

MODELAGEM MATEMÁTICA VOLTADA AO CRESCIMENTO MICROBIANO EM ALIMENTOS¹

Ana Cristina Bassani²

Lidiane de Col³

Keila Daiane Ferrari Orso⁴

Josiele Salet Tischer⁵

Elaine Cristina de Souza Neves Serpa⁶

RESUMO

Este estudo propõe um modelo matemático que avalia o crescimento de microrganismo em alimentos, mais especificamente no iogurte. Os instrumentos de coleta de dados utilizados nesta pesquisa, foram com base nos resultados obtidos a partir da parte experimental. Com relação ao método científico esta pesquisa classifica-se com o método dedutivo, pois utiliza do conhecimento teórico e com base na combinação de ideias faz a interpretação dos resultados. Se tratando de nível de pesquisa é possível constatar que ela é exploratória e classifica-se como um estudo de caso. A técnica de análise e interpretação de dados presente na referente pesquisa é a quantitativa, sendo que o principal intuito deste trabalho é realizar a contagem dos microrganismos que desenvolveram-se no iogurte e com base nestes dados montar o modelo, sem se preocupar com as espécies de microrganismos que cresceram nos meios de cultura. O que chama atenção após análise dos dados obtidos, foi o fato em que houve maior desenvolvimento de microrganismos no iogurte refrigerado do que no não refrigerado, isto pode ter ocorrido em decorrência de contaminação durante o manejo, ou pelo fato do iogurte refrigerado manter ativos os lactobacilos, bactérias benéficas ao nosso organismos.

Palavras-chave: Meio de Cultura. Microrganismos. Modelagem.

1 INTRODUÇÃO

Um modelo matemático, nada mais é do que um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam, de forma simplificada, uma parte da realidade. A modelagem pode ser entendida como o processo de criação do exemplar, que servirá para estudar determinada situação, pode ser conceituada também, como uma atividade de formular estratégias e argumentos a respeito de uma situação e formalizá-los sob a forma de um sistema matemático que permita uma interpretação ou compreensão a respeito da situação (BUENO, 2011).

¹ Artigo apresentado na disciplina de Cálculo Numérico

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de engenharia química. E-mail: anna.crys2011@hotmail.com>

³ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Química. E-mail: lidiane@uceff.edu.br

⁴ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Química. E-mail: keila@uceff.edu.br

⁵ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Química. E-mail: laboratorio@uceff.edu.br,

⁶ UCEFF Faculdades. Coordenadora do curso de Engenharia Química. E-mail: elaine@uceff.edu.br

O conhecimento matemático foi construído e desenvolvido pelo homem, a partir do seu cotidiano e de suas necessidades (BOYER, 1996). A matemática tem caráter formativo, pois contribui para o desenvolvimento de processos de pensamento e a aquisição de atitudes, cuja utilidade e alcance transcendem o âmbito da própria matemática, podendo formar no aluno a capacidade de resolver problemas (BRASIL/MEC, 1999).

Embora o estudo das aplicações industriais dos microrganismos seja função da biotecnologia, a microbiologia contribui para evolução dos estudos e conhecimentos nessa área (ALTERTHUM, 2015).

Quando discute-se o assunto microrganismos nos alimentos, basicamente é lembrado dos microrganismos ditos patogênicos, pois, relaciona-se estes com alimentos contaminados, principalmente alimentos in natura. No entanto, em alimentos industrializados é visto que a presença de micro-organismos pode ter diversas influências negativas como influência patogênica assim como de gradativa (ORSO, 2014).

Neste sentido, tem-se como questão problema: **É possível desenvolver um modelo matemático que avalie o crescimento de microrganismo em alimentos, mais especificamente do iogurte?**

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo matemático que avalie o crescimento de microrganismo em alimentos, mais especificamente do iogurte. Os objetivos específicos deste estudo são: preparar os meios de cultura para o desenvolvimento dos microrganismos, realizar o plaqueamento e acompanhar a evolução e realizar a contagem das colônias de microrganismos (UFC), coletar os dados para proposta do modelo matemático.

Esta pesquisa justifica-se pela importância que os conhecimentos com relação a microrganismos em alimentos representam para a engenharia química, e de forma ampla para a humanidade de forma geral, uma vez que ingerir alimentos é uma necessidade vital aos seres humanos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MICROBIOLOGIA VOLTADA À ALIMENTOS

A Microbiologia (do grego: mikros, “pequeno”; bios, “vida” e logos, “ciência”), é o estudo dos organismos microscópicos e de suas atividades. Devemos considerar que variados

microrganismos podem provocar infecções, e que inúmeras são as formas de diagnóstico e identificação dos agentes etiológicos destas enfermidades (MOLINARO,2009).

A microbiologia é a ciência que estuda os seres vivos microscópicos, suas interações com outros seres e com o meio ambiente, e também seus mais variados aspectos como morfologia, estrutura, fisiologia, reprodução, genética, taxonomia (ALTERTHUM, 2015).

A Microbiologia estuda os seres microscópicos, sejam eles eucariontes unicelulares, multicelulares ou procariontes, e acelulares como os vírus. Os microrganismos representam imensa diversidade biológica e desempenham funções importantes na manutenção de ecossistemas, como componentes fundamentais de cadeias alimentares e ciclos biológicos (REIS; SANTOS, 2016).

Neste caso, os microrganismos seguem as características comuns a todos os sistemas considerados biológicos: habilidade de se reproduzir, capacidade de ingerir ou assimilar substâncias (metabolizando-as para suas necessidades energética e de crescimento), habilidade de excreção de metabólitos, capacidade de reagir a alterações ambientais (irritabilidade) e suscetibilidade a mutações (MOLINARO,2009). Embora o estudo das aplicações industriais dos microrganismos seja função da biotecnologia, a microbiologia contribui para evolução dos estudos e conhecimentos nessa área (ALTERTHUM, 2015).

Quando discute-se o assunto microrganismos nos alimentos, basicamente é lembrado dos microrganismos ditos patogênicos, pois, relaciona-se estes com alimentos contaminados, principalmente alimentos in natura. No entanto, em alimentos industrializados é visto que a presença de micro-organismos pode ter diversas influências negativas como influência patogênica assim como degradativa (ORSO, 2014).

Posterior ao ano de 1857 com as ideias de decomposição dos alimentos impostas por Louis Pasteur foi tomado ciência da importância da conservação dos alimentos. Os métodos mais utilizados para a conservação de alimentos, consistem em criar situações em que seja possível o retardamento do crescimento destes ou na eliminação completa dos microrganismos (GAVA, 1984). O Quadro 1, apresenta alguns agentes causadores de doenças no homem que podem ser transmitidos pelos alimentos.

Quadro 1 – Agentes causadores

Agentes Causadores de Doenças	Exemplos
Produtos químicos	Metais pesados e pesticidas;
Toxinas naturais de plantas e animais	Alcaloides e histaminas;

Vírus	Hepatite e poliovírus;
Parasitas	Amebas e helmintos;
Bactérias patogênicas;	
Fungos toxicogênicos.	

Fonte: Adaptado de Orso (2014).

Conforme o Quadro 1, é possível perceber que a maioria dos agentes causadores de doenças transmitidas por alimentos são microrganismos.

2.1.1 Bactérias

Com relação a morfologia das bacteriana, o tamanho, a forma e o arranjo das células bacterianas são importantes para diferenciação entre as espécies. As bactérias possuem as seguintes formas básicas: cocos esféricos, bacilo em forma de bastão e espiral (REIS; SANTOS, 2016).

A parede celular devido a suas características químicas é responsável pela classificação das bactérias. Neste contexto, as células procarióticas são classificadas em bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, classificação esta devido à resposta da parede celular à coloração pelo método de Gram (REIS; SANTOS, 2016).

O termo Gram origina-se do nome de um pesquisador que em 1884 desenvolveu o método de coloração de Gram que permitiu dividir as bactérias em dois grandes grupos Gram-positivas e Gram-negativas, este método consiste no esfregaço bacteriano fixado com o calor, usando os reagentes cristal violeta, lugol, álcool e fucsina (ALTERTHUML, 2015).

O método da coloração de Gram é de fundamental importância para a microbiologia, baseado na capacidade de algumas bactérias Gram-positivas de reter o complexo cristal violeta-iodo depois de um tratamento rápido com álcool (bactéria apresentará coloração arroxeada). Enquanto as Gram-negativas não retêm o corante, sendo possível aplicar, posteriormente, uma contra coloração com outro corante, normalmente vermelho (bactéria apresentará coloração rosa). Esta distinção está relacionada a diferenças fundamentais na superfície celular dessas duas classes de bactérias (REIS; SANTOS, 2016).

As paredes das bactérias gram-positivas e gram – negativas possuem grandes diferenças, as paredes da bactéria gram- negativa é mais complexa pois possui várias camadas que diferem a composição já a bactéria gram-positiva apresenta um único tipo de macromolécula, conhecer as diferenças entre as paredes das bactérias dos dois grandes grupos é de extrema relevância para estudar melhor os mecanismos de ação antibióticos e quimioterápicos, e outros assuntos

relacionados diretamente a composição e estrutura da parede da bactéria (ALTERTHUML, 2015). (padronizar a escrita)

2.1.2 Ciclo de Crescimento Microbiano

O ciclo de crescimento microbiano em alimentos é constituído por quatro fases, conforme mostra o Quadro 2.

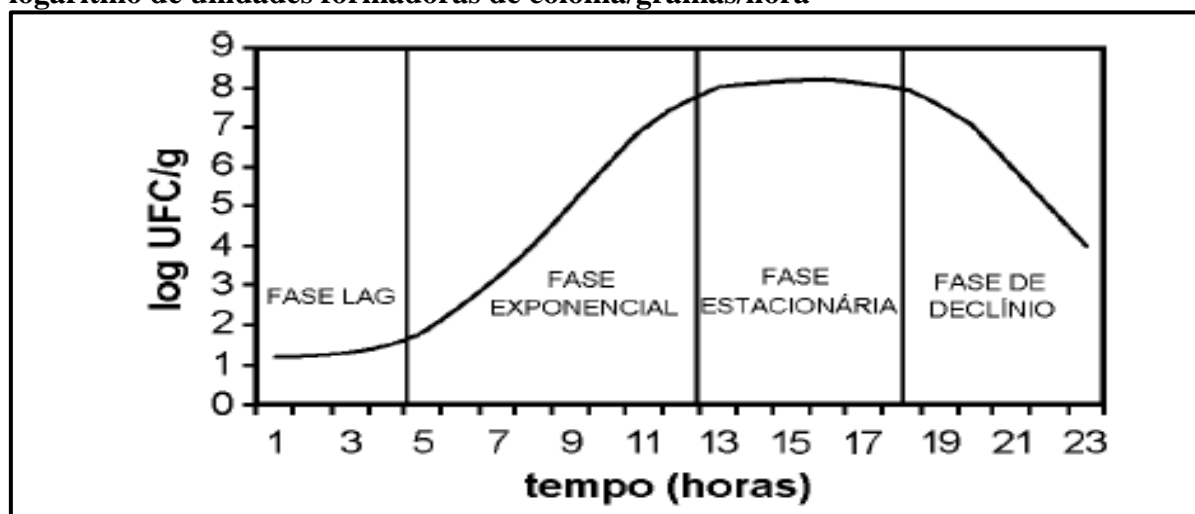
Quadro 2 – Fases de desenvolvimento microbiano

Fase	Comportamento
Fase Lag	Na qual o microrganismo está se adaptando ao meio
Fase Exponencial ou Log	O microrganismo já está adaptado ao ambiente em que está exposto e dirige todo o seu metabolismo para a reprodução;
Fase estacionária	Neste momento começam a escassear os nutrientes e a taxa de reprodução é equivalente à taxa de mortes.
Fase de declínio	Os microrganismos produzem toxinas e o número de mortes supera o número de novos microrganismos.

Fonte: Adaptado de Robazza e Gomes (2010).

As quatro fases do crescimento microbiano representam basicamente, que inicia-se com pouca reprodução em decorrência da adaptação ao meio, posteriormente ocorre muita reprodução e desenvolvimento, seguido de um período estacionário, por fim a morte dos mesmos em decorrência da escassez de alimentos e das suas próprias toxinas. A Figura 1 representa a curva de desenvolvimento de microrganismo.

Figura 1 - Curva de crescimento típica de microrganismos em alimentos expressa em logaritmo de unidades formadoras de colônia/gramas/hora



Fonte: Adaptado de Robazza e Gomes (2010).

A microbiologia preditiva está baseada na hipótese de que o efeito das propriedades dos alimentos como, por exemplo, o pH e a atividade de água, sobre o crescimento microbiano pode ser previsto através de modelos matemáticos derivados de estudos quantitativos dos microrganismos. Neste sentido, tanto a espécie, quanto o comportamento dos microrganismos no alimento depende desses fatores e das condições ambientais às quais o alimento está sujeito (por exemplo, a temperatura) (NAKASHIMA, 2000).

Um dos fatores apontados como responsáveis por esse crescente interesse na aplicação da microbiologia preditiva reside na conscientização por parte de muitos microbiologistas de alimentos de que os métodos de análise tradicionais, para determinação da qualidade e segurança dos alimentos eram limitados pelo tempo necessário para se obter um resultado e tinham, portanto, pouco valor preditivo, e que os métodos indiretos baseados em mudanças químicas, físicas ou físico-químicas exigiam um nível muito elevado de células para fornecer uma resposta (MCMEEKIN, 1993).

2.1.3 Meios de Cultura

Com relação aos meios de cultura, na natureza os microrganismos encontram-se formando populações mistas, no entanto, o desenvolvimento da microbiologia, assim como todos os procedimentos laboratoriais para o diagnóstico, depende da obtenção de biomassa microbiana na forma de populações puras, que quando desenvolvidas/crescidas em meios de cultura denominam-se culturas puras ou axênicas (DINIZ, 2018).

A obtenção de uma cultura pura a partir de uma cultura mista denomina-se isolamento, conseguido através da semeadura dos microrganismos na superfície de meios de cultura sólidos em placas de Petri, o que permitirá a formação de colônias (que são populações isoladas que crescem na superfície destes meios), (DINIZ, 2018).

Durante as atividades experimentais, foram utilizados dois tipos de meios de cultura o Agar Plate Count Agar (PCA) e o Agar Batata Dextrose (BDA), cada um com uma finalidade, a seguir tem-se a descrição de cada um deles: o PCA é um meio utilizado para contagem bacteriana em produtos alimentícios, água e outras amostras de importância sanitária. O Agar para contagem em placa é um meio sugerido pela APHA, AOAC, ICMSF, ISO para contagem total de bactérias aeróbicas e anaeróbicas heterotróficas facultativas em água, líquidos, produtos alimentícios, leite, produtos laticínios e em todos os produtos de utilização humana (PROBAC, 2002).

Contendo altas concentrações de nutrientes, o Indicado, o PCA é indicado para a contagem do número total de bactérias heterotróficas ou copiotróficas (ANVISA, 2017).

O BDA é um meio de uso geral para leveduras e bolores que pode ser suplementado com ácido ou antibióticos para inibir o crescimento de bactérias. É recomendado para métodos de contagem em placas para alimentos, produtos lácteos e testes em cosméticos. O ágar pode ser utilizado para o crescimento de leveduras e bolores clinicamente significativos. A base rica em nutrientes (infusão de batata) estimula a produção de esporos em bolores e produção de pigmentos em alguns dermatófitos (ACUMEDIA, 2011).

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

Um modelo matemático, nada mais é do que um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam, de forma simplificada, uma parte da realidade. Para a elaboração de uma modelagem matemática, é possível seguir os seguintes passos: 1) escolha do tema; 2) pesquisa exploratória; 3) levantamento dos problemas; 4) resolução dos problemas e o desenvolvimento do conteúdo matemático no contexto do tema; 5) análise crítica das soluções (KLUBER, 2007).

O emprego de modelos matemáticos para a previsão/explicação do crescimento biológico contribui de forma significativa para o estudo e desenvolvimento de novos testes e teorias a respeito do fenômeno envolvido. Desta forma, pode-se avaliar o efeito dos principais parâmetros envolvidos no fenômeno e assim buscar equacionar tais comportamentos, com o objetivo de estabelecer projeções futuras e seguras em relação ao fenômeno quanto à variação dos parâmetros envolvidos (ROBAZZA E GOMES, 2010).

2.3 IOGURTE

A legislação brasileira de produtos lácteos fornece a seguinte definição: entende-se por Leites Fermentados os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de microrganismos específicos. Estes microrganismos específicos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade (BRASIL, 2007).

Aprofundando os conceitos da legislação a mesma fornece as seguintes informações para o Iogurte, Yogur ou Yoghurt: Entende-se por Iogurte, Yogur ou Yoghurt daqui em diante o produto incluído na definição mencionada acima, cuja fermentação se realiza com cultivos protosimbióticos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, aos quais se podem acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (BRASIL, 2007).

3 METODOLOGIA

Os instrumentos de coleta de dados utilizados nesta pesquisa, foram com base nos resultados obtidos a partir da parte experimental. As atividades experimentais foram realizadas em 4 momentos diferentes, no dia 30/09/2019, realizou-se o preparo dos meios de cultura, onde ocorreu a incubação dos microrganismos, os meios de cultura utilizados foram o PCA para analisar o crescimento de bactérias, e o BDA meio de cultura próprio para crescimento de bolores e leveduras.

No dia 03/10/2019, finalizou-se o preparo dos meios de cultura e realizou-se o plaqueamento, para isso fez-se necessário a diluição do iogurte em água peptonada, o procedimento foi realizado em triplicata.

Por fim nos dias 07/10/2019 e 09/10/2019, realizou-se a contagem das Unidade Formadora de Colônias (UFC), que se desenvolveram nos meios de culturas, a ideia inicial era realizar três contagens, mas como o desenvolvimento dos microrganismos ocorreu de maneira acelerada invadindo todo o espaço do meio de cultura só foi possível a realização de duas contagens.

Com relação ao método científico esta pesquisa classifica-se com o método dedutivo, Pode-se conceituar a dedução como um método em que a racionalização ou a combinação de ideias em sentido interpretativo é mais importante que a experimentação de caso por caso (BARROS, 2007). A pesquisa se enquadra no método dedutivo, pois utiliza do conhecimento teórico e com base na combinação de ideias faz a interpretação dos resultados.

Se tratando de nível de pesquisa é possível constatar que ela é exploratória, este tipo de pesquisa tem como função proporcionar maior familiaridade com o problema, com objetivo a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (SILVEIRA, 2009). O artigo em questão se enquadra no nível de pesquisa exploratória pois trata-se de um estudo de caso.

Referente ao delineamento dessa pesquisa pode-se afirmar que ela classifica-se como um estudo de caso, sendo que este, pode ser caracterizado como um estudo que visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico. O pesquisador não pretende intervir sobre o objeto a ser estudado, mas revelá-lo tal como ele o percebe (SILVEIRA, 2009). Portanto, o objetivo não é intervir no crescimento dos microrganismo, mas avaliar como este ocorre e, com base nos dados obtidos montar um modelo que o descreva matematicamente.

Por fim a técnica de análise e interpretação de dados é a quantitativa, diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados, ou seja, demonstrados matematicamente. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa (SILVEIRA, 2009). O principal intuito deste trabalho é realizar a contagem dos microrganismos que desenvolveram-se no iogurte e com base nestes dados montar o modelo, sem se preocupar com as espécies de microrganismos que cresceram nos meios de cultura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização das atividades experimentais, utilizou-se como amostra o iogurte, conservado através de dois métodos, um sob refrigeração e outro sem o método de refrigeração para que seja possível comparar os resultados e os impactos que os métodos conservativos podem causar aos alimentos.

Como já mencionado anteriormente o procedimento foi realizado em triplicada, tanto para o meio de cultura PCA quanto para o BDA, para desta forma, avaliar respectivamente o crescimento de bactérias, e o crescimento de bolores e leveduras tanto para o iogurte refrigerando quanto para o não refrigerado.

4.1 PREPARO DOS MEIOS DE CULTURAS

Como já mencionado anteriormente os meios de culturas utilizados para incubar os microrganismo foram o Agar Plate Count Agar (PCA), que é próprio para o desenvolvimento de bactérias e o Ágar Batata Dextrose (BDA), utilizado principalmente para o desenvolvimento

de bolores e leveduras. A Figura 2 demonstra os produtos utilizados no preparo dos meios de cultura.

Figura 2 - Agar Plate Count Agar (PCA) e Ágar Batata Dextrose (BDA)



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Foi realizado o preparo de 250 ml de solução, do ágar hidratado com água destilada, após a diluição e homogeneização, fez-se a cocção no micro-ondas, seguido de autoclavagem, a Figura 3, apresenta o modelo de forno de autoclave utilizado neste preparo.

Figura 3 – Soluções dentro do forno de autoclave



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A autoclavagem é de extrema importância para este processo, pois esteriliza os meios de cultura evitando que contaminantes externos venham a interferir nos resultados finais.

4.2 REALIZAÇÃO DO PLAQUEAMENTO E ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO

No dia 03/10, dando sequência a atividade experimental, finalizou-se o preparo dos meios de cultura, aquecendo a solução preparada e autoclavada no momento anterior, para desta forma conseguir molda-la nas plaquinhas de plástico, local este que de fato ocorreu o desenvolvimento dos microrganismos. Preparou-se seis placas, três de PCA e três de BDA, como consequência o procedimento foi realizado em triplicata, obtendo assim resultados mais precisos. Nas placas havia uma divisão ao meio, o que possibilitou na mesma placa avaliar o iogurte refrigerado e o não refrigerado.

A amostra de iogurte precisou ser preparada antes do plaqueamento, por isso pesou-se 12,5g de iogurte que foram diluídas em 112,5 ml de água peptonada, que nada mais é do que água destilada enriquecida com uma espécie de salina.

O meio de cultura estando preparado e a amostra também, realizou-se o plaqueamento do iogurte com todos os cuidados com relação ao manejo para evitar contaminações externas, o procedimento foi realizado em um raio próximo ao bico de Bunsen, justamente com o objetivo de que nenhum agente externo intervisse nos resultados finais. A Figura 4 demonstra os materiais utilizados para a realização do plaqueamento, bico de Busen, pipeta, plaquinhas de plástico e o iogurte que já encontra-se diluído em água peptonada.

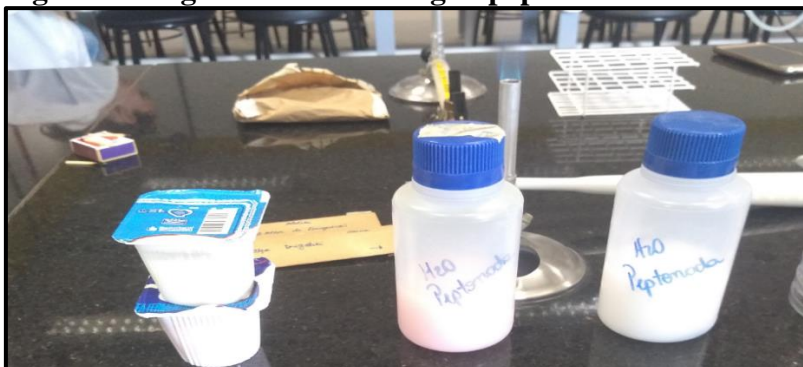
Figura 4 – Materiais utilizados no plaqueamento



Fonte: Dados do estudo (2019).

Todo procedimento foi realizado em um raio próximo ao bico de Busen para evitar que contaminações externas venham a interferir nos resultados finais, na Figura 5 pode-se observar o iogurte utilizado na atividade experimental.

Figura 5 – Iogurte diluído em água peptonada



Fonte: Dados do estudo (2019).

É importante mencionar que foram utilizados iogurtes de mesma marca, mesmo lote, o que difere são os sabores e que um foi mantido sob refrigeração e outro não foi refrigerado.

4.3 CONTAGEM DOS MICRORGANISMOS

Para a obtenção dos dados que foram utilizados no modelo matemático, realizou-se duas contagens de Unidades Formadoras de Colônias (UFC), a primeira contagem foi realizada com 96 horas de incubação, ou seja, 4 dias após o plaqueamento, enquanto a segunda contagem foi realizada com 144 horas de incubação, exatamente 6 dias após o plaqueamento. A Tabela 1 demonstra os resultados obtidos após as duas contagens.

Tabela 1 - Resultado após duas contagens de placa

Contagem dos Microrganismos no Iogurte						
1ª Contagem						
Amostra	Meio de Cultura	Data	Tempo de incubação (h)	Refrigerado	Não refrigerado	
1	BDA	07/10/2019	96	-	1 UFC	
2	BDA	07/10/2019	96	1 UFC	-	
3	BDA	07/10/2019	96	-	1 UFC	
4	PCA	07/10/2019	96	4 UFC	5 UFC	
5	PCA	07/10/2019	96	4 UFC	6 UFC	
6	PCA	07/10/2019	96	2 UFC	3 UFC	
2ª Contagem						
1	BDA	09/10/2019	144	-	2 UFC	
2	BDA	09/10/2019	144	2 UFC	1 UFC	
3	BDA	09/10/2019	144	-	2 UFC	
4	PCA	09/10/2019	144	7 UFC	5 UFC	
5	PCA	09/10/2019	144	4 UFC	6 UFC	
6	PCA	09/10/2019	144	3 UFC	5 UFC	

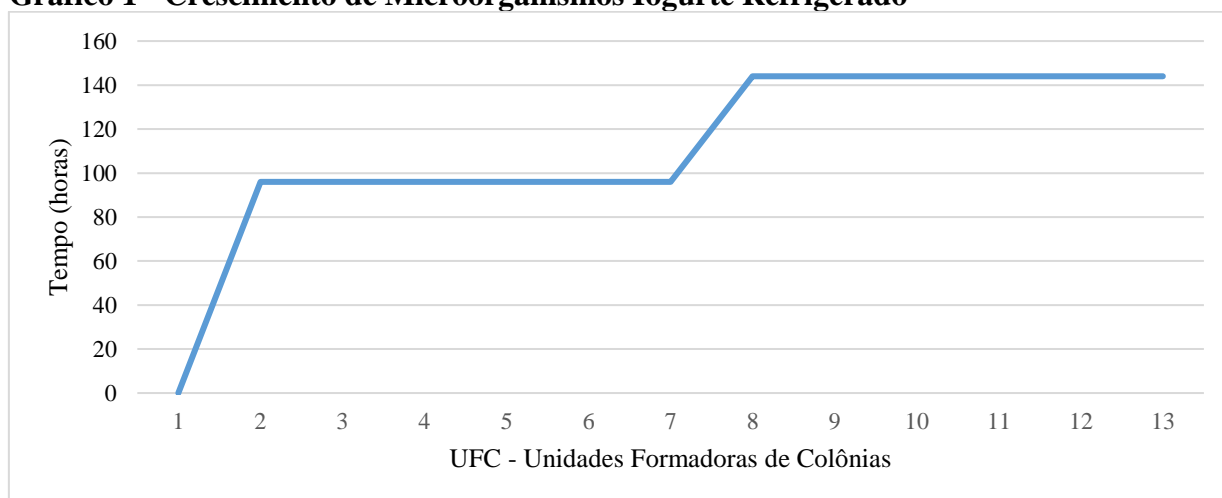
Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O que chama atenção após análise dos dados obtidos, foi o fato em que houve maior desenvolvimento de microrganismos no iogurte refrigerado do que no não refrigerado, isto pode ter ocorrido em decorrência de contaminação durante o manejo, ou pelo fato do iogurte refrigerado manter ativos os lactobacilos, bactérias benéficas ao nosso organismo, estes precisam estar presentes no produto conforme a legislação.

A legislação brasileira de produtos lácteos fornece a seguinte definição: entende-se por Leites Fermentados os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação láctica mediante ação de cultivos de microrganismos específicos. Estes microrganismos específicos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade (BRASIL, 2007).

Os Gráficos 1 e 2 expõem a relação tempo x UFC, comportamento e crescimento dos microrganismos analisados tanto para o iogurte refrigerado, quanto para o não refrigerado:

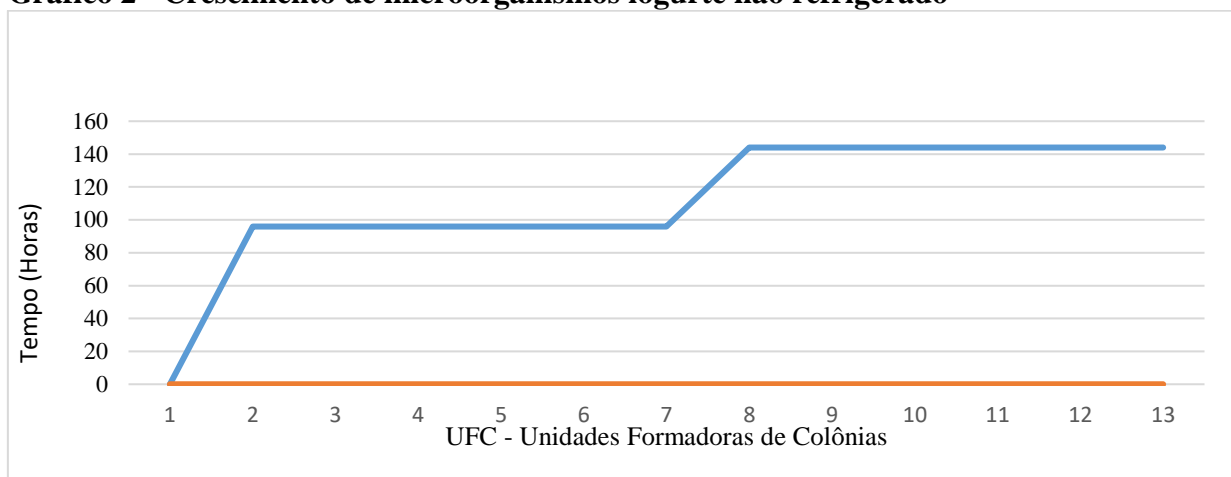
Gráfico 1 - Crescimento de Microorganismos Iogurte Refrigerado



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Avaliando o Gráfico 1 e comparando com a literatura pode-se perceber que os resultados obtidos nas contagens representam as fases exponencial e estacionária. O Gráfico 2, mostra o crescimento de microrganismos no iogurte não refrigerado

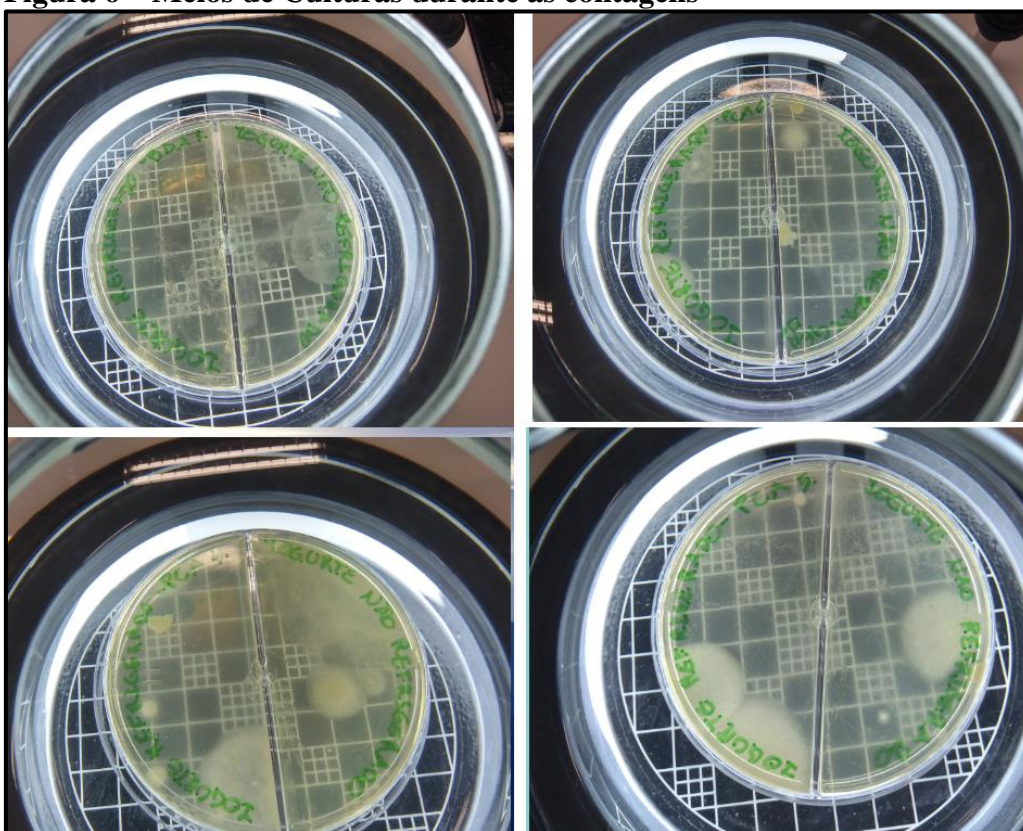
Gráfico 2 - Crescimento de microorganismos iogurte não refrigerado



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

É possível perceber que o Gráfico 2, demonstra as fases exponencial e estacionária. Na Figura 6 é possível visualizar o aspecto que os meios de cultura adquiriram durante as contagens.

Figura 6 – Meios de Culturas durante as contagens



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Ao analisarmos os meios de cultura é possível facilmente perceber que nas duas primeiras imagens que referem-se a primeira contagem, há um número de UFC ligeiramente menor do que nas duas imagens abaixo que referem-se a segunda contagem.

4.4 MODELO MATEMÁTICO

Com base nos dados obtidos durante as contagens, e na relação destes dados com o tempo, propôs-se um modelo matemático para calcular a taxa de crescimento deste microrganismos. O modelo consiste basicamente em realizar a contagem do número de indivíduos em um instante e no instante seguinte, posteriormente aplicar os dados em um modelo geométrico que descreve esta dinâmica, se a população cresce sem limites.

O número de indivíduos no próximo intervalo de tempo, N_{t+1} , é igual ao número de indivíduos no tempo anterior N_t , multiplicado pela taxa de crescimento da população entre os dois intervalos, que chamamos α , conforme mostra a equação 1:

$$N_{t+1} = \alpha N_t \quad (1)$$

Ao aplicarmos os dados obtidos com as contagens na equação acima, obtém-se os seguintes resultados conforme mostra o Quadro 3:

Quadro 3 – Aplicação dos resultados obtidos na prática ao equacionamento

$N_{t+1} = \alpha N_t$	
<ul style="list-style-type: none"> Iogurte Refrigerado 	
BDA	PCA
1ª Contagem: 1	1ª Contagem: 3,3334
2ª Contagem: 2	2ª Contagem: 4,6667
$N_{t+1} = \alpha N_t$ $2 = \alpha \cdot 1$ $\alpha = 2/1$ $\alpha = 2$	$N_{t+1} = \alpha N_t$ $4,6667 = \alpha \cdot 3,3334$ $\alpha = 4,6667/3,3334$ $\alpha = 1,4$
<ul style="list-style-type: none"> Iogurte Não Refrigerado 	
BDA	PCA
1ª Contagem: 1	1ª Contagem: 4,6667

2ª Contagem: 1,6	2ª Contagem: 5,3334
$N_{t+1} = \alpha N_t$ $1,6 = \alpha \cdot 1$ $\alpha = 1,6/1$ $\alpha = 1,6$	$N_{t+1} = \alpha N_t$ $5,3334 = \alpha \cdot 4,6667$ $\alpha = 5,3334/4,6667$ $\alpha = 1,14$

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Para a elaboração dos cálculos, utilizou-se uma média das contagens dos microrganismos que desenvolveram-se no meio de cultura BDA e também PCA, tanto para o iogurte refrigerado quanto para o não refrigerado. A Tabela 2 apresenta os resultados de forma simplificada.

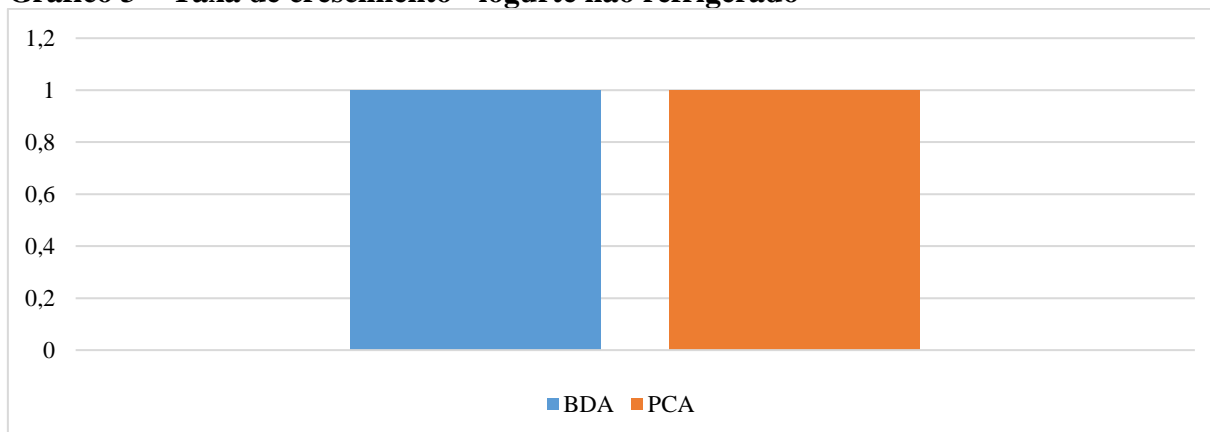
Tabela 2 - Taxa de Crescimento de microrganismos no Iogurte

Taxa de Crescimento de microrganismos no Iogurte		
Meio de Cultura	Taxa de Crescimento UFC/h - Não Refrigerado	Taxa de Crescimento UFC/h - Refrigerado
BDA	1,6	2
PCA	1,14	1,4

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

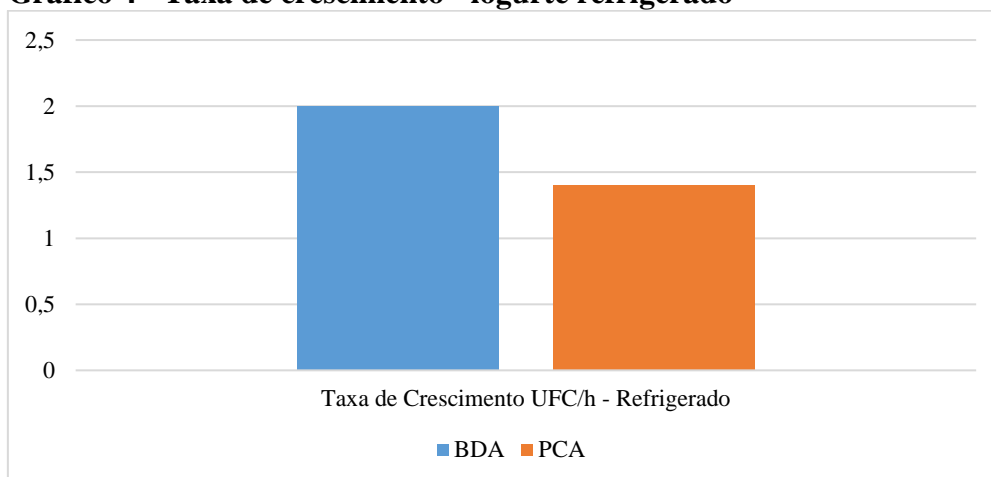
Na Tabela 2, é possível perceber que os resultados obtidos para o crescimento de microrganismos foram muito próximos tanto para o iogurte refrigerado quanto para o iogurte não refrigerado. Os Gráficos 3 e 4 representam de maneira mais dinâmica os resultados obtidos para a taxa de crescimento tanto para o iogurte refrigerado quanto para o não refrigerado.

Gráfico 3 - Taxa de crescimento - iogurte não refrigerado



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Analisando o Gráfico 3, é possível perceber que os resultados obtidos para a taxa de crescimento do iogurte não refrigerado foram bastante próximas, tanto para bactérias quanto para bolores e leveduras.

Gráfico 4 - Taxa de crescimento - iogurte refrigerado

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Diferentemente do iogurte não refrigerado a taxa de crescimento para o iogurte refrigerado para bolores e leveduras foi superior ao crescimento bacteriano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contudo pode-se ingerir que o objetivo de propor um modelo matemático que avaliasse o crescimento de microrganismo em alimentos, mais especificamente do iogurte, foi atingido bem como os objetivos específicos: preparar os meios de cultura para o desenvolvimento dos microrganismos, realizar o plaqueamento e acompanhar a evolução e realizar a contagem das colônias de microrganismos (UFC), coletar os dados para proposta do modelo matemático.

Apesar de simples o modelo atende a proposta inicial que consistia em calcular a taxa de crescimento de microrganismos em iogurte por um dado período de tempo levando em consideração as variações de temperatura e métodos diferentes de conservações.

Por fim como proposta para estudos futuros deixo a possibilidade de aprofundar as atividades experimentais, com o intuito de identificar quais os microrganismos que se desenvolveram nos meios de culta, para relacionar a taxa de crescimento com a espécie de microrganismos e desta forma conseguir prever se o produto possui microrganismos benéficos ou não aos seres humanos.

REFERÊNCIAS

ACUMEDIA, **ágar batata dextrose – potato dextrose ágar**. Neogen do Brasil, 2011. <Disponível em: https://foodsafety.neogen.com/pdf/acumedia_pi/7149_pt_pi.pdf> Acesso em: 22 de outubro de 2019.

- ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. Editor Luiz Rachid Trabulsi. – 6.ed. – São Paulo: Editora Atheneu, 2015.
- BASSANEZI, R. C. **Temas & modelos**. Campinas, SP: UFABC, 2012.
- BARROS, A.J.S. Fundamentos da metodologia científica. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- BOYER, Carl B. **História da matemática**. São Paulo: Edgard Blucher. 2 ed. rev. 1996.
- BRASIL, **Ministério da Educação e Cultura/Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1999.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Gabinete do Ministro. **Instrução normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007, ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**. Brasília, 2007.
- DINIZ, C.G. **Bacteriologia**. UFJF – Juiz de Fora/ MG, 2018. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/microbiologia/files/2013/05/ROTEIRO-PARA-AULAS-PR%C3%81TICAS-bacteriologia-2018-vers%C3%A3o-02-2018.pdf>> Acesso em: 06 de maio de 2019.
- GAVA, Altanir J. **Princípios de Tecnologias de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 1984.
- KLÜBER, T. E.; BURAK, D. **Modelagem Matemática: pontos que justificam sua utilização no ensino**. In: IX Encontro Nacional de Educação Matemática, 2007, Belo Horizonte. Anais eletrônicos... Belo Horizonte-MG. UNI-BH, p. 1-19, 2007.
- MCMEEKIN, T.A.; M.B. Olley, T. Ross, D.A. **Ratkowsky, “Predictive Microbiology: Theory and Application”, Researches Studies**. p. 1-86, 1993.
- MOLINARO, E.M. **Conceitos e métodos para a formação de profissionais em laboratórios de saúde**. Volume 1 - Rio de Janeiro: EPSJV; IOC, 2009.
- NAKASHIMA, S.M.K.; D.S. André, B.D.G.M. Franco, Revisão: **aspectos básicos da microbiologia preditiva**, Brazilian Journal of Food Technology, 3 (2000), 41–51.
- ORSO, P. **Diagnóstico da aplicação de modelagem matemática para entendimento do crescimento bacteriano**. – Medianeira, PR, 2014. <Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4184/1/MD_ENSCIE_IV_2014_80.pdf> Acesso em: 04 de set. de 2019.
- PROBAC. **Meio para contagem bacteriana - agar pca**. PROBAC DO BRASIL, 2002. <Disponível em: <http://www.probac.com.br/Anexos/Bulas/Isentos/Agar%20PCA%20-%20Rev%202002.pdf>> Acesso em: 22 de out. de 2019.
- REIS, A.A.S.; SANTOS, R.S. **Microbiologia básica**. – Aparecida de Goiânia: Faculdade Alfredo Nasser, 2016.

ROBAZZA, W.S.; GOMES, G.A. **Modelagem Matemática do Crescimento de Microrganismos em Alimentos**. Departamento de Engenharia de Alimentos, Centro de Educação Superior do Oeste, Universidade do Estado de Santa Catarina, Pinhalzinho, SC, Brasil, 2010.

SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**. UFRGS, 2009. < Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 20 de out. de 2019.