



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**ENRIQUECIMENTO PROTEICO DA PALMA FORRAGEIRA E DA  
ALGAROBA POR FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA**

JOSÉ COSTA DE OLIVEIRA JÚNIOR

CUITÉ- PB  
2017

**JOSÉ COSTA DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ENRIQUECIMENTO PROTEICO DA PALMA FORRAGEIRA E DA  
ALGAROBA POR FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA**

Monografia apresentada ao Curso de  
Licenciatura em Química da Universidade  
Federal de Campina Grande, como forma de  
obtenção do Grau de Licenciado em Química.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Regina N. Campos

CUITÉ-PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE  
Responsabilidade Jesiel Ferreira Gomes - CRB 15 - 256

O48e Oliveira Júnior, José Costa de.

Enriquecimento proteico da palma forrageira e da algaroba por fermentação semissólida. / José Costa de Oliveira Júnior. - Cuité: CES, 2017.

42 fl.

Monografia (Curso de Licenciatura em Química) - Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2017.

Orientadora: Ana Regina Nascimento Campos.

1. Enriquecimento protéico. 2. Fermentação semissólida.  
3. Química. I. Título.

Biblioteca do CES - UFCG

CDU 54

**JOSÉ COSTA DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ENRIQUECIMENTO PROTEICO DA PALMA FORRRAGEIRA E DA  
ALGAROA POR FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande, como forma de obtenção do Grau de Licenciado em Química.

Aprovada em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Regina Nascimento Campos

UFCG/CES/UABQ

(Orientadora)

---

Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana

UFCG/CES/UABQ

(Examinador)

---

Me. Ana Paula Moisés de Sousa

UFCG/CTRN/UAEA

(Examinadora)

Dedico,

*“A minha mãe Maria das Graças e meus irmãos Jaldir e Juliana, que sempre me apoiaram. ”*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo fim de mais essa etapa tão importante na minha vida, pela concretização desse sonho. Ele que sempre me proporcionou muita saúde e força para superar os obstáculos durante toda caminhada, sempre ao meu lado e me mostrando que apesar das dificuldades nada era impossível.

Aos meus pais Maria das Graças e José Costa, em especial minha querida mãe que sempre esteve ao meu lado acreditando nos meus sonhos, a você devo e dedico tudo o que sou. Agradeço ainda, pela educação e por todo o apoio e incentivo nos momentos de dificuldade, desânimo e cansaço. Tu és minha fonte de energia, meu exemplo de humildade e perseverança.

Aos meus dois irmãos Jaldir e Juliana, que junto a nossa mãe compõem a maior riqueza da minha vida. Queridos irmãos, meu muitíssimo obrigado pelo imenso apoio, união, amor e companheirismo durante toda a vida.

Aos meus amigos Lioran, Ruan, Josivaldo e Alison que em tão pouco tempo de convívio construímos laços de amizade que com certeza durarão eternamente. Juntos compomos chamado “Top 5”, uma forte união, parceria e companheirismo durante todo o curso. A vocês quatro minha eterna gratidão, confesso que não teria ido até o fim sem a ajuda e incentivo de vocês, sou grato por todos os momentos de descontração compartilhados, pela parceria nos momentos de estudos.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Regina Nascimento Campos, minha gratidão principalmente por ter me aceitado de antemão como seu orientando. Agradeço ainda pelo apoio, disponibilidade, confiança e incentivo.

Aos meus colegas Daniel, Jaciara e Ana Paula do Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos – LBBA, pois sem a ajuda de vocês não teria sido possível a realização desse trabalho, obrigado por todo apoio e dedicação na parte experimental. Em especial a Daniel pela condução, ensinamentos, contribuição e dedicação durante todos os processos realizados.

A Jaine Camila que sempre me deu total apoio durante o curso, que acreditou em mim em todos os momentos.

A Íris de Fátima e seus filhos que tão bem me acolheram por mais de um ano em vossa moradia. A vocês muito obrigado pela hospedagem, alimentação e principalmente pelo carinho, amizade e companheirismo durante todo tempo de convívio.

Ao subprojeto de química do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), que foi muito importante para minha formação docente.

A todos os docentes que contribuíram com a minha formação, pelos ensinamentos e amizades.

Enfim, agradeço a todos os amigos, familiares e pessoas que me ajudaram na conquista desse sonho.

**MUITO OBRIGADO!**

*“Não é sobre chegar no topo do mundo  
E saber que venceu  
É sobre escalar e sentir  
Que o caminho te fortaleceu”.*

*Ana Vilela*



## RESUMO

No Nordeste brasileiro as condições climáticas na região semiárida têm prejudicado e dificultado bastante a criação de animais. Durante a seca, a falta de forragem, associada ao pequeno valor nutricional presente nas forrageiras, compromete o desenvolvimento físico dos animais. Sendo assim, na tentativa de melhorar os baixos teores de proteína presente nas forragens a maioria dos criadores recorrerem à compra e uso de concentrados comerciais que torna a atividade antieconômica. A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) adaptou-se muito bem a vegetação da caatinga do nordeste brasileiro, sendo considerada por muitos a principal forrageira utilizada pelos criadores para alimentação dos animais, com boa disponibilidade em períodos de seca, elevada produtividade e bom coeficiente de digestibilidade da matéria seca. Entretanto, a palma forrageira possui baixo teor proteico quando comparada com outras forragens utilizadas como ração animal. Outro produto muito usado como fonte de alimentação animal pelos criadores é a vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC), todavia não é recomendável o uso dessas forragens de forma exclusiva na alimentação dos rebanhos devido oferecer riscos a saúde dos animais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi enriquecer proteicamente a palma forrageira associada à algaroba por fermentação semissólida utilizando a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), para obtenção de um concentrado proteico de ração animal. As amostras de palma forrageira e as vagens de algaroba foram coletadas no Sítio Malhada do Canto, município de Cuité, Paraíba. Com a finalidade de avaliar quantitativamente a influência das variáveis independentes: concentração de algaroba e concentração de levedura, sobre o aumento proteico, bem como suas possíveis interações com a realização mínima de experimentos, foi realizado um planejamento fatorial  $2^2 + 2$  experimentos no ponto central, totalizando 12 experimentos. A fermentação semissólida a 35 °C da palma forrageira com inoculação de 5% de levedura (experimento 4) proporcionou maior aumento proteico. Após 24 h de fermentação observou-se o maior aumento proteico 270,0 % que correspondeu a aproximadamente 3,94 % de proteína bruta. O emprego da levedura na fermentação semissólida da palma forrageira associada ao algaroba viabiliza a obtenção de um concentrado proteico, que poderá posteriormente ser utilizado pelos criadores como fonte alternativa de maior potencial proteico.

**Palavras-chave:** *Opuntia ficus indica* Mill, *Prosopis juliflora*, Enriquecimento Proteico, Fermentação Semissólida.

## ABSTRACT

In the Brazilian Northeast climatic conditions in the semi-arid region have harmed and made difficult the raising of animals. During the drought, the lack of forage, associated to the small nutritional value present in the forages, compromises the physical development of the animals. Thus, in an attempt to improve the low levels of protein present in the fodder, some breeders resort to the purchase and use of commercial concentrates that makes the activity uneconomical. Despite being endemic to the Americas, forage palm (*Opuntia ficus indica* Mill) is found in all continents and has adapted very well to the vegetation of the caatinga, being considered by many the main forage used by the breeders to feed the animals, considering that Provides excellent availability in dry periods in the semi-arid and has a good coefficient of dry matter digestibility and high productivity. However, forage palm has a low protein content when compared to other fodder used as animal feed. Another product widely used as a source of animal feed by breeders is the algaroba pod, which is the fruit of a plant very present in the northeastern semi-arid region known as algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC). However, the use of such fodder exclusively in animal feed is not recommended. Therefore, in order to associate these two products, the objective of this work was to enrich the forage palm and the algaroba by semi-solid fermentation using the yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), to obtain a protein concentrate of animal feed. The forage palm samples and the algaroba pods used in this study were collected at Sítio Malhada do Canto, municipality of Cuité, Paraíba. In order to quantitatively evaluate the influence of the independent variables: algaroba concentration and yeast concentration, on the protein increase, as well as their possible interactions with the minimum experiments, a factorial design was carried out  $2^2 + 2$  experiments at the central point, totaling 12 experiments. The semi-solid fermentation at 35 °C of the forage palm inoculated with 5% of yeast provided a higher protein increase. After 24 h of fermentation, the highest protein increase was 270.0%, corresponding to approximately 3.94 % crude protein. Experiment 4 (5% yeast and 0% algaroba) was the one that presented the highest protein gain, which was reached in a short fermentation period (24 h). The use of yeast in the semi-solid forage palm fermentation associated with the algaroba makes it possible to obtain a protein concentrate, which can later be used by breeders as an alternative source of higher protein potential.

**Keywords:** *Opuntia ficus indica* Mill, *Prosopis juliflora*, Protein Enrichment, Solid State Fermentation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Palma forrageira ( <i>Opuntia ficus indica</i> Mill).....	16
<b>Figura 2.</b>	Algarobeira ( <i>Prosopis juliflora</i> ) (SW) DC).....	19
<b>Figura 3.</b>	Vagem de algaroba ( <i>Prosopis juliflora</i> ) (SW) DC).....	20
<b>Figura 4.</b>	A) Palma forrageira cortada em cubos. B) Mucilagem da palma forrageira, substrato.....	24
<b>Figura 5.</b>	A) Pedacos de vagens de algaroba. B) Massa esfarelada das vagens de algaroba.....	25
<b>Figura 6.</b>	Fermento biológico utilizado como micro-organismo na fermentação.....	25
<b>Figura 7.</b>	Biorreatores contendo os substratos.....	26
<b>Figura 8.</b>	Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta Aumento Proteico.....	35
<b>Figura 9.</b>	Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta Aumento Proteico.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Composição química bromatológica da palma forrageira.....	18
<b>Tabela 2.</b>	Matriz do planejamento fatorial $2^2 + 2$ .....	26
<b>Tabela 3.</b>	Valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial $2^2 + 2$ .....	27
<b>Tabela 4.</b>	Caracterização físico-química da palma forrageira e algaroba antes do processo fermentativo.....	29
<b>Tabela 5.</b>	Constituintes minerais da palma forrageira e algaroba antes do processo fermentativo.....	30
<b>Tabela 6.</b>	Variação dos valores de pH durante o processo de fermentação semissólida.	31
<b>Tabela 7.</b>	Variação do teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) durante o processo de fermentação semissólida.....	32
<b>Tabela 8.</b>	Variação do teor de Proteína Bruta durante o processo de fermentação semissólida.....	32
<b>Tabela 9.</b>	Variação do Aumento Proteico (AP) durante o processo de fermentação semissólida.....	33
<b>Tabela 10.</b>	Resultados das respostas para o aumento proteico da palma forrageira associada às vagens de algaroba.....	34
<b>Tabela 11.</b>	Resultados da ANOVA para o Aumento Proteico (AP).....	35

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>3.1 Palma forrageira</b> .....	16
<b>3.2 Algaroba</b> .....	18
<b>3.3 Fermentação semissólida</b> .....	20
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	24
<b>4.1 Substrato</b> .....	24
<b>4.2 Microrganismo</b> .....	25
<b>4.3 Fermentação</b> .....	26
<b>4.4 Planejamento Experimental</b> .....	26
<b>4.5 Caracterização Físico-Química</b> .....	27
4.5.1 Teor de Água .....	27
4.5.2 Resíduo Mineral fixo .....	27
4.5.3 pH .....	27
4.5.4 Acidez titulável .....	28
4.5.5 Proteína bruta .....	28
4.5.6 Sólidos Solúveis Totais .....	28
4.5.7 Determinação de Minerais .....	28
<b>4.6 Aumento proteico</b> .....	28
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>5.1 Caracterização físico-química da palma forrageira e da algaroba antes do processo de enriquecimento proteico</b> .....	29
<b>5.2 Caracterização físico-química dos substratos durante e após o processo de enriquecimento proteico</b> .....	30
<b>5.3 Verificação dos efeitos das variáveis: concentração de levedura e concentração de algaroba</b> .....	33
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1. INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro as condições climáticas na região semiárida têm prejudicado e dificultado bastante a criação de animais, isso por causa dos longos períodos de seca, que promove uma redução da pastagem nativa (FERREIRA et al., 2011). Durante a seca, a falta de forragem, associada ao pequeno valor nutricional presente nas forrageiras, compromete o desenvolvimento físico dos animais, ocasionando uma baixa na produtividade de leite e carne. Sendo assim, na tentativa de melhorar os baixos teores de proteína presente nas forragens alguns criadores recorreram à compra e uso de concentrados comerciais para suplementação proteica na dieta dos animais, porém em períodos de estiagem tais produtos apresentam preços de mercado que tornam a atividade antieconômica (SANTOS et al., 2012).

Apesar de ser endêmica das Américas a palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) é encontrada em todos os continentes e se adaptou muito bem a vegetação da caatinga do nordeste brasileiro, sendo considerada uma das principais forrageiras utilizadas na alimentação animal pelos criadores, com boa disponibilidade em períodos de seca, elevada produtividade e bom coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CAMPOS, 2008, MACEDO, 2016). Entretanto, a palma forrageira possui baixo teor proteico, e quando se faz uso unicamente dessa forrageira acarreta em resultados desfavoráveis aos animais (SANTOS et al., 1997). Segundo Perazzo Neto (1999) as proteínas possuem importante papel no desenvolvimento do animal e que a sua carência pode provocar vários problemas no desenvolvimento dos animais, tais como: crescimento lento, perda de apetite, queda na produção de carne e de leite e diminuição da fertilidade do animal. Dessa forma, uma vez melhorada essas condições nutricionais dos rebanhos, aumenta-se a qualidade e quantidade da produção.

Outra espécie muito utilizada como fonte de alimentação animal em períodos de seca é a vagem de algaroba que é fruto da algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC). Tal fruto é uma vagem achatada, que pode medir até 30 cm de comprimento, e de 1 a 2 cm de largura (AZEVEDO, 1982). Atualmente, tanto a palma forrageira quanto a algaroba são culturas incorporadas à paisagem da região Nordeste, compondo-se num dos principais recursos forrageiros que são fornecidos aos animais em períodos de seca. Entretanto, ambas são contraindicadas como alimentação animal em regime de exclusividade, pois pode provocar distúrbios alimentares (MENDES, 1987).

Nessa perspectiva surge a Fermentação Semissólida (FSS), com objetivo de ajudar o homem do campo a explorar e enriquecer proteicamente as forragens presentes em sua região. Atualmente inúmeros substratos têm sido enriquecidos proteicamente por meio do processo de FSS como: palma forrageira e sisal (MACEDO et al., 2015); casca do abacaxi (OLIVEIRA, 2006); palma forrageira (SANTANA e CAMPOS, 2006; SANTOS et al., 2012); vagens de algaroba (MUNIZ et al., 2009); bagaço do pseudofruto do caju (RIBEIRO FILHO, 2010; CAMPOS, 2005); resíduos de cupuaçu, jaca, goiaba, abacaxi e seriguela (SANTOS et al., 2010).

Dentre os organismos processadores de proteínas, as leveduras apresentam as melhores vantagens, pois assim como todos os microrganismos as leveduras possuem as características mais favoráveis para serem usadas na alimentação animal. Além de possuir alto valor de nutrientes que são naturalmente concebidos pelo organismo e de rápido crescimento (SILVA, 2015). Nessa perspectiva, podemos considerar o estudo do enriquecimento proteico da palma forrageira associada à algaroba por FSS utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, uma alternativa acessível e barata aos criadores, capaz de contribuir na alimentação dos rebanhos e conseqüentemente diminuir as despesas com a compra, transporte e estocagem de suplementos comerciais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estudar o processo de enriquecimento proteico da palma forrageira (*O. ficus indica* Mill) e da algaroba (*P. juliflora*), por fermentação semissólida, para obtenção de um concentrado proteico de ração animal.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterização físico-química da palma forrageira e da algaroba *in natura* antes do processo de enriquecimento proteico;
- Caracterização físico-química dos substratos, constituídos de palma forrageira e da associação desta com a algaroba, durante e após o processo de enriquecimento proteico;
- Acompanhamento do enriquecimento proteico para verificação do tempo de fermentação em que se obtém o maior valor proteico;
- Verificação dos efeitos das variáveis independentes (concentração inicial de levedura e concentração de algaroba) sobre o teor proteico no processo fermentativo.



### 3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Palma forrageira

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) é uma cactácea originária do México, introduzida no Brasil no final do século XVIII, no estado de Pernambuco, por meio de cladódios. A princípio com a finalidade de favorecer a criação de uma cochonilha que era utilizada na produção de corante, e somente no início do século XX passou a ser utilizada como planta forrageira (DOMINGUES, 1963). A seguir na Figura 1 temos a imagem de um pé de palma forrageira em tamanho adulto.

**Figura 1.** Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill)



**Fonte:** Dados da pesquisa

Apesar de ser endêmica das Américas a palma forrageira é encontrada em todos os continentes e se adaptou muito bem a vegetação da caatinga da região Nordeste. Atualmente é considerada uma das principais forrageiras usadas na alimentação animal em períodos de seca, constitui a base alimentar dos animais ruminantes nessa região, além de possuir grande importância socioeconômica (ROCHA, 2012).

Dentre as principais variedades de palma que são cultivadas podemos destacar a gigante (*Opuntia ficus indica*), redonda (*Opuntia sp.*) e a miúda (*Nopalea cochenilifera*) (SILVA e SANTOS, 2006). Dentre as três espécies citadas acima a palma gigante, como seu nome já diz, apresenta maior tamanho em relação às outras variedades, que conseqüentemente favorece a produtividade (MACEDO, 2016).

Segundo Data América (2004) especula-se que exista aproximadamente de 400 a 600 mil hectares de plantações de palma forrageira na região do nordeste brasileiro, em maior percentual nos estados de Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio Grande do Norte e Bahia.

Atualmente é considerada uma das principais forrageiras utilizadas na alimentação animal, tendo em vista que fornece ótima disponibilidade, elevada produtividade em períodos de seca e possui ainda um bom coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CAMPOS, 2008, MACEDO, 2016). Uma das principais qualidades da palma forrageira é a capacidade de vegetar em ambientes onde o estresse hídrico é quase que constante ao longo do ano, também à sua tolerância a condições climáticas adversas que tornou possível a sua adaptabilidade e dissiminação na região Nordeste. Além disso, essa cactacea possui um grande potencial de fornecer minerais, água e carboidratos na alimentação dos rebanhos (RAMOS, 2012).

Geralmente a palma forrageira é fornecida aos animais de forma picada com auxílio de facas em reservatórios denominados cochos. Entretanto, quando se trata de rebanhos de grande porte os criadores utilizam máquinas forrageiras que trituram até os troncos mais rígidos da palma (RAMOS, 2012). E segundo Mattos et al., (2010) a palma servida aos animais com aspecto pastoso facilita na digestão dos animais como também na associação da palma com outro alimento. Seu elevado teor de água é uma alternativa indireta de fornecer um maior consumo de água na alimentação dos animais, fator essencial em regiões onde a escassez de água é quase que constante.

A composição química bromatológica da palma é variável de acordo com a idade dos artigos e época do ano (LIMA et al., 2003). De acordo com a Tabela 1, a palma forrageira, apresenta baixos teores de matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. Por outro lado, apresenta teores consideráveis de carboidratos totais, carboidratos não fibrosos e matéria mineral (FROTA et al., 2015).

**Tabela 1.** Composição química bromatológica da palma forrageira

	Variação
Matéria seca (%)	6,1 - 17,1
Proteína bruta (%)	2,9 - 6,0
Fibra em detergente neutro (%)	20,1 - 32,8
Fibra em detergente ácido (%)	9,5 - 22,5
Carboidratos totais (%)	73,8 - 85,2
Carboidratos não fibrosos (%)	42,3 - 65,0
Matéria mineral (%)	8,1 - 17,7

Fonte: FROTA, et al., 2015

A palma forrageira possui baixo teor proteico quando comparada com outras forragens utilizadas como ração animal, e quando se faz uso unicamente dessa forrageira pode acarretar em resultados desfavoráveis no desenvolvimento físico dos animais (SANTOS et al., 1997). Nesse sentido, estudos orientam a fornecer a palma forrageira na dieta dos animais sempre de forma associada a um suplemento proteico, disponibilizando-a com até 50% da dieta (SILVA E SANTOS, 2006).

### 3.2 Algaroba

A algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC), é uma árvore da família das leguminosas que pertence ao gênero *Prosopis*, do qual existem mais de 40 espécies, espalhadas em três continentes: América, Ásia e África. São arbóreas e xerófilas que se adaptam muito bem nos mais diversos tipos de solos, desde os mais pobres até os mais férteis, demonstrando certa rejeição com os solos excessivamente úmidos (RIBASKI et al., 2009). A algarobeira (Figura 2) é uma espécie característica de regiões secas, foi introduzida no Brasil por volta de 1942 no município de Serra Talhada-PE, e em seguida se expandiu para os demais estados da região (GOLFARI & CASER, 1977).

De acordo com Silva (2001), atualmente no Brasil a algarobeira é considerada uma espécie de grande importância para a região Nordeste, principalmente por suas inúmeras utilidades, bem como: produção de madeira, carvão vegetal, estacas, alimentação animal e humana, apicultura, reflorestamento, e sombreamento, considerada uma cultura de valor econômico e social. De acordo com Ribaski et al., (2009) as algarobeiras possuem dois períodos de produção, um de maior intensidade que acontece na estação da primavera, entre os meses de setembro e novembro e outro que acontece entre os meses de abril e junho.

**Figura 2.** Algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC)



**Fonte:** Dados da pesquisa

Seu fruto é uma vagem achatada de coloração amarela, que pode medir até 30 cm de comprimento, e de 1 a 2 cm de largura (Figura 3), que pode ser consumida de forma inteira ou triturada, principalmente por caprinos, ovinos, bovinos e equinos (AZEVEDO,1982). As vagens de algaroba também são usadas na alimentação humana na produção de farinhas e melados, que substituem alimentos convencionais como café, rapadura e farinha de trigo (OLIVEIRA et al., 2016, RIBASKI et al., 2009).

Geralmente as vagens de algaroba são fornecidas aos animais de forma inteira ou trituradas pelos criadores. Entretanto na forma triturada ou em farelo é uma opção que apresenta um melhor aproveitamento das proteínas das vagens, visto que as sementes concentram os maiores teores de proteína. A algaroba possui elevado valor alimentício, digestibilidade e palatabilidade, que pode até substituir o milho e o farelo de trigo como forma de suplementação na ração dos animais. Apresentam cerca de 13% de proteína bruta, sendo que as sementes concentram 34 a 39% do total de proteína. Já a polpa da vagem é doce e possui valores significativos de sacarose, cálcio, fósforo e ferro (LIMA, 2005).

**Figura 3.** Vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC)



**Fonte:** Dados da pesquisa

Entretanto, em algumas regiões têm-se constatado a incidência de uma doença chamada de “cara torta”, possivelmente ocasionada pelo uso exclusivo das vagens de algaroba na alimentação animal, devido ao desvio lateral de cabeça que o animal realiza para manter o alimento na boca durante a mastigação, como também intoxicação nos animais. Todavia, como forma de prevenção, tem sido recomendado aos criadores fornecer aos rebanhos uma alimentação balanceada, evitando a exclusividade de vagens sob períodos prolongados, superior a 60 dias (LIMA, 2005).

### **3.3 Fermentação semissólida**

Segundo Schimidell et al., (2001), fermentação semissólida é o processo referente ao cultivo de microrganismos dentro ou sobre partículas em matriz sólida, podendo ser substrato ou material inerte, onde a quantidade de líquido ligado a ela se encontra num nível de atividade de água que garanta o crescimento e metabolismo das células, porém não ultrapasse a capacidade máxima de ligação da água com a matriz sólida.

O enriquecimento proteico de produtos naturais por bioprocessamento em meio semissólido, permite obter uma ração animal com valor nutritivo adequado. Segundo Campos (2003) a diversificação de substratos usados na fermentação semissólida, incluindo resíduos agrícolas e

industriais, contribui também para diminuir os problemas de poluição no meio ambiente. Nessa perspectiva, serão descritos a seguir alguns trabalhos desenvolvidos nessa área.

Macedo et al., (2015) estudaram o processo de enriquecimento proteico da palma forrageira (*O. ficus indica* Mill) associada ao sisal (*Agave sisalana*) através da fermentação semissólida utilizando o microrganismo *S. cerevisiae*, visando à produção de um suplemento proteico para ser usado na ração animal. As fermentações ocorreram durante 24 h em sistema batelada, e constatou-se que o teor máximo de proteína bruta e de aumento proteico alcançados nas fermentações realizadas foi de 3 e 400%, respectivamente. As condições experimentais correspondentes a esses valores foram: concentração de suplemento mineral de 0,1% e massa de sisal de 100%. Das duas variáveis estudadas, apenas a massa de sisal apresentou influências significativas no processo fermentativo.

Oliveira (2006) estudou o enriquecimento proteico da casca do abacaxi (*Ananas comosus*) por fermentação semissólida empregando a levedura *S. cerevisiae*. Após 28 h de fermentação o resíduo alcançou um valor percentual de 17,85% de proteína bruta, representando um aumento proteico de 2,6 vezes, em relação ao valor proteico do resíduo *in natura*. Dessa forma, o resíduo da casca de abacaxi enriquecido proteicamente mostrou-se como opção de suplemento nutricional (proteico, mineral e energético) utilizado na alimentação animal.

Muniz et al., (2009) avaliaram o processo de enriquecimento nutricional das vagens da algaroba (*P. juliflora* (SW) DC), visando obter um melhor aproveitamento da mesma. Para isso, utilizaram o farelo e a farinha das vagens na produção de um concentrado proteico para a alimentação animal através da fermentação semissólida. Realizou-se o estudo cinético com o microrganismo *S. cerevisiae* por intermédio das análises físico-químicas do enriquecido em sistema de batelada. A maior variação de aumento proteico da farinha de algaroba ocorreu após 72 h de fermentação e, atingiu um valor de 206,20%.

Santana e Campos (2006) estudaram o enriquecimento proteico da palma forrageira (*O. ficus indica* Mill) em biorreator tambor rotativo, onde empregaram a fermentação semissólida fazendo-se a adição de diferentes concentrações iniciais de levedura e de ureia ao substrato. Para a levedura valores de concentração equivalentes a 1, 3 e 5% foram adicionados e, para a ureia foram 0, 5 e 10%, ambos em relação à massa inicial de substrato. Após uma avaliação das variáveis notou-se que após 4 h de processo foi obtido valores de teores de proteína bruta e aumento proteico de 43,27% e 6,44 vezes, respectivamente. As condições experimentais correspondentes a esses valores foram: concentração de levedura 3% e concentração de fonte de nitrogênio de 5%. Segundo os autores, a palma enriquecida pode

substituir parcialmente as rações convencionais tornando-se uma alternativa de barateamento dos custos dos produtores.

Estima-se que o aproveitamento do pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale* L.) seja apenas de 15% da produção. Em seu processamento é gerado como resíduo o bagaço, que pode ser aproveitado na alimentação animal através de enriquecimento proteico. Nessa perspectiva, Ribeiro Filho (2010) analisou o enriquecimento proteico de bagaço do pseudofruto do caju por via fermentativa. O pedúnculo foi processado em liquidificador industrial e prensado peneirado para separação do suco. O bagaço úmido foi disposto em bandejas de alumínio e seco em estufa com circulação de ar à 60°C por um período de 30 h, para obter o resíduo seco. A concentração da levedura adicionada foi 12% e a temperatura de cultivo usada foi 33 °C. O bagaço do pedúnculo do caju *in natura* não apresentou diferenças no aspecto físico quando comparado com o enriquecido. O processo fermentativo em estado semissólido é viável para aumentar o teor de proteína existente no bagaço do pedúnculo do caju, visto que o aumento proteico alcançado foi de 2,68 vezes.

No estudo do processo de enriquecimento proteico do bagaço do pedúnculo de caju com a utilização da levedura *S. cerevisiae*, visando produção de ração animal alternativa para os criadores, rica em proteínas, Campos (2005) observou a cinética do processo, avaliando a concentração inicial de leveduras, temperatura de cultivo e tempo de armazenamento do produto final sobre o teor proteico. As concentrações da levedura adicionada foram 8, 12 e 16% e as temperaturas do cultivo 30, 33 e 36 °C. O maior ganho de aumento proteico no bagaço alcançado foi de 20,25%, após 28 h do cultivo.

Santos et al., (2010) com objetivo de demonstrar o enriquecimento proteico dos resíduos da fruticultura através da fermentação em estado sólido com auxílio do *Aspergillus niger* testaram os seguintes resíduos obtidos do processamento das frutas: Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Jaca (*Artocarpus heterophyllus*), Goiaba (*Psidium guajava*), Abacaxi (*Ananas comosus*) e Seriguela (*Spondias purpurea*). A biomassa produzida através do resíduo da goiaba apresentou o maior enriquecimento proteico (76,9%), enquanto que o pior valor foi encontrado no resíduo de cupuaçu (40,8%). A partir dos resultados obtidos os autores concluíram que por meio da fermentação semissólida e com auxílio do fungo filamentosos, foi possível elevar os teores de proteína bruta de resíduos agroindustriais.

Santos et al., (2012) estudaram do enriquecimento proteico da palma forrageira (*O. ficus indica* Mill) do sertão pernambucano como objetivo usá-la na alimentação animal. O enriquecimento proteico da palma forrageira foi realizado através de fermentação semissólida com utilização da levedura *S. cerevisiae*. As variáveis independentes do planejamento foram:

concentração de uma fonte adicional de nitrogênio e a concentração de uma fonte adicional de carboidrato (glicose) e a variável dependente analisada foi o teor de proteínas totais contido na palma enriquecida. O enriquecimento proteico da palma forrageira mostrou que após 4 h de fermentação quando se adicionou 1,00% de fonte de nitrogênio e 1,00% de fonte de glicose obtiveram o maior teor de proteínas totais obtido foi de 34,66%.



## 4. METODOLOGIA

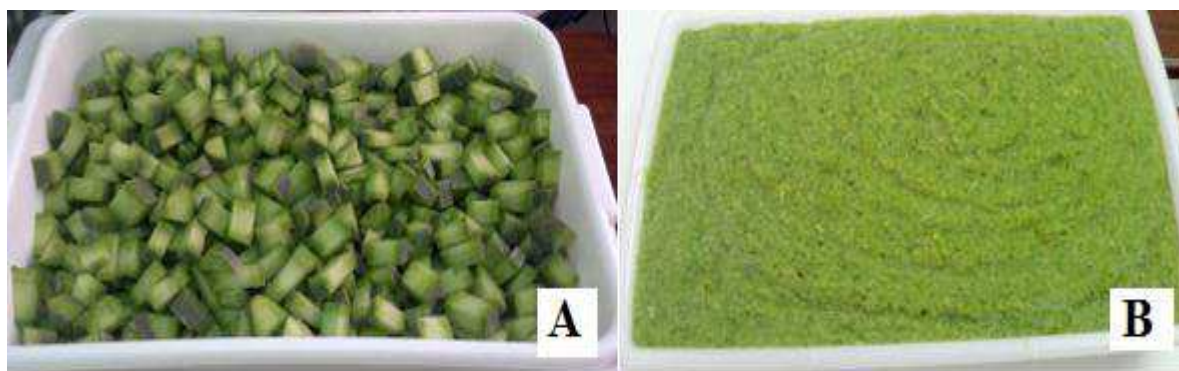
Nessa seção serão descritos os materiais selecionados e as metodologias utilizadas no processo de enriquecimento proteico da palma forrageira e da algaroba. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde (UFCG/CES).

### 4.1 Substrato

As amostras de palma forrageira e de algaroba foram coletadas no Sítio Malhada do Canto, município de Cuité, Paraíba. Na coleta das matérias-primas foi dada preferência as que estiverem em bom estado fitossanitário, ou seja, estavam isentas de manchas, infestações por pragas, atrofiamento, danos mecânicos, presença de fungos e demais sujidades.

Após essa etapa, os materiais foram levados para o laboratório, onde a palma foi cortada manualmente com faca de aço inoxidável, em pedaços com formato de pequenos cubos (Figura 4 A), em seguida passou por processo de trituração em liquidificador industrial, tipo basculante, com velocidade 3480 rpm, que resultou numa massa com aspecto de mucilagem e de consistência pastosa, constituindo o substrato (Figura 4 B).

**Figura 4:** A) Palma forrageira cortada em cubos. B) Mucilagem da palma forrageira, substrato.



Fonte: Dados da pesquisa

As vagens de algaroba foram quebradas manualmente em pequenos pedaços (Figura 5 A) e posteriormente trituradas também em liquidificador industrial, que resultou numa massa esfarelada (Figura 5 B).

**Figura 5:** A) Pedacos de vagens de algaroba. B) Massa esfarelada das vagens de algaroba.



**Fonte:** Dados da pesquisa

Para cada fermentação foram utilizados 400,00 g de substrato, sendo sua composição descrita posteriormente no planejamento experimental.

#### 4.2 Microrganismo

O microrganismo utilizado para o enriquecimento proteico da palma forrageira e da algaroba foi a levedura *S. cerevisiae*, prensada, fermento biológico comercial (Figura 6).

**Figura 6.** Fermento biológico utilizado como micro-organismo na fermentação



**Fonte:** Dados da Pesquisa.

### 4.3 Fermentação

As fermentações foram realizadas em sistema de batelada, utilizando biorreatores retangulares de plástico, com dimensões de 15 x 25 cm (Figura 7). Os biorreatores ficaram dispostos em estufa de circulação de ar, na temperatura de  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , durante 72 horas.

Durante esse período, amostras dos substratos foram coletadas nos tempos referentes a 0, 24, 48, 72 h de fermentação, para caracterização físico-química.

O tempo 0 h, refere-se ao início do processo fermentativo, ou seja, logo após a mistura do substrato *in natura* e da levedura.

**Figura 7.** Biorreatores contendo os substratos



Fonte: Dados da pesquisa

### 4.4 Planejamento Experimental

Com a finalidade de avaliar quantitativamente a influência das variáveis independentes: concentração de levedura e concentração de algaroba sobre o aumento proteico, bem como suas possíveis interações com a realização mínima de experimentos, foi realizado um planejamento fatorial  $2^2 + 2$  experimentos no ponto central, em duplicata, totalizando 12 experimentos. Os experimentos foram feitos em ordem aleatória, para evitar o erro sistemático, variando-se simultaneamente as variáveis independentes.

A Tabela 2 mostra as variáveis utilizadas nesse planejamento, suas codificações e os níveis reais para cada variável. Cada variável independente foi investigada para um nível alto (+1) e um baixo (-1). A matriz do planejamento fatorial  $2^2 + 2$  encontra-se, na Tabela 3.

**Tabela 2.** Valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial  $2^2 + 2$ .

Variável	-1	0	+1
Concentração de levedura (%)	1	3	5
Concentração de algaroba (%)	0	25	50

Fonte: Dados da pesquisa

**Tabela 3.** Matriz do planejamento fatorial  $2^2 + 2$ .

Experimentos	Concentração de levedura (%)	Concentração de algaroba (%)
1	-1	-1
2	-1	+1
3	0	0
4	+1	-1
5	+1	+1
6	0	0

Fonte: Dados da pesquisa

## 4.5 Caracterização Físico-Química

### 4.5.1 Teor de Água

A determinação do teor de água (TA) seguiu a metodologia adotada por (IAL, 2008), com os resultados expressos em percentagem (%). Este método está baseado na determinação de perda de peso do produto submetido ao aquecimento em estufa a 105 °C, por 24 h.

### 4.5.2 Resíduo Mineral fixo

A determinação do percentual do Resíduo Mineral fixo (RMF) ou cinzas foi determinado por incineração em forno mufla a 550 °C, até total queima da matéria orgânica, conforme metodologia descrita em IAL (2008).

### 4.5.3 pH

Utilizou-se o método descrito por IAL (2008), onde 5 g de amostra foram transferidos para um Erlenmeyer de 250 ml seco, acrescentando-se 50 ml de água à 25 °C, recentemente fervida. O frasco foi submetido a constante agitação ocasionalmente por 30 min, e deixado em repouso por 10 min. O pH foi determinado através de medidas potenciométricas do líquido sobrenadante.

#### 4.5.4 Acidez titulável

Determina-se o conteúdo total de ácidos de um alimento, por meio de titulação com hidróxido de sódio. Essa determinação foi realizada conforme metodologia descrita por IAL (2008).

#### 4.5.5 Proteína bruta

O método Kjeldahl, descrito por Tedesco et al., (1995) foi utilizado para determinação de proteína bruta nas amostras. Esse método consiste na oxidação completa da amostra em ácido forte (ácido sulfúrico) até que o nitrogênio das proteínas seja reduzido para sulfato de amônio. A amônia é, então, liberada do sulfato pela adição de hidróxido de sódio, sendo destilada e recebida numa solução de ácido bórico. A quantidade de base é titulada com uma solução de ácido clorídrico padronizada. A determinação de proteína por esse método passa por três etapas: digestão, destilação e titulação. O fator de conversão utilizado foi 6,25.

#### 4.5.6 Sólidos Solúveis Totais

Os sólidos Solúveis Totais (SST) foram determinados por leitura direta em refratômetro, com os resultados expressos em °Brix (g/100g), conforme metodologia descrita por IAL (2008).

#### 4.5.7 Determinação de Minerais

Os minerais foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva; o equipamento utilizado foi o Shimadzu EDX-7000 (EDX).

### 4.6 Aumento proteico

Para verificar-se qual o incremento de proteína bruta após o processo de enriquecimento proteico, foi calculado o aumento proteico (AP) de cada amostra retirada durante as fermentações. As determinações do aumento proteico das amostras terão como base o valor proteico contido no substrato *in natura*. O aumento proteico foi definido como a razão entre o valor proteico do substrato enriquecido (%) menos valor inicial de proteína bruta na forma *in natura* e o valor inicial de proteína bruta na forma *in natura*, conforme Equação 1.

$$AP (\%) = \frac{(\%)Proteína Bruta_{(enriquecida)} - (\%)Proteína Bruta_{(in natura)}}{(\%)Proteína Bruta_{(in natura)}} \times 100 \quad (1)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização físico-química da palma forrageira e da algaroba antes do processo de enriquecimento proteico

As amostras de palma forrageira e vagens de algaroba *in natura*, analisadas antes do enriquecimento proteico, apresentaram os valores mostrados na Tabela 4.

A palma forrageira apresentou valor médio para o teor de água de 89,54%, pH de 4,85, sólidos solúveis totais de próximo a 3 °Brix e um percentual de proteína bruta, expressa em base úmida, de 0,73%. Segundo Van Soest (1994) este valor de PB apresentado pela palma *in natura* não cumpre as exigências nutricionais dos animais.

A palma apresentou valores de teor de água, pH e sólidos solúveis totais (SST) próximos aos encontrados por Macedo (2016), que corresponderam a 82,5%, 4,50 e 3,96 respectivamente.

Segundo Chieppe Júnior (2012), pH entre 4,5 e 5,0 é ótimo para o crescimento de leveduras. Sendo assim, o pH obtido na palma forrageira *in natura* apresentou um valor interessante para o desenvolvimento da levedura *S. cerevisiae*.

Com relação às vagens de algaroba os valores médios encontrados na caracterização físico-química foram: teor de água de 16,04%, pH de 5,93, sólidos solúveis totais de 14,13 °Brix e um percentual de proteína bruta de 6,85%.

**Tabela 4.** Caracterização físico-química da palma forrageira e algaroba *in natura* antes do processo fermentativo.

	Palma Forrageira	Algaroba
Teor de Água (%)	89,54 ± 0,014	16,04 ± 0,06
pH	4,85 ± 0,007	5,93 ± 0,02
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	2,97 ± 0,06	14,13 ± 0,11
Resíduo Mineral Fixo (%)	0,48 ± 0,01	3,02 ± 0,02
Proteína Bruta (%)	0,73 ± 0,00	6,85 ± 0,37

Fonte: Dados da pesquisa

Os minerais presentes em ambas forrageiras, utilizadas como substratos durante a fermentação semissólida, são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Constituintes minerais da palma forrageira e algaroba antes do processo fermentativo.

	Minerais (%)						
	Ca	K	Fe	Mg	P	Mn	Zn
Palma Forrageira	49,25	38,8	4,72	3,33	0,75	0,60	0,38
Algaroba	24,18	48,52	0,56	4,73	9,11	0,23	0,19

**Fonte:** Dados da pesquisa

A partir dos resultados obtidos em relação aos constituintes minerais podemos observar que a palma forrageira apresentou maiores percentuais de Ca, K e Fe em sua composição que corresponderam a 49,25; 38,8 e 4,75 %, respectivamente. Já a algaroba expressou maiores valores percentuais de Ca (24,14%), K (48,52%) e P (9,11%).

## 5.2 Caracterização físico-química dos substratos durante e após o processo de enriquecimento proteico

Os teores de água apresentados pelas amostras no início da fermentação foram semelhantes aos encontrados para as amostras *in natura*, uma vez que pequenas quantidades de levedura foram adicionadas às amostras (1, 3 e 5%, da massa total de substrato inicial). O teor de água médio apresentado pela levedura utilizada no processo foi de  $70,56 \pm 0,014$ .

Para que ocorra o desenvolvimento dos microrganismos, em processos de FSS, é necessário que esse teor seja adequado ao crescimento dos mesmos, permitindo que ocorram as reações necessárias ao processo. De acordo com Pontes (2009), se essa porcentagem estiver abaixo de 12%, os microrganismos não se desenvolvem.

Segundo Silva (2015) a temperatura do substrato afeta o teor de água e influencia no crescimento dos microrganismos em processos de FSS. Durante a fase inicial, a temperatura e a concentração de oxigênio são uniformes através do substrato, porém, à medida em que ocorre a fermentação, começa a ocorrer transferência de oxigênio, gerando mais calor dentro do sistema.

Na Tabela 6 estão apresentados a variação do pH durante o processo fermentativo semissólido nos diferentes experimentos.

Pode-se observar que o comportamento do pH, em função do tempo de fermentação, sofreu variação no decorrer dos experimentos. Em todos os experimentos os valores de pH aumentaram no decorrer do processo, e os maiores valores foram observados com 72 horas de fermentação, onde o pH alcançou valores máximo que variaram de 5,13 - 6,19.



**Tabela 6.** Variação dos valores de pH durante o processo de fermentação semissólida.

Experimentos	pH		
	24 h	48 h	72 h
1	4,95 ± 0,03	5,24 ± 0,13	6,11 ± 0,31
2	5,24 ± 0,02	5,27 ± 0,03	5,38 ± 0,07
3	5,13 ± 0,05	5,78 ± 0,04	6,19 ± 0,06
4	5,12 ± 0,04	5,45 ± 0,08	6,14 ± 0,06
5	5,17 ± 0,01	5,08 ± 0,03	5,13 ± 0,03
6	5,19 ± 0,01	5,68 ± 0,01	6,09 ± 0,03

Fonte: Dados da pesquisa

Melo et al. (2010), citado por Silva (2015), em um estudo sobre enriquecimento proteico da palma forrageira, analisaram a variação do pH no meio, durante o processo fermentativo, encontrando valores entre 4,0 e 6,0 e comportamento semelhante ao observado: aumento do pH, o que foi atribuído à assimilação de ácidos orgânicos, comuns em processos fermentativos. De acordo com os autores, o importante foi o meio ter se mantido na faixa ácida, essencial para a fermentação por leveduras.

Na Tabela 7 estão apresentadas as variações dos teores dos Sólidos Solúveis Totais (SST) durante o processo de FSS nos diferentes experimentos. O experimento 2 apresentou o maior valor inicial (3,1 °Brix) devido ser composto de 50% de concentração de algaroba, já que as vagens de algaroba apresenta bom percentual de açúcares em sua composição.

Os SST de todos os experimentos sofreram variação no decorrer do tempo de fermentação. Nota-se que em todos os experimentos, os teores de SST diminuíram com o decorrer do processo fermentativo. Isso se deve provavelmente ao consumo dos açúcares presentes no substrato para realização do metabolismo das leveduras existentes, e consequente desenvolvimento das mesmas.



**Tabela 7.** Variação do teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) durante o processo de fermentação semissólida.

Experimentos	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)		
	24 h	48 h	72 h
1	1,0 ± 0,0	0,4 ± 0,00	0,1 ± 0,14
2	3,1 ± 0,14	0,55 ± 0,63	0,5 ± 0,14
3	1,0 ± 0,0	0,2 ± 0,00	0 ± 0,00
4	1,3 ± 0,14	0,2 ± 0,00	0 ± 0,00
5	2,1 ± 0,14	0,2 ± 0,00	0 ± 0,00
6	1,1 ± 0,14	0,2 ± 0,00	0 ± 0,00

Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar que a variação dos sólidos solúveis totais se comportou de maneira decrescente em todos os experimentos ao longo do processo de fermentação, certamente pelo seu consumo por parte das leveduras no processo fermentativo.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de Proteína Bruta nos diferentes tempos de fermentação, referentes aos experimentos realizados.

As plantas forrageiras além de serem pobres em proteína, ainda ocorre uma diminuição no período seco, e sendo esse um constituinte essencial na alimentação dos seres vivos, é necessário que haja uma suplementação para não acarretar problemas nutricionais. A utilização de suplementos proteicos eleva muito os custos, então, tem-se procurado enriquecer proteicamente essas plantas, utilizando microrganismos.

**Tabela 8 -** Variação do teor de Proteína Bruta durante o processo de fermentação semissólida.

Experimentos	Proteína Bruta (base úmida) (%)			
	0 h	24 h	48 h	72 h
1	0,65	0,51	0,73	0,87
2	3,21	3,06	6,85	10,57
3	2,26	4,67	3,35	5,10
4	1,60	3,94	1,46	2,04
5	4,08	7,00	7,95	7,51
6	2,04	2,92	5,61	5,18

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados obtidos em relação à variação do Aumento Proteico (AP) da palma forrageira e da algaroba no processo da fermentação semissólida durante 72 horas, para os 6 experimentos realizados estão expressos da Tabela 9.

**Tabela 9.** Variação do Aumento Proteico (AP) durante o processo de fermentação semissólida.

Experimentos	Aumento proteico (%)			
	0 h	24 h	48 h	72 h
<b>1</b>	40,4	26,9	26,9	<b>53,9</b>
<b>2</b>	13,3	17,2	78,3	<b>175,6</b>
<b>3</b>	6,4	108,2	49,1	<b>127,9</b>
<b>4</b>	216,0	<b>270,0</b>	162,0	270,0
<b>5</b>	9,6	82,1	<b>106,9</b>	95,5
<b>6</b>	3,1	29,4	50,9	<b>131,2</b>

**Fonte:** Dados da pesquisa

De acordo com os dados da Tabela 9 os experimentos 1, 2 3 e 6 alcançaram os maiores valores de aumento proteico com 72 horas de fermentação, sendo (53,94; 175,6; 127,9 e 131,2%, respectivamente). No experimento 4 o maior AP foi alcançado nas primeiras 24 h de processo, sendo de 270,0%. O experimento 5 obteve o maior valor de AP com 48 h de fermentação, o valor aumento foi de 106,9%.

### **5.3 Verificação dos efeitos das variáveis: concentração de levedura e concentração de algaroba**

A Tabela 10 apresenta os valores originais e codificados das variáveis de estudo e da resposta obtida, para o enriquecimento proteico da palma forrageira associada à vagens de algaroba, na matriz do planejamento experimental. O maior valor de AP foi encontrado com maiores valores de concentração de levedura e os menores valores de concentração de algaroba (apenas palma forrageira), experimento 4.

**Tabela 10.** Resultados das respostas para o aumento proteico da palma forrageira associada às vagens de algaroba

Exp.	Valores Codificados Reais		Resposta	
	Conc Levedura	Conc Algaroba	AP (%)	Tempo (h)
1	-1 (1%)	-1 (0%)	53,9	72
2	-1(1%)	+1 (50%)	175,6	72
3	0 (3%)	0 (25%)	127,9	72
4	+1 (5%)	-1 (0%)	270,0	24
5	+1 (5%)	+1 (50%)	106,9	48
6	0 (3%)	0 (25%)	150,9	48

**Fonte:** Dados da pesquisa

Podemos observar na tabela acima que de todos os aumentos proteicos alcançados, 270% foi o maior, este aumento correspondeu a um valor de proteína bruta de 3,94 % após 24 h de fermentação. Vale ressaltar que o experimento 4 era constituído de palma forrageira com inoculação de 5% de levedura e 0% de concentração de algaroba.

Foi realizada uma análise de regressão dos dados para se obter os coeficientes dos modelos, levando em consideração que um valor de probabilidade de 90% de confiança é satisfatório ( $p < 0,1$ ). A equação do modelo empírico é mostrada a seguir e os coeficientes que tiveram efeitos significativos na resposta, ao nível de 90% de confiança, estão destacados em negrito.

$$AP = 144,25 + \mathbf{36,85 C_L} - 10,35 C_A - \mathbf{71,2 C_L * C_A}$$

Sendo:  $C_L$  - concentração de levedura,  $C_A$  - concentração de algaroba e AP - Aumento Proteico.

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido após o ajuste foi 0,97, indicando que os resultados foram explicados pela equação empírica proposta com 97% da variabilidade dos dados. Valores de  $R^2$  devem ser próximos da unidade, o que comprova que os resultados foram satisfatórios (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 1995).

A avaliação estatística do modelo foi determinada pelo teste de Fisher para análise de variância que são mostrados na Tabela 11. Os resultados da ANOVA listados demonstram que o modelo estatístico é significativo e preditivo para a variável de interação  $C_L$  e  $C_L * C_A$ , considerando  $p < 0,1$ .

**Tabela 11.** Resultados da ANOVA para o Aumento Proteico (AP).

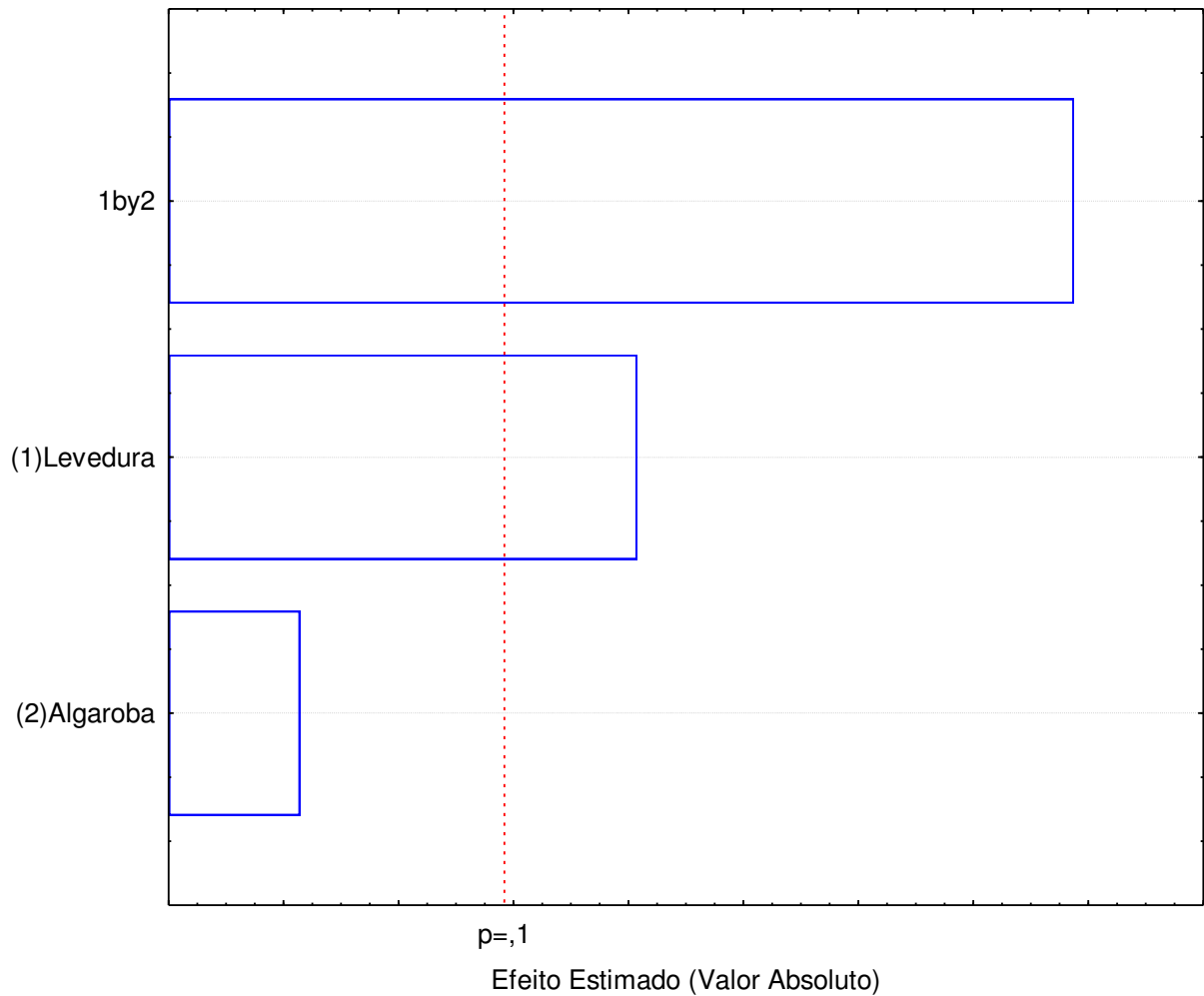
<b>Fator</b>	<b>Soma Quadrática</b>	<b>Grau de Liberdade</b>	<b>Média Quadrática</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
$C_L$	<b>5431,69</b>	<b>1</b>	<b>5431,69</b>	<b>16,62</b>	<b>0,055</b>
$C_A$	428,49	1	428,49	1,31	0,370
$C_L$ por $C_A$	<b>20277,76</b>	<b>1</b>	<b>20277,76</b>	<b>62,04</b>	<b>0,0157</b>
Erro	653,71	2	326,86		
Total SS	26791,65	5			

**Fonte:** Dados da pesquisa

O diagrama de Pareto apresenta graficamente os efeitos significativos das variáveis de entrada, ao nível de confiança utilizado. Os valores que ultrapassam  $p$  são considerados estatisticamente significativos.

A Figura 8 representa o gráfico de Pareto para o aumento proteico, com 90% de confiança. Com este gráfico confirma-se que, a concentração de levedura e a interação entre concentração de levedura e concentração de algaroba, apresentaram influências no aumento proteico.

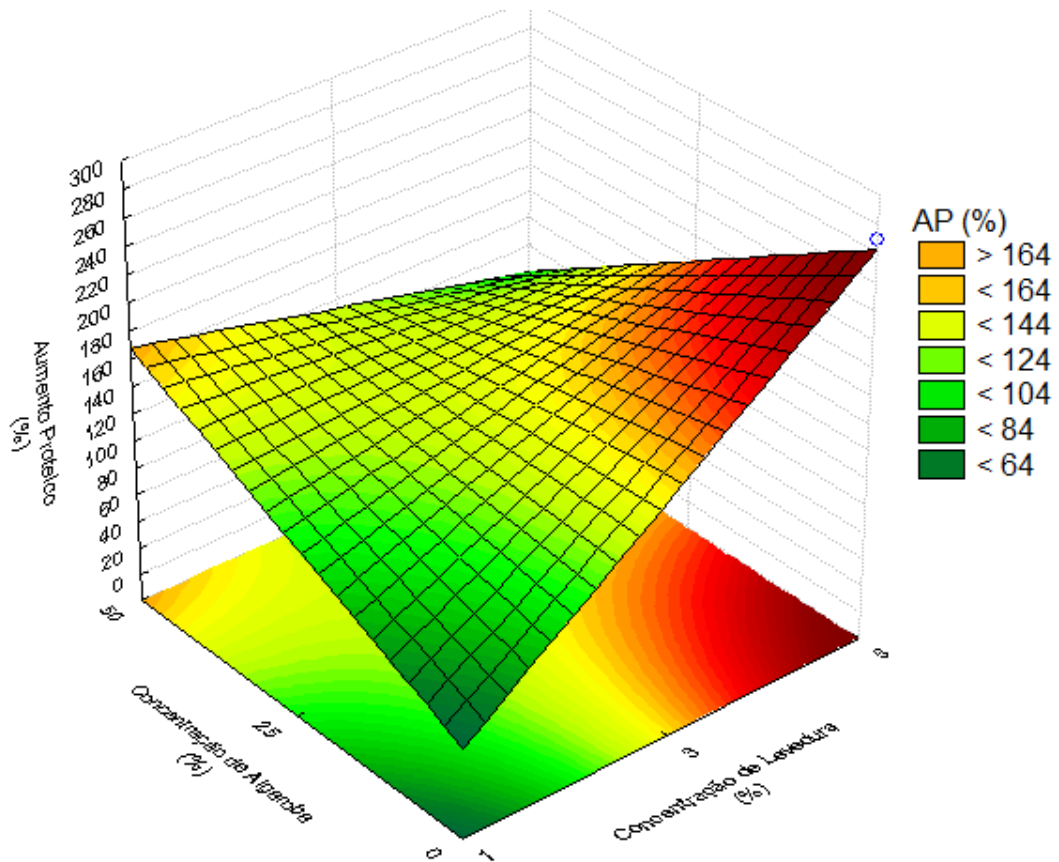
**Figura 8.** Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta Aumento Proteico



O diagrama de Pareto facilita observar os fatores que influenciaram no processo de fermentação semissólida estudado. Analisando o comportamento das variáveis estudadas para AP constatamos que o fator concentração de levedura ( $C_L$ ) e concentração de levedura por concentração de algaroba ( $C_L * C_A$ ) influenciaram no processo fermentativo, tendo em vista que ultrapassam o nível  $p = 0,1$ . Seguindo o mesmo critério concluímos que o fator concentração de algaroba ( $C_A$ ) não foi influente no processo.

A Figura 9 ilustra a superfície de resposta, da influência da concentração de levedura e da concentração de algaroba, sobre a resposta AP, buscando observar tendências.

**Figura 9** - Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta Aumento Proteico



Fonte: Dados da pesquisa

Os maiores valores de AP foram encontrados com maiores valores de concentração de levedura e os menores valores de concentração de algaroba situados na parte avermelhada do gráfico (apenas palma forrageira). Podemos notar que a concentração de algaroba não influenciou no processo fermentativo. Relacionando os valores encontrados na Tabela 10, verifica-se que o experimento 4 obteve um AP de cerca de 270%, o que correspondeu a um percentual máximo de proteína bruta de 3,94%.

## 6. CONCLUSÕES

A fermentação semissólida a 35 °C da palma forrageira com inoculação de 5% de levedura proporcionou maior aumento proteico. O maior aumento proteico observado foi de 270,0%, que correspondeu a aproximadamente 3,94 % de proteína bruta.

O tempo necessário para obtenção do maior aumento proteico foi de 24 h de fermentação.

O emprego da levedura na fermentação semissólida da palma forrageira associada á algaroba viabiliza a obtenção de um concentrado proteico, que poderá posteriormente ser utilizado como fonte alternativa de maior potencial proteico.

## 7. REFERÊNCIAS

AOAC ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. Washington, Ed.12, 1990.

ARAÚJO, L. F. **Enriquecimento proteico do mandacaru sem espinhos *Cereus jamacaru* (P. DC) e palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) por fermentação semissólida**. 195f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2004.

AZEVEDO, C.F. Como e porque a algaroba foi introduzida no Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA, Trabalhos apresentados. **Anais...** Natal: EMPARN, 1982, p.300-306.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, J.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Editora da UNICAMP, Campinas, 1995.

CAMPOS, A. R. N. **Enriquecimento nutricional da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* mill): estudo experimental de ampliação de escala**. Tese, Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

CAMPOS, A. R. N. **Enriquecimento proteico do bagaço do pedúnculo de caju (*Anarcadium occidentale* L.) por fermentação semissólida**. Campina Grande, Paraíba, 87p. (Dissertação) - Universidade Federal de Campina Grande, 2003.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e Fabricação do Álcool**. Santa Maria, 2012.

DATA AMÉRICA. **Projeto palma: relatório técnico**. Disponível em: <<http://www.pe.sebrae.com.br:8080/notitia/download/palma.pdf>>. Acesso em 08 de Agosto de 2017.

DOMINGUES, O. **Origem e introdução da palma forrageira no Nordeste**. Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisa Sociais, Recife, 75p, 1963.



FERREIRA, M. A. *et al.* **Palma forrageira e ureia na alimentação de vacas leiteiras.** Recife: EDUFRPE, 2011.

FROTA, M. N. L.; CARNEIRO, M. S. S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAÚJO NETO, R. B. **Palma Forrageira na Alimentação Animal.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI. Agosto, 2015.

GOLFAR I, L. & CASER, R. L. **Zoneamento ecológico da Região Nordeste para experimentação florestal.** Belo Horizonte, PRODEPEF - Centro de Pesquisa Florestal do Cerrado, 1977. 116p.

MACEDO, A. D. B. **Enriquecimento proteico da palma forrageira e do sisal por fermentação semissólida.** Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Campina Grande. Cuité – PB, 2016.

MACEDO, A. D. B. *et al.* Bioconversão da palma forrageira e do sisal como alternativa para alimentação animal. **Química: ciência, tecnologia e sociedade.** Vol. 4, No. 1, 2015.

MATTOS, C. W.; CARVALHO, F. F. R.; GUIM, A.; ARAUJO, G. G. L.; RIBEIRO, V. L.; ARAUJO, R. F. S. S. **Consumo de nutrientes de cordeiros Santa Inês alimentados com níveis crescentes de palma forrageira em dietas à base de palma forrageira em dietas à base de feno de erva sal.** In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 2010.

MENDES, B. V. **Plantas e animais para o Nordeste.** Globo, 1987. p. 32-46. (Coleção do agricultor).

MUNIZ, M. B. *et al.* Avaliação do processo de enriquecimento nutricional da vargem da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC). In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS. **Anais...** Natal/RN. 02 a 05 de Agosto de 2009.

OLIVEIRA, L. F. B.; MEDEIROS FILHO, F. C.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; COSTA, J. D.; SOUSA, A. P. M.; CAMPOS, A. R. N. Obtenção de produto farináceo a

partir de vagens de algaroba submetida à secagem em estufa. IV Workshop de Ciências Naturais e Biotecnologia. **Revista Saúde e Ciência online**, v. 5, n. 3, dez., 2016.

PERAZZO NETO, A. **Determinação de parâmetros para o enriquecimento proteico da palma (*Opuntia ficus indica* Mill) e vagens de algaroba (*Prosopis juliflora*) com *Aspergillus niger***. 1999. 130f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro.

RAMOS, J. P. F. **Crescimento vegetativo e produtividade da palma forrageira em função do manejo de colheita e da adubação orgânica**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba. Areia-PB. Maio de 2012.

RIBEIRO FILHO, N. M.; SANTOS, R. C.; ALSINA, O. L. S.; CONRADO, L. S. Enriquecimento proteico de bagaço do pseudofruto do caju por via fermentativa. In: 1º Congresso Químico do Brasil. **Anais...** João Pessoa-Paraíba. 28 de março a 1 de abril, 2010.

ROCHA, J. E. S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**. Embrapa Caprinos e Ovinos. Sobral, CE,

SANTANA, R. A. C.; CAMPOS, A. R. N. **Enriquecimento proteico da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* mill) em biorreator tambor rotativo**. XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2006.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A. **Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) em Pernambuco; cultivo e utilização**. Recife: IPA, 23p. (Documentos, 25), 1997.

SANTOS, D.C.; FARIAS, I.; LIRA, M.A. **Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) em Pernambuco; cultivo e utilização**. Recife: IPA, 23p. (Documentos, 25), 1997.

SANTOS, S. F.; LIMA, O. B. V.; SILVA, M. P.; MELO, B. C. A. Estudo do enriquecimento proteico da palma forrageira do sertão pernambucano com foco para alimentação animal. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovações. **Anais...** Palmas-Tocantins, 2012.

SANTOS, T. C; GOMES, D. P. P.; ABREU FILHO, G. FRANCO, M. **Enriquecimento proteico dos resíduos sólidos do processamento de frutas**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotecnologia Industrial. Engenharia Bioquímica**. v.2. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo, 2001.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma Forrageira ( *Opuntia Fícus Indica* Mill ) como alternativa na alimentação de ruminantes ( Forage Palm ( *Opuntia Fícus Indica* Mill ) as alternative in ruminant feeding ). **Revista Electrónica de Veterinaria -REDVET**, v. VII, n. 10, p. 1–13, 2006.

SILVA, J. D. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Editora UFV. São Paulo, 1998.

SILVA, S. A. et al. Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001.

TEDESCO, J. M. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, 1995.

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. de A.; ANDRADE, D. K. B. de; VERAS, A. S. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; DIAS, A. M. de A. Palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira Zootecni**. Viçosa, MG , v. 31, n. 1, p. 273-281, 2002.