao final das 30 horas de molho, alcançou o valor de 0,87 mg/kg, enquanto que o detectado na farinha foi de 0,913 mg/kg.

Esse aumento na concentração de chumbo, após os procedimentos de preparo do alimento da mandioca do Ponto D, pode se dar pela fase de retirada de líquido das amostras e pelo fato da amostra de mandioca utilizada para a produção de farinha ter sido mantida por 48 horas imersa no água do rio.

Diante disso, esses resultados evidenciam que não ocorre perdas após o processo de lavagem, trituração, desaguamento e secagem no forno, durante o preparo da farinha da mandioca.

4.1.4 Análise do lodo

Este lodo foi submetido a verificação de sua composição química e, na análise foi identificada uma alta taxa de chumbo em sua formação.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados da análise da concentração do chumbo realizada no lodo do Ponto C.

Tabela 4.5 - Resultados da Análise do Lodo (Ponto C).

Metal	Resultado
Chumbo	2,58 mg/kg

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

A Tabela 4.6 apresenta os resultado médio das análises realizadas no lodo do Ponto D.

Tabela 4.6 - Resultados da Análise do Lodo (Ponto D).

Metal	Resultado
Chumbo	2,90 mg/kg

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

As análises de chumbo indicaram que a média de concentração mássica no lodo do Ponto C é de 2,58 mg/kg, enquanto que no ponto referente ao Ponto D a concentração de chumbo exibida foi de 2,9 mg/kg, lembrando que o limite do CONAMA para tubérculo é de 0,1 mg/g. Assim os valores de concentração desse lodo foram utilizados como concentração limite para a adsorção na mandioca, haja vista que as amostras de mandioca ficaram bem próximas do lodo.

Observando-se que no ponto em que se põe a mandioca de molho há muito lodo ao redor e que nas análises da água do rio não encontrou-se chumbo em alto grau, concluiu-se que a contaminação das mandiocas são fruto do chumbo contido nesses lodos.

4.2 Modelagem matemática

4.2.1 Resolução a partir da sigmoideal

Na concepção do modelo matemático deste estudo, primeiro foi trabalhado a aplicação de um elemento básico da ciência que inicialmente pudesse descrever a etapa de amolecimento da mandioca, operação utilizada pelos indígenas, na produção da farinha, onde a mandioca é imersa no rio durante alguns dias.

Sabendo que, a adsorção em um sistema sólido-líquido, é a remoção de solutos da solução e sua acumulação na superfície do sólido, e que ocorre quando a substância a ser adsorvida é atraída à superfície do adsorvente. As forças que atraem o adsorvato da solução para a superfície do adsorvente podem diminuir a cada camada acumulada na superfície do sólido (HEMSI, 2001).

Através da análise química e da observação do fenômeno que ocorre no processo de imersão da mandioca no rio, percebeu-se que a medida que as partículas de chumbo são depositadas na superfície das fibras em camadas superpostas por meio eletricidade estática. Essa atração diminui, com a distância, segundo a lei de Coulomb, deste modo, quando aumenta o número de camadas superposta, aumenta distância da área de adsorção até as camadas de metais depositadas, em que a força de elétrica entre a área de adsorção e as camadas vai diminuindo, até não ter mais força suficiente para adsorção, estabelecendo dessa forma, um valor máximo de concentração do chumbo.

Quando for atingido a quantidade máxima, o crescimento ficará estável ou diminuirá, formando uma curva em forma de S, conhecida como sigmoideal. Além disso, a quantidade em que ela se torna estável, representa o valor máximo que o tubérculo pode adsorver e é chamado de capacidade de carga, ou K (RYE, 2016).

Pode-se modelar matematicamente esse crescimento logístico, modificando a Equação (1) de crescimento populacional, usando K (constante) que depende da quantidade de adsorção (N) que varia com o tempo (t). Pode-se escrever a seguinte Equação (RYE, 2016):

$$\frac{dN}{dt} = k \cdot \frac{(k-N)}{k} \cdot N \quad (16)$$

Em qualquer momento do crescimento, a expressão $K - N$, nos diz quanto ainda pode ser adsorvido, antes que ela alcance sua capacidade de carga. Enquanto, $\frac{(k-N)}{k}$ é a fração da capacidade de carga que ainda não foi "utilizada". Quanto mais capacidade de carga for consumida, mais o termo $\frac{(k-N)}{k}$ irá reduzir o valor de adsorção (RYE, 2016).

Mudando as variáveis para o estudo em questão, tem-se:

$$\frac{d\rho'(t)}{dt} = k \cdot \frac{(k-\rho')}{k} \cdot \rho' \quad (17)$$

Onde: ρ' : Concentração;

t: Tempo;

k: Constante.

Iniciando a resolução separando as variáveis, em que:

$$\frac{d\rho'(t)}{\rho'(k-\rho')} = \frac{k}{k} dt \quad (18)$$

Integrando os dois lados,

$$\int \frac{d\rho'(t)}{\rho'(k-\rho')} = \frac{k}{k} \int dt \quad (19)$$

Considerando que:

$$\frac{1}{\rho'(k-\rho')} = \frac{A}{\rho'} + \frac{B}{(k-\rho')} \quad (20)$$

Para A e B, tem-se:

$$1 = \frac{A\rho'(K-\rho')}{\rho'} + \frac{B\rho'(K-\rho')}{K-\rho'} \quad (21)$$

Sendo a solução,

$$A = \frac{1}{k}; B = \frac{1}{k} \quad (22)$$

Assim, substituindo a equação (21) na Equação (19), tem-se

$$\frac{1}{\rho(K-\rho')} = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{\rho'} + \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{(K-\rho')} \quad (23)$$

Colocando $\frac{1}{k}$ em evidencia,

$$\frac{1}{\rho'(K-\rho')} = \frac{1}{K} \left(\frac{1}{\rho'} + \frac{1}{(K-\rho')} \right) \quad (24)$$

Então, substituindo na Equação (18), obteve-se:

$$\int \frac{1}{k} \left(\frac{1}{\rho'} + \frac{1}{K-\rho'} \right) d\rho'(t) = \frac{|K}{K} \int dt \quad (25)$$

Assim,

$$\frac{1}{k} \int \frac{d\rho'(t)}{\rho'} + \frac{d\rho'(t)}{k-\rho'} = \frac{|k}{k} \int dt \quad (26)$$

$$\frac{1}{K} \int \left(\frac{1}{\rho'} + \frac{1}{K-\rho'} \right) d\rho'(t) = \frac{|K}{k} \int dt \quad (27)$$

$$\int \left(\frac{1}{\rho'} + \frac{1}{K-\rho'} \right) d\rho'(t) = |K \int dt \quad (28)$$

Utilizando o método de substituição,

$$\ln|\rho'| - \ln|k - \rho'| = |k \cdot t + \mathbb{C} \quad (29)$$

$$\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|} = |K \cdot t + \mathbb{C} \quad (30)$$

Quando $t=0$, $\rho'=\rho'_0$

$$\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|} = |K \cdot 0 + \mathbb{C} \quad (31)$$

$$\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|} = \mathbb{C} \quad (32)$$

$$e^{\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|}} = e^{\mathbb{C}} \quad (33)$$

$$\mathbb{C} = \frac{\rho'_0}{k-\rho'_0} \quad (34)$$

Retornando a Equação (30), tem-se:

$$\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|} = |k.t + \mathbb{C} \quad (35)$$

$$e^{\ln \frac{|\rho'|}{|K-\rho'|}} = e^{|k.t + \mathbb{C}} \quad (36)$$

$$\frac{|\rho'|}{|K-\rho'|} = e^{K.t} \cdot e^{\mathbb{C}} \quad (37)$$

Onde $e^{\mathbb{C}} = \frac{\rho'_0}{k-\rho'_0}$, tem-se:

$$\frac{\rho'(t)}{k-\rho'(t)} = \frac{\rho'_0}{k-\rho'_0} \cdot e^{|k.t} \quad (38)$$

$$\rho'(t) = (K - \rho'(t)) \frac{\rho'_0}{K-\rho'_0} e^{|K.t} \quad (39)$$

$$\rho'(t) = \frac{K\rho'_0 e^{|K.t} - \rho'(t)\rho'_0 e^{|K.t}}{K-\rho'_0} \quad (40)$$

$$\rho'(t) + \frac{\rho'(t)\rho'_0 e^{|K.t}}{K-\rho'_0} = \frac{K\rho'_0 e^{|K.t}}{K-\rho'_0} \quad (41)$$

$$\rho'(t) = \left[\frac{\rho'_0}{(k-\rho'_0)} \cdot K - \frac{\rho'_0}{(K-\rho'_0)} \cdot \rho'(t) \right] \cdot e^{k.t} \quad (42)$$

$$\rho'(t) \left(1 + \frac{\rho'_0 e^{k.t}}{K-\rho'_0} \right) = \frac{K\rho'_0 e^{k.t}}{K-\rho'_0} \quad (43)$$

$$\rho'(t) = \frac{\frac{\rho'_0}{(k-\rho'_0)} \cdot k \cdot e^{k.t}}{1 + \frac{\rho'_0}{(k-\rho'_0)} \cdot e^{k.t}} \quad (44)$$

A partir disso, obteve-se a Equação que expressa a concentração de adsorção:

$$\rho'(t) = k \cdot \frac{e^{k.t}}{\left(\frac{k}{\rho'_0} - 1\right) + e^{k.t}} \quad (45)$$

Onde:

$\rho'(t)$: Concentração final do elemento chumbo em relação ao tempo;

ρ'_0 : Concentração inicial do elemento chumbo;

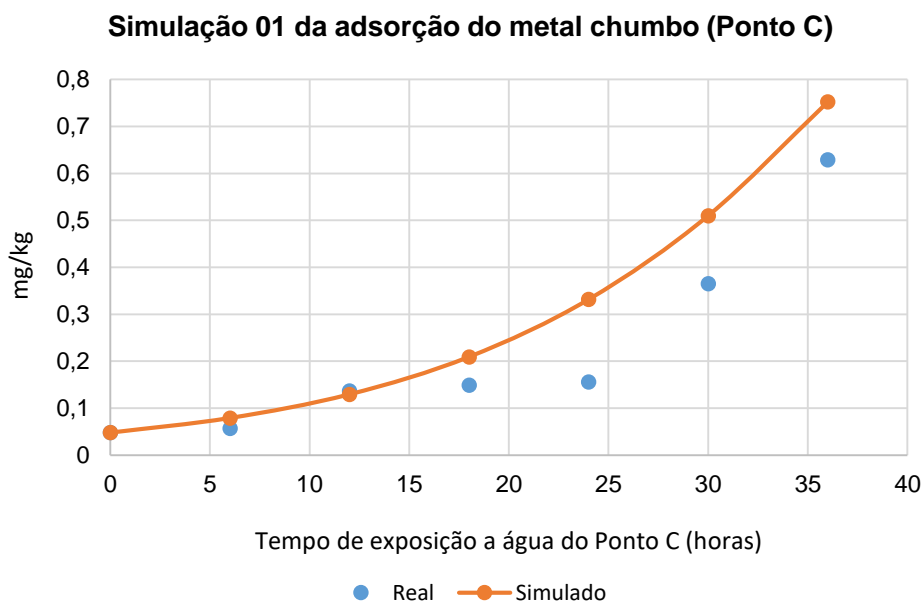
k : Constante;

t : Tempo.

4.2.2 Simulação do modelo obtido pela sigmoidal

Chegando a Equação (45), testou-se para os pontos obtidos, através dos dados da análises químicas, construir os gráficos para o Ponto C e o Ponto D, os quais se apresentam nas Figura 4.3 a seguir.

Figura 4.3 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C descrita pelo método da sigmoidal

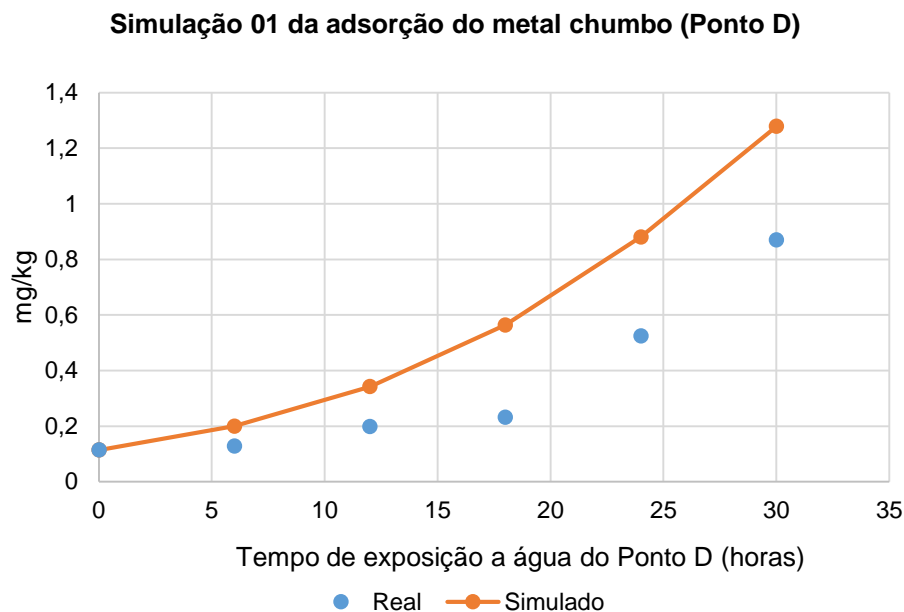


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Através do gráfico da Figura 4.3, pode-se observar que a modelagem matemática obtida atendeu ao processo que ocorre nesse estudo, apresentando uma curva com crescimento semelhante ao perfil do crescimento real. Também, é possível verificar que alguns pontos simulados se cruzam ou se aproximam bastante com os pontos reais, como o ponto de 6 e 12 horas, onde a concentração foi respectivamente de 0,079 mg/kg e 0,129 mg/kg para o simulado, enquanto para o real foi de 0,057 mg/kg e 0,137 mg/kg, respectivamente.

Na Figura 4.4 exibimos o perfil da curva obtida através do modelo da sigmoidal para o Ponto D.

Figura 4.4 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D descrita pelo método da sigmoidal.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Do mesmo modo, verificou-se na Figura 4.4 que a modelagem matemática obtida atendeu novamente ao processo que ocorre neste estudo, apresentando uma curvatura com desenvolvimento semelhante ao fenômeno real.

Com isso, percebeu-se que a resolução a partir do modelo matemático sigmoidal descreve matematicamente o processo de adsorção, pois trate-se um modelo base para traduzir este fenômeno. Tanto que, as curvas não se diferem, elas exibem a mesmo comportamento para Ponto C e Ponto D.

Contudo, este modelo não descreve o fenômeno ao todo, sendo que, no processo real a área superficial ativa para adsorção do metal cresce e adsorve, enquanto a corrente de água do rio lava a superfície das fibras e carrega o material adsorvido nas camadas mais externas, devido o potencial elétrico ser menor nessa área. Então, foi observado que a sigmoidal somente computa o que está sendo adsorvido, mas não o que está sendo desorvido, levado ou subtraído pelas forças decorrentes de água do rio.

4.2.3 Resolução a partir do balanço de massa

Percebeu-se que, por mais que a Equação (45) atenda ao processo de adsorção, ela não descreve o fenômeno por completo, pois nesse método o meio em que ocorre as perdas de massa, após a adsorção, devida a corrente do rio, não é considerada. No entanto, para o estudo em questão, o meio exerce influência direta sobre o fenômeno, e para melhor descrever esse caso, completamos a modelagem através de balanço de massa nas paredes das amostras e utilizou-se o método da transformada de Laplace para a resolução.

Ocorre que aqui, devido ao chumbo presente no lodo, o meio estudado exibe uma diferença na concentração de umas das espécies químicas em uma mistura, no caso, o chumbo, o que, segundo Incropera *et al.* (2008), implica em transferência de massa.

Para este estudo, analisando o fenômeno, foi considerado que a matéria que entra menos a massa que é perdida devida ao movimento do rio e a que se acumula durante a formação das camadas adsorvidas de metal na parede da tubérculo, é igual a quantidade de matéria com que a mandioca sairá. Diante disso, tem-se que:

$$Entra - Sai = Acumula \quad (46)$$

Nessa etapa, o que entra é definido pela vazão mássica do elemento chumbo que é adsorvido nos tecidos da mandioca [$\dot{Q}_e^{Pb}(g/s)$] que depende da variação do tempo [$\Delta t(s)$]. O mesmo ocorre para o que sai, sendo $\dot{Q}_s^{Pb}(g/s)$ a vazão mássica iônica do elemento chumbo que sai ou que é desorvido dos tecidos da mandioca, devido a ação da água do rio, que também varia com o tempo $\Delta t(s)$. Sendo assim:

$$Entra = \dot{Q}_e^{Pb}(g/s) \cdot \Delta t \quad (47)$$

$$Sai = \dot{Q}_s^{Pb}(g/s) \cdot \Delta t \quad (48)$$

Enquanto que para o que se acumula, tem-se a variação mássica que acumula de elemento chumbo ao longo da exposição ao rio com a água contaminada $\left(\frac{dm}{dt}\right)$ variando com o tempo, em que:

$$Acumula = \frac{dm}{dt} \cdot \Delta t \quad (49)$$

$$Acumula = \frac{d(V \cdot \rho')}{dt} \cdot \Delta t \quad (50)$$

$$Acumula = L \cdot \frac{d(A(t) \cdot \rho(t))}{dt} \cdot \Delta t \quad (51)$$

$$Acumula = L \left[A(t) \frac{d\rho'(t)}{dt} + \rho(t) \frac{dA(t)}{dt} \right] \cdot \Delta t \quad (52)$$

Onde:

$A(t)$ = Área superficial do tubérculo em contato com o rio contaminado com o elemento chumbo varia com o tempo de exposição na água;

L = Comprimento do leito sólido em contato com a água;

$\rho(t)$ = Massa de chumbo adsorvida pela mandioca com o tempo de exposição ao rio contaminado;

Logo,

$$\dot{Q}_e^{Pb} \cdot \Delta t - \dot{Q}_s^{Pb} \cdot \Delta t = L \left[A(t) \frac{d\rho'(t)}{dt} + \rho(t) \frac{dA(t)}{dt} \right] \cdot \Delta t \quad (53)$$

Para haver um mapeamento entre fenômenos avaliados nos domínios do tempo e da frequência, o comportamento da grandeza no domínio do tempo deve ser periódico, isto é, repetir-se em intervalos iguais a T , sendo T o período de tempo que inclui um ciclo do sinal de frequência f . Diante disso, se estabelece a regra básica de mapeamento entre os dois domínios, como mostra a Equação (40) (DECKMANN, 2020):

Passando de domínio do tempo para o domínio da frequência, obteve-se que:

$$\dot{Q}_e^{Pb} - \dot{Q}_s^{Pb} = L[A(t) \cdot \rho(t)s + A(t) \cdot \rho(t)s] \quad (54)$$

$$\dot{Q}_e^{Pb} - \dot{Q}_s^{Pb} = 2L \cdot A(t) \cdot \rho(t)s \quad (55)$$

$$\dot{Q}_e^{Pb} = \dot{Q}_s^{Pb} + 2L \cdot A(t) \cdot \rho(t)s \quad (56)$$

Analisando agora o termo \dot{Q}_s^{Pb} , que representa o que sai, pode-se fazer as seguintes observações:

- Há uma resistência ((t)) elétrica entre a área superficial do tubérculo e o metal;
- A medida que a área (A(t)) aumenta, a eletrodeposição, tendo mais área para adsorver, adsorve mais chumbo.
- Sabendo que, as variáveis R(t) e A(t) são inversamente proporcionais em relação a massa adsorvida \dot{Q}_s^{Pb} , conclui-se que:

$$\dot{Q}_s^{Pb} = \emptyset \cdot \rho(t) \cdot \frac{A(t)}{R(t)} \quad (57)$$

Onde, \emptyset refere-se ao termo de ajuste devido ao meio.

Através disso, tem-se a Equação (58):

$$\dot{Q}_e^{Pb} - \emptyset \cdot \frac{A(t)}{R(t)} \cdot \rho(t) = 2L \cdot A(t) \cdot \rho(t)s \quad (58)$$

$$\frac{R(t)}{\emptyset A(t)} \cdot \dot{Q}_e^{Pb} = \rho(t) + \frac{2L}{\emptyset} \cdot \frac{R(t)}{A(t)} \cdot \rho(t)s \quad (59)$$

Neste momento, verificando o termo \dot{Q}_e^{Pb} que representa o que entra no balanço de massa. Observou-se que, está havendo o fenômeno de impulso a cada camada de metal depositada. Diante disso, considerou que:

$$\dot{Q}_e^{Pb} = a \quad (60)$$

Em que a refere-se ao impulso exponencial unitário ou de passo único. Esta regra se aplica a impulsos no domínio da frequência, $\mathcal{L}(s)$. Pois, as perdas ocorrem em camadas, devido ser um fenômeno elétrico. Com isso, obtêm-se a equação:

$$\rho(t) = \frac{R(t)}{\emptyset A(t)} \left[\frac{1}{\left[1 + \frac{2L R(t)}{\emptyset \cdot A(t)} \cdot s \right]} \right] \cdot a \quad (61)$$

Considerando esta Equação como uma função de decaimento exponencial, para a mudança de frequência do passo único, tem-se a seguinte representação pela transformada de Laplace (WEISSTEIN, 2022):

$$\frac{1}{s+a} \quad (62)$$

Onde, resolvendo a Equação aplicando-se a transformada de Laplace para o domínio da frequência, é possível visualizar este termo, como mostra a Equação:

$$\rho(t) = \frac{a}{\emptyset} \cdot \frac{R(t)}{A(t)} \left[\frac{\emptyset \cdot A(t)}{2L \cdot R(t)} \cdot \left(\frac{1}{s + \frac{\emptyset \cdot A(t)}{2L \cdot R(t)}} \right) \right] \quad (63)$$

$$\rho(t) = \frac{a}{2L} \left[\frac{2LR(t)}{\emptyset A(t)} \cdot e^{-\frac{\emptyset A(t)}{2LR(t)} \cdot t} \right] \quad (64)$$

$$\rho(t) = \frac{a}{\emptyset} \cdot \frac{R(t)}{A(t)} \cdot e^{-\frac{\emptyset}{2L} \cdot \frac{1}{R(t)/A(t)} \cdot t} \quad (65)$$

Onde:

$\frac{a}{\emptyset} \cdot \frac{R(t)}{A(t)} = \rho'(t)$ = Termo referente a carga mássica adsorvida de chumbo, ao

longo da exposição da mandioca ao rio, calculada pelo modelo sigmoidal;

$e^{-\frac{\emptyset}{2L} \cdot \frac{1}{R(t)/A(t)} \cdot t}$ = Termo referente as perdas de chumbo adsorvido, devido ao movimento da água do rio.

Chegando ao modelo final, comparou-se o que foi obtido ao que foi proposto para função de decaimento exponencial no domínio do tempo, apresentado a seguir (WEISSTEIN, 2022):

$$e^{-\alpha t} \cdot u(t) \quad (66)$$

Então, substituindo a Equação (45) na Equação (65), tem-se a concentração mássica do chumbo expressa a seguir:

$$\rho(t) = \rho'(t) e^{-\frac{\emptyset}{2L} \cdot \frac{1}{\rho'(t)} \cdot t} \quad (67)$$

Onde notou-se que modelo proposto para a função de decaimento exponencial está traduzido por meio do termo $e^{-\frac{\emptyset}{2L} \cdot \frac{1}{\rho'(t)} \cdot t} \cdot \rho'(t)$ da Equação (67) obtida.

4.2.4 Simulação a partir do modelo obtido

As figuras apresentadas nessa seção exibem o comportamento de adsorção para o modelo matemático obtido por transformada de Laplace, como mostrou a Equação anterior. Onde, tem-se o termo $\rho'(t)$ que é representado por:

$$\rho'(t) = k \cdot \frac{e^{k \cdot t}}{\left(\frac{k}{\rho_0} - 1\right) + e^{k \cdot t}} \quad (68)$$

Em que as variáveis $|k$ e $\frac{\phi}{2L}$ presentes nesta Equação (67), foram obtidas por meio do método do mínimos quadrados. Enquanto que k (capacidade de carga) foi considerada como o maior valor da concentração de chumbo, a que foi encontrada no lodo dos portos de utilização para o amolecimento dos tubérculos. Na Tabela 4.7 estão apresentados os valores para k e $|k$.

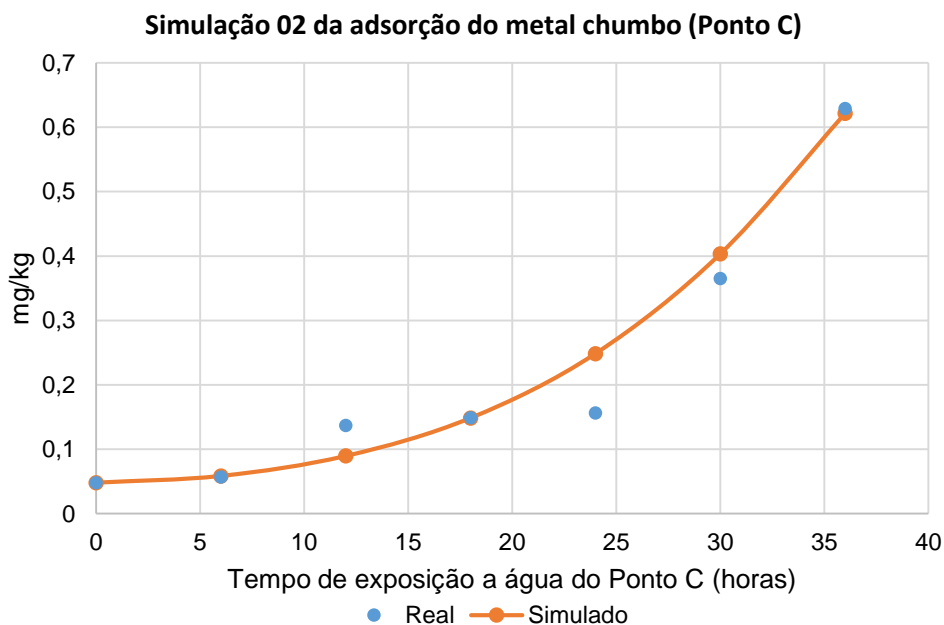
Tabela 4.7 - Valores das variáveis k , $|k$ e $\phi/2L$.

Localidade	k	$ k$	$\phi/2L$
Ponto C	2,58	0,0855	0,004
Ponto D	2,9	0,0986	0,0164

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Na Figura 4.5 exibi-se o perfil da curva obtida através do modelo da transformada de Laplace para o Ponto C.

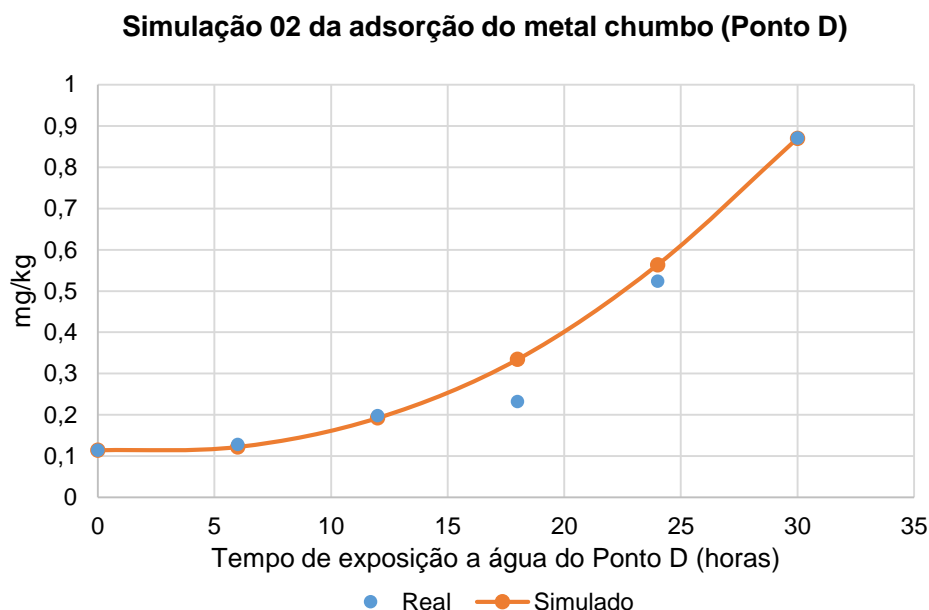
Figura 4.5 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C descrita pelo método da transformada de Laplace.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Na Figura 4.8 exibimos o perfil da curva obtida através do modelo da transformada de Laplace para o Ponto D.

Figura 4.6 – Comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D descrita pelo método da transformada de Laplace.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Através da análise dos gráfico da Figura 4.5 e do gráfico da Figura 4.6, percebeu-se que a proximidade entre as curvas simuladas e as reais é grande. Essa afirmação foi confirmada por meio do cálculo do erro absoluto e relativo entre os pontos, sendo apresentados na Tabela 4.8 a seguir.

Tabela 4.8 - Valores do erro absoluto e relativo para os pontos C e D.

Localidade	Erro Absoluto	Erro Relativo
Ponto C	0,000096	0,063892
Ponto D	0,000228	0,161099

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Com isso, a tabela mostra que a simulação mais próxima ao real foi a apresentada pelo Ponto C, onde o erro relativo foi de apenas 0,0638. Enquanto que pra o Ponto D, o erro relativo foi maior, sendo 0,161. Também notamos que, em ambos os gráficos de três a quatro pontos simulados coincidem com os pontos reais.

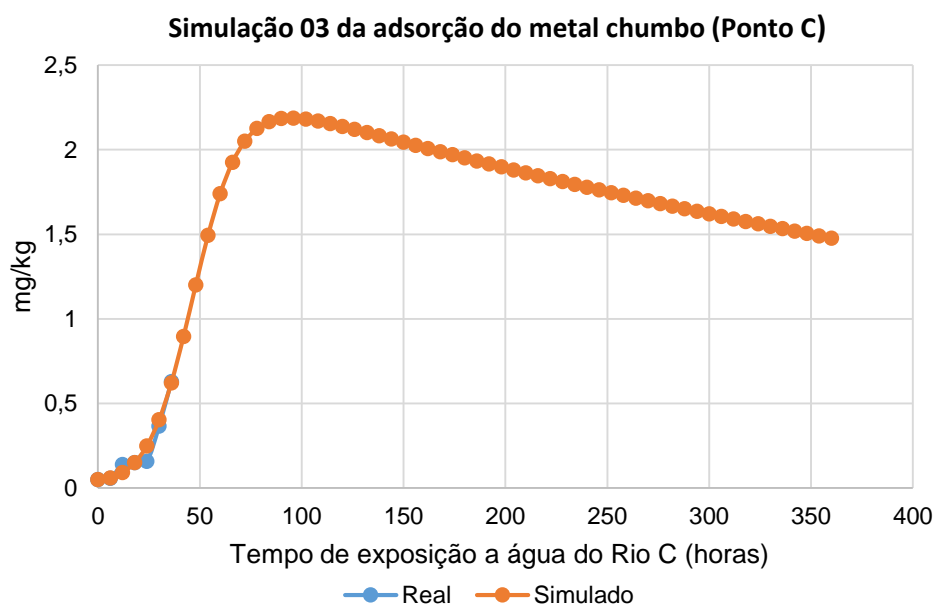
Retornando aos gráficos obtidos na simulação 01 referente a Equação (30), percebeu-se a semelhança entre os dois modelos propostos. Destacando

o segundo modelo que é representada pela Equação (67), onde a simulação completou a descrição para o fenômeno exposto, tornando os dados teóricos mais próximos aos reais. Desde modo, o modelo obtido por transformada de Laplace conclui a modelagem, que demonstra-se mais eficiente para caracterizar o fenômeno de adsorção que está ocorrendo.

4.2.5 Simulação da extrapolação

Neste momento, mostra-se a utilização do modelo para simular a extrapolação do tempo e observar o comportamento que terá o fenômeno se as amostras forem deixadas expostas a água do rio por um longo período de tempo. A Figura 4.7, apresenta o gráfico obtido a partir da simulação da extrapolação para o Ponto C.

Figura 4.7 – Gráfico do comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto C.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Analisou-se a curva obtida na simulação de extrapolação, percebeu-se que a mesma apresenta um ponto máximo de adsorção, em que pela a figura é de aproximadamente 96 horas, o que corresponde a 4 dias.

Essa simulação também, foi conferida através do seguinte cálculo em que é possível obter o ponto máximo da curva, representado pela Equação a seguir:

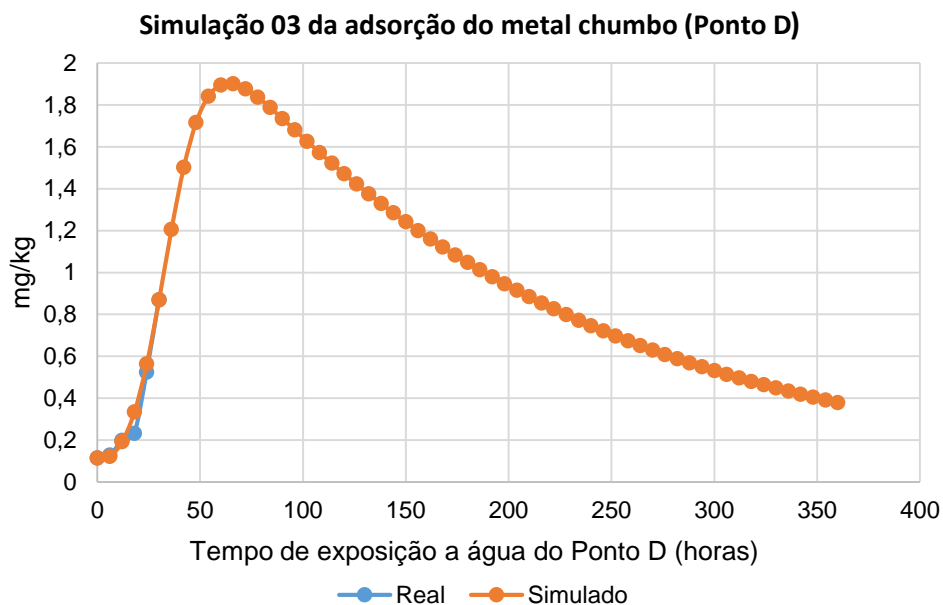
$$\frac{d\rho(t)}{dt} = 0 \quad (69)$$

Para o Ponto C, o resultado obtido foi de 105 horas, o que equivale a um pouca mais de 4 dias. Sendo que ao ser aplicado o valor do tempo em 96, tem-se uma resposta de $\frac{d\rho(t)}{dt} = 0$ igual a $2,73 \cdot 10^{-143}$, ou seja 0 (zero). Evidenciando que o modelo atende ao comportamento do fenômeno estudado.

Ainda observando a Figura 4.7, notou-se que depois do ponto máximo a curva de adsorção decresce, mostrando que a área máxima de exposição ocorreu naquele momento. Com o advento da área com um valor constante, um novo comportamento surge, onde as perdas são maiores que a massa adsorvida, dando início ao processo de dessorção, devida as correntes do rio que carrega as partículas adsorvidas e a curva se torna decrescente, nota-se pelo comportamento da parte decrescente da curva que as perdas são de passo único, originando um perfil retilíneo tendendo para exponencial. Esse fenômeno é devido as perdas, o que estão previstas pela Equação (67), que revela que se a mandioca for exposta por mais tempo do que o ponto temporal máximo as perdas serão maiores que o ganho de massa por adsorção.

A seguir apresenta-se o gráfico que descreve o perfil de adsorção com extrapolação de tempo para o Ponto D.

Figura 4.8 – Gráfico do comportamento de adsorção do metal pesado chumbo pela mandioca exposta a água do Ponto D.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022.

Realizando o estudo da Figura 4.8, notou-se que o ponto máximo se dá por volta de 66 horas, que equivale a aproximadamente 3 dias. Além disso, também realizou o cálculo de ponto máximo por meio da equação, que resultou em valor predito igual a 0 (zero).

Notou-se ainda, que o desenho crescente da curva é bastante íngreme quando comparada a curva do Ponto C (Figura 4.7), assim como também decresce bem mais. O crescimento pode se dar, pelo fato da concentração do lodo, que encontra-se próximo ao local em que a mandioca é exposta, ser maior para este rio, o que faz com que a concentração do metal atinja maiores níveis nesse ponto. Quanto ao decrescimento, o Ponto D tem maior influência nas perdas, devida sua corrente de água, que trabalha carregando ou retirando massa da área de deposição.

Nesta oportunidade se verifica com melhor visão o comportamento da parte decrescente da curva, em que se verifica um decaimento exponencial de passo único e que irá chegar um momento que as perdas se equilibrarão com os ganhos de massa e o fenômeno em relativo a ganho de massa se torna equilibrado.

5 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um modelo capaz de caracterizar e representar o fenômeno de adsorção do chumbo na contaminação da mandioca (*manihot esculenta*) exposta a água do Rio Cateté. O modelo obtido, compreende ao processo de adsorção que ocorre nas fibras do tubérculo, mesmo com o movimento do rio, durante a operação de amolecimento, necessária para o preparo da farinha de mandioca.

Da avaliação dos resultados das análises químicas, observou-se que a água do rio não apresenta elevados teores de chumbo. No entanto, tanto o tubérculo quanto o lodo mostraram que adsorvem o metal Pb, sendo que os maiores valores de concentração de chumbo, foram encontrados no lodo das margens do rio, em que neste se ressalta como característica, a de ser reservatório do metal pesado Pb, pois o chumbo é pouco solúvel na água.

É importante salientar durante a produção de farinha de mandioca dos indígenas, na etapa de amolecimento, a mandioca é sempre colocada nas margens do rio para o processo de amolecimento, mesmo local onde o lodo é encontrado. Então, compreendeu-se que: O processo de contaminação do tubérculo ocorre devida a concentração de chumbo que está depositada no lodo.

Deste modo deduziu-se que, a cada momento em que a mandioca é mantida imersa na água do rio, suas fibras amolecem, dilatam e se abrem permitindo a adsorção crescente do chumbo, ou seja, a medida que a sua área superficial aumenta, as camadas de chumbo depositadas também aumentam.

Além disso, através das análises percebeu-se que a concentração de chumbo encontrada na mandioca, manteve-se no produto final, a farinha de mandioca. Sendo assim, conclui-se que este alimento ao ser ingerido vai estar contaminando o organismo humano, já que o valor encontrado para a farinha do ponto Porto Cateté foi de 0,63 mg/kg, enquanto que para a farinha do ponto Porto Djudjeko o valor foi de 0,913 mg/kg, o que corresponde respectivamente, a “6 e 9 vezes maior que o limite estabelecido pela legislação da “ANVISA” – RESOLUÇÃO – RDC N° 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013, sendo que nesta Resolução está estabelecido que o limite máximo de metal chumbo em tubérculos é de 0,1 mg/kg.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDO, A. P. C. **Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistema em batelada e coluna de leito fixo** - UTFPR. Toledo, 2013.

ALVES, R.N.B.; MODESTO JÚNIOR, M. de S. **Custo e rentabilidade do processamento de farinha de tapioca no distrito de americano, município de Santa Isabel do Pará, Pará**. Belém: Amazônia: Ciência e Desenvolvimento, v 8, n. 15, jul./dez. p. 7-18, 2012.

ANDIA, J. P. M.; **Remoção de Bora de Águas e Efluentes de Petróleo por Adsorção** – Rio de Janeiro. 2009.

AQUIM, P. M. **Balanço de massa: uma ferramenta para otimizar os processo de ribeira e curtimento**. Dissertação de mestrado – Porto Alegre. 2004.

ATSDR – Agency of Toxic Substances and Disease Registry. *Toxic Guide for Lead pb*. 2007. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-13.pdf>> Acesso em 07 de Janeiro de 2022.

BADINO, A.C., CRUZ. A.J.G. **Fundamentos de Balanço de Massa e Energia**. Editora Edfscar. 2011.

BARRETO, M. L. (ed.). 2001. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), 216 p. ISBN: 8572271600.

BENVINDO DA LUZ, A.; et al.; **Tratamento de minérios**, 4ra edição ver. e ampliada. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

BERTONE, A. M. A et al. **Modelagem matemática**. Uberlândia, MG : UFU, 2014.

BRASIL, N.I. do. **Introdução à Engenharia Química**. Editora Interciência. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2004.

CARDOSO, E.M.R.; MÜLLER, A.A.; SANTOS, A.I.M.; HOMMA, A.K.O.; ALVES, R.N.B. **Processamento e comercialização de produtos derivados de**

mandioca no nordeste paraense. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 28p. 2001.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Farinhas e derivados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**, v. 3, p. 577620, 2003. Fundação Cargill. São Paulo

CHEREMISINOFF, P. N.; ELLERBUSCH, F. **Carbon Adsorption Handbook.** Ann Arbor Science, 1. ed., 1978.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. **Estudo do processo de fabricação da farinha de mandioca.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006, 73 p.

DECKMANN, S. M; POMILIO, J. A. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica.** UNICAMP/ FEEC/ DSE – Fevereiro, 2020.

DERNANDIN V. F.; KOMARCHESKI R. **Farinheiras do Brasil: tradição, cultura e perspectivas da produção familiar de farinha de mandioca.** UFPR Litoral, 2015.

DO, D. D. **Adsorption analysis: equilibria and Kinetics.** London: Imperial College Press, 1998.

DUFFUS, J. **“HEAVY METALS” – A MEANINGLESS TERM?** Prepared for publication by. Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 5, p. 793-807, 2002.

FEBRIANTO, J.; KOSASIH, A. N.; SUNARSO, J.; JU, Y.-H.; INDRASWATI, N.; ISMADJI, S. **Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies.** Journal of Hazardous Materials, v. 162, n. 2–3, p. 616–645, 2009.

FERNER D. J., **Toxicity, heavy metals.** eMed. J. 2001 May 25; 5(2):1.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHWA, S. N.; SMITH, D. Studies in adsorption. Part XI. **A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids.** Journal of the Chemical Society (Resumed), v. 846, p. 3973–3993, 1960.

GUPTA, V. K.; SUHAS. ***Application of low-cost adsorbents for dye removal*** – A review. *Journal of Environmental Management*, v. 90, p. 2313-2342, 2009.

HEMSI, P.S. ***Um estudo da adsorção de poluentes em um latossolo paulista considerando a carga variável e o ponto de carga nula***. Dissertação de mestrado. EPUSP. 2001.

HIMMELBLAU, D.M.; RIGGS, J.B. ***Engenharia Química: princípios e cálculos***. Rio de Janeiro. 7ª Edição. 2006.

HO, Y.S.; McKAY, G. ***Pseudo-second order model for sorption processes, Process Biochemistry***, v. 34, p. 451-465, 1999.

HUNTER, R. J. ***Zeta Potential in Colloid Science Principles and Applications***. Colloid Science. Academic Press Inc. England 1981.

INCROPERA, F. P, *et al.* ***Fundamentos de transferência de calor e massa***. Tradução e revisão técnica Queiroz, E. M; Pessoa, F. L. P. Rio de Janeiro: LTC. 2008.

JUNIOR, A.C.B.; CRUZ, A.J.G. ***Fundamentos de Balanço de Massa e Energia***. Editora EdUFSCar. 2010.

LIMA, E. R.A. ***Cálculo de Propriedades Físico-Químicas de Sistemas Coloidais via Equação de Poisson-Boltzmann***. Tese de Doutorado, PEQ – COPPE, UFRJ, RJ, 2008.

LIMA, U. de A. ***Manual técnico de beneficiamento e industrialização da mandioca***. São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. 56 p. (Série Tecnologia Agroindustrial Programa Adequação, 2)

LORENZI, J. O. ***Instruções agrícolas para o estado de São Paulo – Boletim Nº200***. 6ª edição. Instituto Agrônomo de Campinas. 1995. p. 347-348

MALAVOLTA, E. ***Elementos de nutrição de plantas***. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980

MARCUS S. ***Toxicity, lead***. EMed. J. 2001 Jun 4; 2(6):7

MASEL, R. ***Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces***. Wiley Series in Chemical Engineering. 1 Ed. 1996.

MAZUCHELI, J. ***Análise Bayesiana e Discriminação de Modelos Não Lineares***. 1995. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Programa de Pós-graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional do Instituto de Ciências Matemáticas da USP, São Carlos.

McBRIDE, M.B. ***Reactions controlling heavy metal solubility in soils***. Advances in Soil Science, New York, v.10, p. 1-56, 1989.

McCABE, W. L. M.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. ***Operaciones Unitarias en Ingenieria Quimica***: Edigrafos, S.A. Spain, 1998

MEZZARI, I. A. ***Utilização de carvões adsorventes para o tratamento de efluentes contendo pesticidas***. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MILANEZ, B. ***Co-incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: Problemas e desafios***. IX ENGEMA - ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, Curitiba, 2007.

MOREIRA F.R, MOREIRA J.C. ***A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde***. 2004.

NASCIMENTO, R.F; - ***Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais*** - Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

OLIVEIRA, T. S. ***Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos***. 1996. 128p. Tese (Doutorado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

OSCIK, J. ***Adsorption***. Chichester, England: Ellis Horwood, 1982.

PERRY, R. H., GREEN, D. W., MALONEY, J. O. - **Perry's chemical engineers' handbook**, 7th ed., New York: McGraw-Hill, 1998.

POORTINGA, A. T., Bos, R., Norde W., Busscher H. J. **Electric double layer interactions in bacterial adhesion to surfaces**. Surface Science Reports, p. 1-32, 2002.

RATKOWSKY, D. A. **Nonlinear Regression Modeling**. New York: Marcel Dekker, 1983.

REYNOLDS, T. D.; RICHARDS, P. A. **Unit operations and processes in environmental engineering**. 2ª Edição. Boston: PWS Publishing Company, 1995.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process**. New York: John Wiley & Sons, 1984.

RYE C, WISE R., JURUKOVSKI V., DESAIX J., CHOI J., AVISSAR Y. **Biologia**. OpenStax. 2016. Houston, Texas. <https://openstax.org/books/biology/pages/45-3-environmental-limits-to-population-growth>.

SALGADO, PET. Toxicologia dos metais. In: Oga S. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: 1996a.; 5(2): 154-172.

SARYAN L. A.; SENZ C. **Lead and its compounds**. In: ZENS, C; DICKERSON, O. B; HORVATH, E. P. Occupational medicine. Mosby, p.506-541, 1994.

SAUTER, E.; AZEVEDO, F. S.; STRAUCH, I. M. F. **Transformada de Laplace – Um livro colaborativo** – Agosto. 2020.

SHAW, D. J. **Introdução à química dos colóides e de superfície**, São Paulo, Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1975.

SIDRA: Banco de dados agregados. Agricultura. Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 1992 – 2013. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P> .

SILVA, N. C. **Remoção de antibióticos da água por meio do processo de adsorção em carvão ativado**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2012.

SILVA, B. B, MENDES, F. B. G, KAGEYAMA, P. Y. **Desenvolvimento econômico, social e ambiental da agricultura familiar pelo conhecimento agroecológico: Mandioca**. ESALQ, USP. 2008

SOUZA, F. B.; FILHO, A. C. S. **Equações diferenciais e o crescimento populacional: uma comparação entre a curva de Gompertz e o modelo Logístico**. RELIMAT. 2020.

STRAUCH, I. **Transformada de Laplace em 9 aulas**. Notas de aula, Porto Alegre, 2006.

TILLER, K.G. **Heavy metals in soils and their environmental significance**. Advances in Soil Science, New York, V.9 p. 113-142, 1989.

UEDA, C. M. **Modelos não lineares com diferentes estruturas de covariância em curvas de crescimento: Uma aplicação no estudo da severidade da doença Late Blight**. UFSC - Florianópolis, 2003.

USP- Disciplinas. **Ecologia**. Roteiro da Semana 4. Disponível: <https://edisciplinas.usp.br/mod/book/view.php?id=2438649&chapterid=20736>. Acessado em 17/02/2022.

VIJ A.G., SATIJA N.K., FLORA S.J. **Lead induced disorders in hematopoietic and drug metabolizing enzyme system and their protection by ascorbic acid supplementation**. Biomed. Environ. Sci. 1998; 11(1):7-14.

WEISSTEIN, Eric W. **"Transformação de Laplace"**. De MathWorld-Um recurso da Web da Wolfram. <https://mathworld.wolfram.com/LaplaceTransform.html>. Acessado em 17.01.2022.

WORCH, E. ***Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling***. Editora De Gruyter, Berlin, 2012.

XIE Y., CHIBA M., SHINOHARA A., WATANABE H. & INABA Y. 1998. ***Studies on lead-binding protein and interaction between lead and selenium in the human erythrocytes***. Industrial Health 36:234-239.

YULE Q, LANSDOWN R,, MILLAR I.B., URBANOWICZ M.A. ***The relationship between blood lead concentrations, intelligence and attainment in a school populatin: a pilot study***. Dev Med Child Neurol. 1981 Oct;23(5):567-76.

ZILL, D. G. ***Equações Diferenciais***. Cengage Learning, São Paulo, 2012.

Anexo I
Análise química da água do Rio
Cateté

Tabela 1 – Localização dos Pontos de Monitoramento.

Ponto	COORDENADAS	DESCRIÇÃO DO PONTO
PT01	-06° 45' 47.8" S -50° 52' 15.65" W	“Ponte Ourilândia”: Nascente do Rio Cateté. Local tomado como Referência, sem atividade antrópica.
PT02	-06° 31' 30.97" S -51° 03' 38,74" W	“3 Tubos”: Atravessam a estrada vicinal, conectam-se com uma linha sequências de bacias de sedimentação de dreno das chuvas (efluentes) que desce da mina por ação da gravidade. Apontam para as margens do Rio Cateté, onde são despejados esse dreno.
PT03	-06° 35' 36" S -51° 00' 36" W	“Pedral”: Local de muita discussão, pois a montante deste ponto estão algumas fazendas, logo este é um ponto de estudo importante para identificar as contribuições das fazendas na contaminação do Rio cateté.
PT04	-06° 28' 57.7" S -51° 03' 12.4" W	“Canal da Ponte Queimada”: Canal 2 Um dos mais importantes Canais que transporta o dreno que sai da Barragem de Contenção de Finos para o corpo hídrico do Rio Cateté.
PT05	-06° 29' 20.0" S -51° 02' 29.4" W	“Canal 2”: Canal de transporte de efluente, que também recepciona parte do dreno vindo da ponte queimada e transporta para o Corpo Hídrico do Rio Cateté.
PT06	-06° 15' 24.84" S -50° 47' 49.28" W	“Porto da Aldeia Índigena Cateté”: Corpo Hídrico do Rio cateté. Onde os indígenas desenvolvem momentos de trabalhos, pescas, preparação de tubérculos (batatas e mandiocas), lavagem de roupas, banhos e lazer.
PT07	-06° 18' 5.96" S -50° 54' 14.08" W	“Porto da Aldeia Índigena Djudjekô”: Corpo Hídrico do Rio cateté. Onde os indígenas desenvolvem momentos de trabalhos. É a Comunidade Indígena mais próxima do empreendimento minerário.
PT08	-06° 19' 19.1" S -50° 56' 15.4 W	“Rio Bekwara”: Afluente do Rio Cateté. Fica localizado antes, acima ou a montante da Aldeia Djudjekô. Não está ligado a ações antrópicas e fica após ou a jusante dos canais de despejo da MOP.
PT09	- 06° 20' 53.4" S - 50° 56' 14.6" W	“Montante do Rio Bekwara”: Ponto que se localiza logo após os canais de despejos de dreno.
PT10	- 06° 19' 41.1" S - 50° 56' 29.1" W	“Montante Próximo ao Rio Bekwara”: Ponto do Corpo Hídrico do Rio Cateté. Fica logo após os canais de despejos de dreno e um pouco antes da entrada do Rio Bekwara.
PT11	-06° 31' 37,1" S -51° 03' 37,7" W	“Tubo Aterrado”: Antes da perícia, o transporte dos efluentes da bacias de sedimentação de finos era realizada por este tubo e encaminhado para o Corpo Hídrico do Rio Cateté. Atualmente foi aterrado e interdito, porque foi construído outros tubos para realizar a mesma atividade. Estava fora do elenco de

		pontos, resolveu que, esporadicamente, será realizado uma análise no Corpo Hídrico, onde antes era despejado os efluente, por medida de verificação.
PT12	- 06° 16' 51.0" S - 50° 48' 22.9" W	"Rio Sêco": Afluente do Rio Cateté. Fica localizado antes, acima ou a montante da Aldeia Cateté. Não está ligado a ações antrópicas e fica antes ou a montante do porto da Aldeia Indígena Cateté.
PT13	-06° 31' 23,0" S -51° 03' 39,6" W	"Ponto da Perícia": Corpo Hídrico do Rio. Este ponto entrou na relação de pontos monitorados recentemente. Foi onde a perícia escolheu para realizar a coleta de água e de sedimentos do Rio Cateté.
PT14	- 06° 28' 40.2" S - 51° 02' 16.5" W	"Canal 3" Ponto de Dreno da Ponte Queimada. Canal de efluentes que transporta o dreno que vem do canal da ponte queimada e é depositada em bacias de finos, que por sua vez, escoam para o corpo hídrico do Rio Cateté.
PT15	- 06° 12' 10.5" S - 50° 43' 12.5" W	"Ponto Final": Ponto antes do encontro do Rio Cateté com o Rio Itacaiunas.
PT16	- 06° 07' 25.4" S - 50° 43' 14.8" W	"Ponto Encontro dos Rios": Localiza-se bem na saída do Rio Cateté e se encontra com as águas do Rio Itacaiunas.
PT17	- 06° 07' 10.5" S - 50° 43' 15.9" W	"Ponto abaixo do Encontro dos Rios": Corpo Hídrico do Rio. Localiza-se próximo e a Jusante do cruzamento das águas do Rio Cateté com as águas do Rio Itacaiunas.
PT18	- 06° 29' 59.0" S - 51° 02' 33.5" W	"Entre os 3 Tubos e o Tubo 2": É um ponto de efluente, logo após o ponto relacionado com os 3 tubos, também fica a jusante do ponto de perícia.
PT19	-06° 25' 0.73" S -50° 30' 3.65" W	"Porto da Aldeia Indígena Ôodjã": Corpo Hídrico do Rio Itacaiunas. Onde os indígenas da Aldeia Ôodjã desenvolvem momentos de trabalhos: Pescas, preparação de tubérculos (batatas e mandiocas), lavagem de roupas, banhos e lazer.
PT20	- 06° 20' 23.4" S - 50° 29' 46.8" W	"Jusante Ôodjã": Ponto que se localiza abaixo ou a jusante do Porto dos Indígenas da Ôodjã.
PT21	- 06° 24' 53.2" S - 50° 30' 05.9" W	"Jusante Ôodjã": Ponto que se localiza a jusante e próximo ao Porto dos Indígenas da Ôodjã.
PT22	-06° 26' 07.1" S -50° 30' 05,2" W	"Canal da S11D": Efluente Canal que transporta o dreno ou os efluente que vem do empreendimento S11D
PT23	-06° 26' 11.7" S -50° 29' 07,5" W	"Montante do Canal da S11D": Localiza-se na linha de escoamento do rio a montante da entrada do Canal da S11D, está acima ou a montante, não sofre influência da água que sai de dentro do canal da S11D.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Tabela 2 – Resultados de três campanhas de coletas e análises físico-químicas de três pontos de “efluentes” do empreendimento, meses de janeiro, junho e setembro.

	Unid	Referência	PT02 - Tubo1 (Efluente da MOP)	PT04 - Canal/Grota (Efluente da MOP)	PT05-Canal 02 (Efluente da MOP)	Ponto04=PT02 Tubo 1 (Efluente da MOP)	Ponto03 = PT04 Canal/Grota (Efluente da MOP)	Ponto02=PT05 Canal 02 (Efluente da MOP)	Ponto01=PT02 Tubo1 (Efluente da MOP)	Ponto02=PT04 Canal/grota (Efluente da MOP)	Ponto03=PT05 Canal 02 (Efluente da MOP)
Data da Coleta			12/01/18	12/01/18	12/01/18	21/06/18	21/06/18	21/06/18	30/08/2018	01/09/2018	30/08/2018
Data do Recebimento			18/01/18	18/01/18	18/01/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018
Laudo N°			2018/01-00747	2018/01-00749	2018/01-00750	2018/06-07482	2018/06-07481	2018/06-07480	2018/09-10572	2018/09-10573	2018/09-10574
Alumínio Dissolvido	mg/l	0,1	ND	ND	ND	0,033	0,031	0,021	0,00	0,000	0,031
Bário	mg/l	0,7	0,036	0,041	0,079	0,071	0,063	0,064	0,073	0,081	0,09
Cádmio	mg/l	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cálcio	mg/l	NFR	6	6	6						
Chumbo	mg/l	0,01	0,003	0,005	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cianeto livre	mg/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto	mg/l	250	21	11	18	17,74	17,74	10,64	14,19	14,19	ND
Cloro Total [-]	mg/l Cl	0,01	ND	0,1	0,2	0	ND	0	0,00	0,00	0,2
Cobalto	mg/l	0,05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre Dissolvido	mg/l	0,009	0,04	0,02	0,02	ND	ND	ND	0,03	0,01	0,00
Cor Verdadeira	mg Pt/l	75	>500	223	229	391	195	205	59	56	72
Cromo	mg/l	0,05	0,09	0,06	ND	0,002	0,001	0,003	0,01	0,01	0,01
DBO5 20°C	mg/l	5	22,78	4,93	6,88	1,42	1,81	1,92	13,87	7,61	11,69
Ferro Dissolvido	mg/l	0,3	1,6	0,08	0,02	0,93	0,88	0,81	0,12	0,13	0,11
Fluoreto	mg/l	1,4	ND	0,23	ND	0,17	ND	ND	0,000	0,2	0,00
Fósforo Total	mg/l	0,1	0,1	1,08	0,04	0,06	0,06	0,07	0,02	0,03	0,13
Manganês	mg/l	0,1	1,78	ND	0,115	0,037	0,021	0,025	0,1	0,084	0,01
Mercúrio	mg/l	0,0002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Níquel	mg/l	0,025	0,029	0,043	0,026	ND	ND	ND	0,00	0,000	0,034
Nitrato (como N)	mg/l	10	20	0,5	1,4	0,3	0,4	0,2	1,3	1,3	1,4
Nitrito (como N)	mg/l	1	0,02	ND	ND	0	0,001	0,003	0,001	0,005	0,003
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,7	18,9	0,5	0,54	0,23	0,14	0,13	0,52	0,43	0,54
Óleos e Graxas	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA	Virtualmente Ausente	Virtualmente Ausente	Virtualmente Ausente
OD	mg/l O2	>5	9,18	5,37	7,68	8,85	9,34	9,01	8,84	9,1	8,68
pH		6-9	7,65	7,96	7,5	6,69	6	6,64	7,25	7,23	7,09
SDT	mg/l	500	34,15	60,99	29,68	19,59	21,14	19,86	541,9	636,4	22,02
Turbidez	UNT	100	>4000	23,4	27,9	85,7	24,8	30,3	15,71	6,64	10,32
Zinco	mg/l	0,18	0,48	0,3	0,5	ND	ND	ND	0,11	0,14	0,09

Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

Tabela 3 – Resultados da campanha de análises físico-químicas de Janeiro de 2018, 3 pontos de efluentes do empreendimento, 2 a montante e 2 a jusante dos efluentes.

	Unid	Referência	PT01 - Ponte Ourilândia (Montante do Rio)	PT02 - Tubo1 (Efluente da MOP)	PT03 - Pedral (Montante do Rio)	PT04 - Canal/Grota (Efluente da MOP)	PT05 Canal (Efluente da MOP)	PT06 (Porto da Aldeia Cateté)	PT07 (Porto da Aldeia Djudjeko)	PT19 (Porto da Aldeia Öodjã)
Data da Coleta			11/01/18	12/01/18	11/01/18	12/01/18	12/01/18	13/01/18	13/01/18	13/01/18
Data de Envio			18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18
Data do Recebimento			18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18	18/01/18
Laudo N°			2018/01-00746	2018/01-00747	2018/01-00748	2018/01-00749	2018/01-00750	2018/01-00751	2018/01-00752	2018/01-00753
Alumínio Dissolvido	mg/l	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Antimônio	ml/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Arsênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bário	mg/l	0,7	0,103	0,036	0,086	0,041	0,079	0,093	0,067	0,096
Berílio	mg/l	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Boro	mg/l	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	mg/l	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,004
Cálcio	mg/l	NFR		6	10	6	6	10	6	4
Chumbo	mg/l	0,01	ND	0,003	0,004	0,005	0,003	ND	0,002	0,004
Cianeto livre	mg/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto	mg/l	250	14	21	14	11	18	21	14	14
Cloro Total [-]	mg/l Cl	0,01	ND	ND	ND	0,1	0,2	ND	0,1	0,1
Clorofila A	µg/l	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	mg/l	0,05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre Dissolvido	mg/l	0,009	ND	0,04	ND	0,02	0,02	ND	ND	0,12
Cor Verdadeira	mg Pt/l	75	145	>500	156	223	229	106	175	289
Cromo	mg/l	0,05	0,6	0,09	0,03	0,06	ND	0,06	0,03	0,03
DBO5 20°C	mg/l	5	Ausente	22,78	14,96	4,93	6,88	10,37	5,1	10,96
Ferro Dissolvido	mg/l	0,3	0,03	1,6	ND	0,08	0,02	ND	0,07	0,04
Fluoreto	mg/l	1,4	0,22	ND	1,31	0,23	ND	0,04	0,58	ND
Fósforo Total	mg/l	0,1	0,02	0,1	0,06	1,08	0,04	0,11	0,6	0,04
Gosto e Odor	-	NFR	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lítio	mg/l	2,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	mg/l	0,1	ND	1,78	ND	ND	0,115	0,087	0,107	0,253
Materiais Flutuantes	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
Mercúrio	mg/l	0,0002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Níquel	mg/l	0,025	0,019	0,029	0,04	0,043	0,026	0,031	0,02	0,026
Nitrato (como N)	mg/l	10	ND	20	0,4	0,5	1,4	ND	1,4	0,6
Nitrito (como N)	mg/l	1	0,4	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,7	0,34	18,9	0,36	0,5	0,54	0,34	0,44	0,68
Óleos e Graxas	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
OD	mg/l O2	>5	6,5	9,18	5,59	5,37	7,68	7,29	6,41	6,65
pH		6-9	7,44	7,65	8,05	7,96	7,5	7,7	7,55	7,46
Prata	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Resíduos Sólidos Objetáveis		VA								
Selênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SDT	mg/l	500	17,45	34,15	30,3	60,99	29,68	40,77	41,5	24,52
Sulfato	mg/l	250	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sulfeto	mg/l	NFR	0,002	ND	0,003	0,001	ND	0,006	0,025	0,006
Turbidez	UNT	100	8,84	>4000	19,17	23,4	27,9	11,4	21,8	34,5
Urânio	mg/l	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vanádio	mg/l	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/l	0,18	0,38	0,48	0,36	0,3	0,5	0,31	0,38	0,4
Coliformes Termotolerantes	ml	1000/100	Ausência							
Cianobactérias	Cel/ml	NFR	58	ND	ND	ND	114	144	ND	107

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Tabela 4 – Resultados da campanha de análises físico-químicas de Junho de 2018, 4 pontos de efluentes do empreendimento MOP e 2 a jusante dos efluentes.

	Unid	Referência	Ponto 01 Canal 03 (Efluente da MOP)	Ponto02=PT05 Canal 02 (Efluente da MOP)	Ponto03 = PT04 Canal/Grota (Efluente da MOP)	Ponto04=PT02 Tubo 1 (Efluente da MOP)	PT06 (Porto da Aldeia Cateté)	PT07 (Porto da Aldeia Djudjeko)
Data da Coleta			21/06/18	21/06/18	21/06/18	21/06/18	22/06/18	22/06/18
Data de Envio			25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18
Data do Recebimento			25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18	25/06/18
Laudo N°			2018/06- 07479	2018/06- 07480	2018/06- 07481	2018/06- 07482	2018/06- 07484	2018/06- 07483
Alumínio Dissolvido	mg/l	0,1	0,039	0,021	0,031	0,033	0,023	0,02
Antimônio	ml/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Arsênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bário	mg/l	0,7	0,031	0,064	0,063	0,071	0,054	0,051
Berílio	mg/l	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Boro	mg/l	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	mg/l	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cálcio	mg/l	NFR						
Chumbo	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cianeto livre	mg/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto	mg/l	250	10,64	10,64	17,74	17,74	14,19	14,19
Cloro Total [-]	mg/l Cl	0,01	0	0	ND	0	0	0
Clorofila A	µg/l	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	mg/l	0,05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre Dissolvido	mg/l	0,009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cor Verdadeira	mg Pt/l	75	>500	205	195	391	138	160
Cromo	mg/l	0,05	0,001	0,003	0,001	0,002	0,01	0,02
DBO5 20°C	mg/l	5	2,01	1,92	1,81	1,42	2,95	2,49
Ferro Dissolvido	mg/l	0,3	0,75	0,81	0,88	0,93	0,81	0,8
Fluoreto	mg/l	1,4	0,22	ND	ND	0,17	0,07	0,21
Fósforo Total	mg/l	0,1	ND	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
Gosto e Odor	-	NFR	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lítio	mg/l	2,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,016	0,025	0,021	0,037	0,002	0,014
Materiais Flutuantes	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA
Mercúrio	mg/l	0,0002	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Níquel	mg/l	0,025	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato (como N)	mg/l	10	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
Nitrito (como N)	mg/l	1	0,002	0,003	0,001	0	0,001	0,003
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,7	0,12	0,13	0,14	0,23	0,13	0,13
Óleos e Graxas	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA
OD	mg/l O2	>5	9,15	9,01	9,34	8,85	8,87	9,04
pH		6-9	6,86	6,64	6	6,69	7,06	6,77
Prata	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Resíduos Sólidos Objetáveis		VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
Selênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SDT	mg/l	500	38,03	19,86	21,14	19,59	32,93	31,6
Sulfato	mg/l	250	1	ND	1	2	0	0
Sulfeto	mg/l	NFR	0,008	0,012	0,018	0,022	0,012	0,01
Turbidez	UNT	100	34,5	30,3	24,8	85,7	21,5	25
Urânio	mg/l	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vanádio	mg/l	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/l	0,18	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes Termotolerantes	ml	1000/100	Ausência	2	1	Ausência	Ausência	Ausência
Cianobactérias	Cel/ml	NFR	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Tabela 5 – Resultados da campanha de análises físico-químicas de Setembro de 2018, 3 pontos de efluentes, 2 do empreendimento MOP e 3 a jusante dos efluentes.

	Unid	Ref e-rên cia	PT(+) - Tubo Aterrado (Ponto corpo do do Rio)	Ponto 02 Tubo 1 (3 Tubos) (Efluente da MOP)	Ponto (++) local do ponto da perícia (Rio Kateté)	PT04 Canal/Gr ota (Efluente da MOP)	Ponto 05= PT19 Porto da Aldeia Ôodjã (Rio Itacaiunas)	Ponto 06 = PT21 (canal de Dreno) (Efluente da S11D)	Ponto 07 = PT22 (Acima do Canal de dreno S11D (Rio Itacaiunas)	Ponto 08 = PT06 Porto da Aldeia Cateté (Rio Kateté)	Ponto 09 = PT07 Porto da Aldeia Djudjekô (Rio Kateté)
Data da Coleta			30/08/2018	30/08/2018	30/08/2018	30/08/2018	31/08/2018	31/08/2018	31/08/2018	01/09/2018	01/09/2018
Data de Envio			03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018
Data do Recebimento			03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018	03/09/2018
Laudo N°			2018/09-10572	2018/09-10573	2018/09-10574	2018/09-10575	2018/09-10576	2018/09-10577	2018/09-10578	2018/09-10579	2018/09-10580
Alumínio Dissolvido	mg/l	0,1		0	0,031	0,024	0,024	0	0,011	0,013	0,02
Antimônio	ml/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Arsênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bário	mg/l	0,7	0,073	0,081	0,09	0,068	0,05	0,049	0,062	0,065	0,062
Berílio	mg/l	0,04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Boro	mg/l	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,036	ND
Cádmio	mg/l	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cálcio	mg/l	NFR							ND		
Chumbo	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cianeto livre	mg/l	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto	mg/l	250	14,19	14,19	ND	10,64	14,19	14,19	7,09	10,64	14,19
Cloro Total [-]	mg/l Cl	0,01	0	0	0,2	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0,2
Clorofila A	µg/l	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	mg/l	0,05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre Dissolvido	mg/l	0,009	0,03	0,01	ND	0,01	0	0,01	0	0,01	0,01
Cor Verdadeira	mg Pt/l	75	59	56	72	55	54	53	51	65	72
Corantes provenientes de fontes antrópicas	-	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
Cromo	mg/l	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01
DBO5 20°C	mg/l	5	13,87	7,61	11,69	13,6	14	11,56	12,64	13,32	11,69
Ferro Dissolvido	mg/l	0,3	0,12	0,13	0,11	0,11	0,14	0,11	0,11	0,09	0,11
Fluoreto	mg/l	1,4	0	0,2	0	0	0	0,06	0,07	0,03	0
Fósforo Total	mg/l	0,1	0,02	0,03	0,13	0,14	0,21	0,04	0,04	0,05	0,13
Gosto e Odor	-	NFR	NO	ND	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lítio	mg/l	2,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,1	0,084	0,01	0,002	0,01	0,026	0,02	0,1	0,01
Materiais Flutuantes	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
Mercurio	mg/l	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Níquel	mg/l	0,025	0	0	0,034	0,012	0,02	0,01	0,009	0,011	0,034
Nitrato (como N)	mg/l	10	1,3	1,3	1,4	1	1	0,4	1	1	1,4
Nitrito (como N)	mg/l	1	0,001	0,005	0,003	0,004	0,008	0	0,003	0,002	0,003
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	3,7	0,52	0,005	0,54	0,65	0,43	0,43	0,48	0,45	0,54
Óleos e Graxas	VA	NFR	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA	VA
OD	mg/l O2	>5	8,84	9,1	8,84	8,79	8,9	8,76	8,1	8,76	8,68
pH		6-9	7,75	7,75	7,75	7,01	7,16	7,22	7,27	7,09	7,9
Prata	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Resíduos Sólidos Objetáveis		VA	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0
Selênio	mg/l	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SDT	mg/l	500		636,4	541,9	21,15	0	12,6	33,6	32,64	22,02
Sulfato	mg/l	250	1	1,2	1	1,5	1	1	2	1	2
Sulfeto	mg/l	NF R	0,006	0,004	0,006	0,011	0,004	0,011	0,005	0,008	0,008
Turbidez	UNT	100	15,71	6,64	15,71	6,57	5,05	4,65	4,49	5,41	10,32
Urânio	mg/l	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vanádio	mg/l	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/l	0,18	0,11	0,14	0,11	0,11	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09
Coliformes Termotolerantes	ml	100 0/10 0	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
Cianobactérias	Cel/ml	NF R	600	600	ND	ND	1000	400	1600	200	800

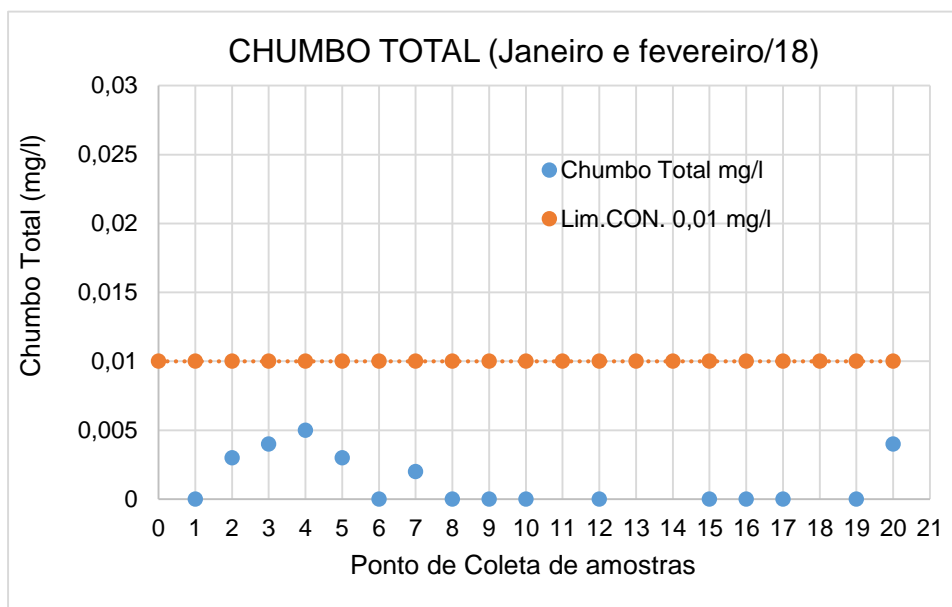
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Anexo II

Chumbo Total

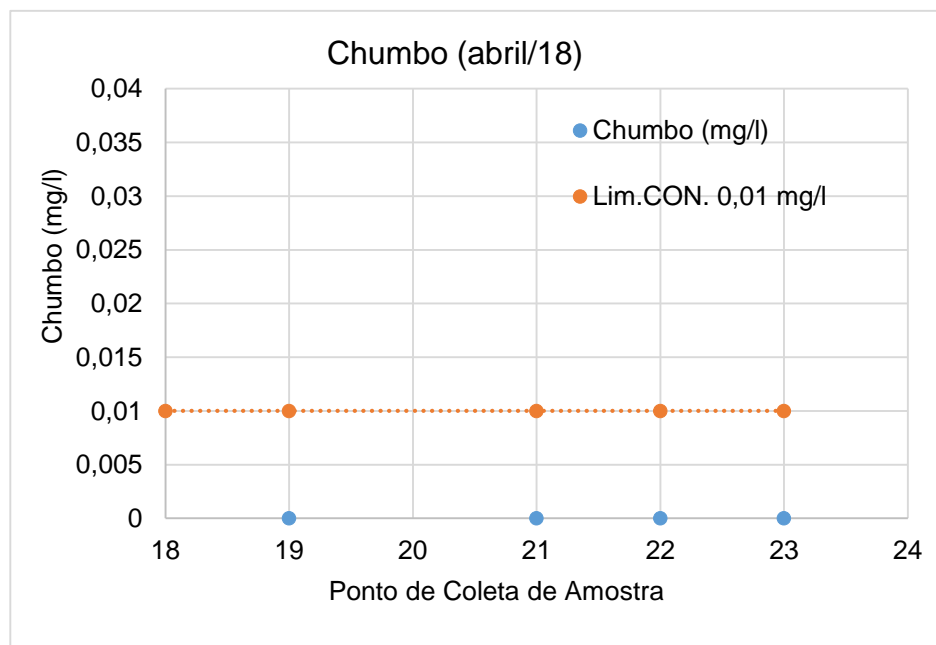
A Resolução CONAMA 357/05 estabelece o valor máximo de 0,01 mg/l em águas Classe 2. Os resultados para todas as estações amostrais estiveram abaixo do limite de quantificação laboratorial (0,01 mg/L).

Figura 1 - Resultado Chumbo Total (jan/fev) .



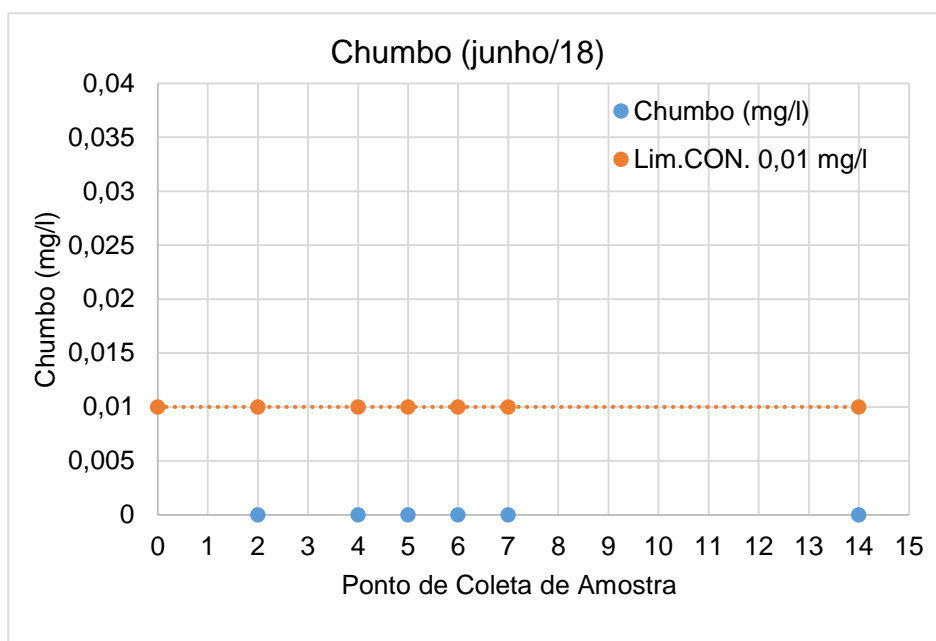
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Figura 2 - Resultado Chumbo Total (abr).



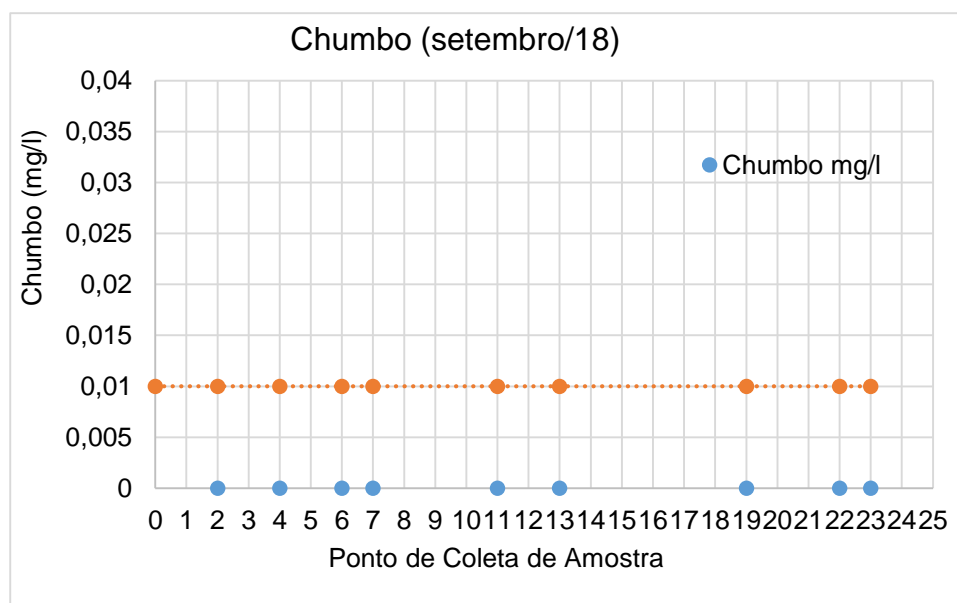
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Figura 3 - Resultado Chumbo Total (jun).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Figura 4 - Resultado Chumbo Total (set).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Os resultados das análises demonstram que o chumbo está presente, em uma das estações a montante, PT03, conhecida como “Pedral” com 0,004 mg/l e nas 3 três estações de despejos de efluentes escolhidas para o monitoramento, mas sempre com valores abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA na Resolução 357/05, valores encontrados como: 0,003 mg/l na estação , PT02 (3 tubos); 0,005 mg/l na estação , PT04 (canal 1 ou Ponte Queimada) e 0,003

mg/l na estação , PT05 (Canal 2). Neste mês, referindo-se ao Rio Cateté, o chumbo apareceu no porto da Djudjekô, com a concentração de 0,002 mg/l, o porto e o local onde eles preparam seu alimento principal, a farinha de mandioca.

Nos pontos do Rio Itacaiunas, encontrou-se o chumbo no porto da Aldeia Ôodjan, em concentração de: 0,004 mg/l.

Quando uma carga de contaminante é lançado em um rio utilizável, vai depender da vazão e do volume de água deste rio para que ele processe a depuração deste contaminante. A resolução 430/11 do CONAMA dispõe uma fórmula para essa necessidade, chamada, cálculo da Concentração do efluente no Corpo Receptor (CECR), em que é calculado da seguinte maneira:

$$CECR = [(vazão\ do\ efluente) / (vazão\ do\ efluente + vazão\ de\ referência\ do\ corpo\ receptor)] \times 100.$$

Observou-se a contribuição natural dos contaminantes do rio, tendo um valor facilmente depurável pelo rio, mas quando levou-se em consideração, todos os pontos de lançamento de de efluentes da Empresa MOP como se fosse um só ponto de despejo, vai está somando a contribuição do empreendimento para a contaminação do rio. No caso do chumbo, somente como exemplo, só esses três pontos de lançamento, já se tem 0,003 mg/l + 0,005 mg/l + 0,003 mg/l = 0,011 mg/l; valor já acima do limite dos padrões estabelecidos pela resolução. Salientando-se que existem mais de 7 (sete) pontos de lançamento de efluentes vindos do empreendimento, o valor tende a dobrar.