

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS E  
BIOTECNOLOGIA

CLÁUDIA RAMOS GOMES DA SILVA

**ENRIQUECIMENTO PROTEICO DE CACTÁCEAS POR  
FERMENTAÇÃO SEMISSÓLIDA**

CUITÉ-PB

2015

CLÁUDIA RAMOS GOMES DA SILVA

## **ENRIQUECIMENTO PROTEICO DE CACTÁCEAS POR FERMENTAÇÃO SEMI-SÓLIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia do Centro de Educação e Saúde – UFCG - *Campus* Cuité, como forma de obtenção do Grau de Mestre.

Orientadores: Profa. Dra. Ana Regina Nascimento Campos  
Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana

CUITÉ-PB

2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA NA FONTE  
Responsabilidade Msc. Jesiel Ferreira Gomes – CRB 15 – 256

S586e Silva, Cláudia Ramos Gomes da.

Enriquecimento proteico de cactáceas por fermentação semissólida. / Cláudia Ramos Gomes da Silva. – Cuité: CES, 2015.

95 fl.

Dissertação (Curso de Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2015.

Orientadora: Dra. Ana Regina Nascimento Campos.  
Orientador: Dr. Renato Alexandre Costa de Santana.

1. Enriquecimento proteico. 2. *Pilosocereus gounellei*. 3. *Pilosocereus pachycladus*. I. Título.

CDU 577.122.5

CLÁUDIA RAMOS GOMES DA SILVA

**ENRIQUECIMENTO PROTEICO DE CACTÁCEAS POR FERMENTAÇÃO  
SEMISSÓLIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia do Centro de Educação e Saúde – UFCG - *Campus Cuité*, como forma de obtenção do Diploma de Mestre.

Aprovada em: 09 de julho de 2015

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Ana Regina Nascimento Campos (orientadora)  
UFCG

---

Prof. Dr. Renato Alexandre Costa de Santana (orientador)  
UFCG

---

Dra. Marinévea Medeiros de Oliveira  
EMEPA/PB

---

Profa. Dra. Maria Franco Trindade Medeiros  
UFCG

---

Prof. Dr. Marcus José Conceição Lopes  
UFCG

CUITÉ-PB

2015

Aos meus pais *in memoriam*

## AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu forças suficientes para superar as dificuldades inerentes a um esforço que exige perseverança, paciência e dedicação.

Ao meu esposo, Professor Dr. Paulo Sérgio Gomes da Silva; aos meus filhos Taís Ramos Gomes da Silva e Vítor Ramos Gomes da Silva.

Aos meus orientadores, Professora Dra. Ana Regina Nascimento Campos e Professor Dr. Renato Alexandre Costa de Santana, por terem me ajudado, de forma bastante positiva a enfrentar todas as dúvidas surgidas, durante a realização desse trabalho e pelas sugestões que me ajudaram a enriquecê-lo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia, por todo apoio recebido durante o Curso, tanto da coordenação quanto de todos os professores que fazem parte do Programa.

Aos grupos dos Laboratórios de Eletroquímica e Corrosão e Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos, pela oportunidade que me concederam de realizar essa pesquisa, bem como aos bolsistas do PIBIC, que me ajudaram na realização dos experimentos: Antônio Daniel Buriti de Macedo, Josivaldo dos Santos, José Anderson.

Aos meus colegas do Curso de Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia, em especial aos que fizeram parte da primeira turma e que compartilharam comigo diversos momentos, fáceis ou difíceis, tristes ou alegres, cuja amizade me fortaleceu e me ajudou a seguir em frente: Mislene Pereira Lins, Sanny da Silva Furtado, Samuel Andrade do Nascimento, Mônica Andrade de Mattos, Ana Paula Moisés de Sousa, Larissa Cavalcante Costa.

## RESUMO

As cactáceas são muito utilizadas como alimento, para humanos e animais, principalmente em épocas de secas prolongadas. No entanto, se forem usadas como única fonte de alimentação, poderão acarretar consequências desfavoráveis devido ao seu baixo teor proteico. O objetivo dessa pesquisa foi estudar o enriquecimento proteico das cactáceas, xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter), através da fermentação semissólida. O microrganismo utilizado foi *Saccharomyces cerevisiae*, prensada, fermento biológico fresco, sendo realizado um planejamento fatorial completo, em três níveis ( $3^2$ ), com repetição, para cada cactácea, totalizando 36 experimentos. As variáveis de entrada foram concentração de levedura (1, 3 e 5%) e temperatura de fermentação (30, 35 e 40°C) e a resposta estudada foi aumento proteico. Antes do enriquecimento, avaliou-se o teor de água, matéria seca, pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, proteína bruta e resíduos minerais. Após a inoculação, as amostras foram submetidas ao processo de fermentação e nos períodos de 0, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48 e 72 horas foram retiradas amostras para a realização de análises químicas. As análises estatísticas foram feitas no *Statistica 8.0*. A levedura apresentou uma média de  $71,89 \pm 1,97\%$  de teor de água;  $28,11 \pm 1,97\%$  de matéria seca; pH de  $4,57 \pm 0,38$ ; acidez titulável de  $4,9 \pm 0,57\%$ ; resíduo mineral de  $1,93 \pm 0,04\%$ ;  $48,02 \pm 0,46\%$  de proteína bruta. Antes da adição da levedura as amostras apresentaram os seguintes resultados: facheiro *in natura* (pH de  $4,56 \pm 0,26$ ; acidez titulável,  $6,1 \pm 1,13\%$ ; teor de água,  $91,66 \pm 1,10\%$ ; matéria seca,  $8,34 \pm 1,10\%$ ; resíduo mineral,  $1,21 \pm 0,06\%$ ; teor de proteína bruta de  $8,32 \pm 0,82\%$  e 3°Brix). As amostras de facheiro queimado apresentaram (pH,  $4,58 \pm 0,10$ ; acidez titulável,  $7,4 \pm 0,42\%$ ; teor de água,  $89,81 \pm 2,52\%$ ; matéria seca,  $10,19 \pm 2,52\%$ ; resíduo mineral,  $1,59 \pm 0,76\%$ ; teor de proteína bruta de  $8,98 \pm 0,31\%$  e 1°Brix). Os resultados das amostras de xiquexique foram: *in natura* (pH,  $4,39 \pm 0,03$ ; acidez titulável,  $6,2 \pm 0,07\%$ ; teor de água,  $92,22 \pm 2,23\%$ ; matéria seca,  $7,78 \pm 2,23\%$ ; resíduo mineral,  $1,40 \pm 0,31\%$ ; proteína bruta de  $5,86 \pm 0,75\%$  e 3°Brix). Xiquexique queimado: pH de  $4,57 \pm 0,08$ ; acidez titulável,  $6,4 \pm 0,56\%$ ; teor de água,  $89,29 \pm 1,29\%$ ; matéria seca,  $10,41 \pm 1,29\%$ ; resíduo mineral,  $1,65 \pm 0,20\%$ , teor de proteína bruta de  $6,94 \pm 0,15\%$  e 0,5°Brix. O facheiro apresentou o maior aumento proteico (128,97%) com concentração de levedura de 5%, temperatura de 30°C, em 72 horas e para o xiquexique foram observadas porcentagens máximas de 181,57%, com 5% de inóculo, temperatura de 40°C em 24 horas. A análise de variância para as duas matrizes de planejamento experimental do facheiro apresentou  $R^2$  de 0,87 e as matrizes das amostras de xiquexique apresentaram  $R^2$  de 0,96. Com o enriquecimento proteico das cactáceas, o produtor poderá enriquecer a forragem de que dispõe em sua propriedade, diminuindo os custos com a suplementação proteica da alimentação dos animais.

**PALAVRAS-CHAVE:** aumento proteico. *Pilosocereus gounellei*. *Pilosocereus pachycladus*.

## ABSTRACT

The cacti are commonly used as food, for humans and animals, mainly in prolonged dry seasons. However, if used as the sole power source may cause adverse effects because of the low protein content. The objective of this research was to study the protein enrichment of cactus, xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (FAC Weber) Byles & G. D. Rowley) and facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter), through the semisolid fermentation. The microorganism used was *Saccharomyces cerevisiae*, pressed, fresh yeast, being carried out a full factorial design in three levels ( $3^2$ ), with repetition for each cactacea, totaling 36 experiments. The input variables are yeast concentration (1, 3 and 5%) and the fermentation temperature (30, 35 and 40 ° C) and the response was increased protein. Prior to the enrichment of cactus evaluated the water content, pH, titratable acidity, crude protein and mineral waste. After inoculation, the samples were subjected to the fermentation process and during the periods 0, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48 and 72 hours, samples were removed for conducting chemical analyzes. The statistical analyzes were made in the Statistica 8.0. Yeast averaged  $71.89 \pm 1.97\%$  of water content;  $28.11 \pm 1.97\%$  of dry matter; pH  $4.57 \pm 0.38$ ; titratable acidity of  $4.9 \pm 0.57\%$ ; mineral residue of  $1.93 \pm 0.04\%$  and  $48.02 \pm 0.46\%$  of crude protein. Before the addition of the yeast, samples showed the following results: facheiro *in natura* (pH  $4.56 \pm 0.26$ ; titratable acidity,  $6.1 \pm 1.13\%$ ; water content,  $91.66 \pm 1.10\%$ ; dry matter,  $8.34 \pm 1.10\%$ ; mineral residue,  $1.21 \pm 0.06\%$ , crude protein content of  $8.32 \pm 0.82$  and 3% Brix). The samples burnt facheiro had pH  $4.58 \pm 0.10$ ; titratable acidity of  $7.4 \pm 0.42\%$ ; water content,  $89.81 \pm 2.52\%$ ; dry matter,  $10.19 \pm 2.52\%$ ; mineral residue,  $1.59 \pm 0.76\%$ ; crude protein content of  $8.98 \pm 0.31\%$  and 1 ° Brix. The results of Xiquexique samples were *in natura* (pH  $4.39 \pm 0.03$ , titratable acidity,  $6.2 \pm 0.07\%$ ; water content,  $92.22 \pm 2.23\%$ ; dry matter  $7.78 \pm 2.23\%$ ; mineral residue,  $1.40 \pm 0.31\%$ , crude protein  $5.86 \pm 0.75\%$  and 3 ° Brix). Burned xiquexique had: pH  $4.57 \pm 0.08$ ; titratable acidity,  $6.4 \pm 0.56\%$ ; water content,  $89.29\% \pm 1.29$ ; dry matter,  $10.41 \pm 1.29$ ; mineral residue,  $1.65 \pm 0.20\%$ , crude protein content of  $6.94 \pm 0.15\%$  and 0.5 ° Brix. The facheiro protein showed the greatest increase (129.05%) with the highest yeast concentration (5%) at a temperature of 30°C with 72 hours of fermentation and to xiquexique maximum percentages were observed at 195.05% and temperature of 40°C with concentrations of 5% inoculum in 24 hours. Analysis of variance for the two arrays of experimental design facheiro presented  $R^2$  of 0.87 and the headquarters of xiquexique samples showed  $R^2$  of 0.96. With the protein enrichment of cacti by semisolid fermentation process the producer can enriched with proteins the fodder that has on his property, reducing the cost of protein supplementation of animal feed.

KEY WORDS: protein increase. *Pilosocereus gounellei*. *Pilosocereus pachycladus*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hábito do facheiro ( <i>Pilosocereus pachycladus</i> F. Ritter) - Sítio Malhada do Canto - Cuité-PB. ....	22
Figura 2 - Distribuição geográfica do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> F. Ritter) no Brasil...	23
Figura 3 - Hábito do xiquexique ( <i>Pilosocereus gounellei</i> (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley) Sítio Malhada do Canto - Cuité-PB.....	26
Figura 4 - Distribuição geográfica do xiquexique ( <i>Pilosocereus gounellei</i> (F. A. C. Weber) Byles & G. D. Rowley) no Brasil. ....	27
Figura 5 - Localização geográfica do Sítio Malhada do Canto – Cuité-PB.....	38
Figura 6 - Queima do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) em fogueira seguindo técnica utilizada por agricultores locais – Sítio Malhada do Canto Cuité-PB.....	39
Figura 7A - Material vegetal carbonizado cortado; 7B - Adição da levedura ao substrato.....	40
Figura 8 - EDX 720: Equipamento utilizado nas análises de minerais - Laboratório de Eletroquímica e Corrosão (CES/UFMG).....	42
Figura 9 - Destilador de nitrogênio utilizado para destilação das amostras - Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos (CES/UFMG).....	44
Figura 10 - Disposição dos espinhos em: A – facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) e B – Xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) .....	46
Figura 11 - Costelados em: A – facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ); B – xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ); Diâmetro do talo central e caule em: C –facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ); D – xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) .....	48
Figura 12 - Aumento proteico do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) – A (Exp. 1); B (Exp. 2); C (Exp. 3); D (Exp. 4); E (Exp. 5); F (Exp. 6); G (Exp. 7); H (Exp. 8) e I (Exp. 9). ....	73
Figura 13 - Aumento proteico do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) – A (Exp. 1); B (Exp. 2); C (Exp. 3); D (Exp. 4); E (Exp. 5); F (Exp. 6); G (Exp. 7); H (Exp. 8) e I (Exp. 9). ....	75
Figura 14 - Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta AP do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ).....	78
Figura 15 - Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta AP do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ).....	79
Figura 16 - Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta AP do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ).....	82

Figura 17 - Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta AP do xiquexique (*P. gounellei*). .....83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do planejamento fatorial 3 <sup>2</sup> .....	45
Tabela 2 - Valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial 3 <sup>2</sup> .....	45
Tabela 3 - Composição química da levedura ( <i>S. cerevisiae</i> ) utilizada no enriquecimento proteico. ....	49
Tabela 4 - Constituintes minerais da levedura ( <i>S. cerevisiae</i> ) utilizada no enriquecimento proteico. ....	50
Tabela 5 - Composição química das amostras de facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) <i>in natura</i> e queimado.....	51
Tabela 6 - Porcentagens dos minerais das amostras de facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) <i>in natura</i> e queimado. ....	53
Tabela 7 - Composição química das amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) <i>in natura</i> e queimado.....	55
Tabela 8 - Porcentagens de resíduo mineral de amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) da cidade de Boqueirão-PB.....	57
Tabela 9 - Porcentagens de minerais das amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) <i>in natura</i> e queimado. ....	57
Tabela 10 - Valores do pH das amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) da cidade de Boqueirão-PB.....	59
Tabela 11 - Teor de água das amostras de facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) durante a FSS. ....	61
Tabela 12 - Teor de água das amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) durante a FSS. ....	62
Tabela 13 - pH das amostras de facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) durante a FSS.....	64
Tabela 14 - pH das amostras de xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) durante a FSS.....	65
Tabela 15 - Porcentagens de acidez titulável do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) durante a FSS. ....	67
Tabela 16 - Porcentagens de acidez titulável do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) durante a FSS. ....	68
Tabela 17 - Porcentagens de proteína bruta do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ) durante a FSS.....	69
Tabela 18 - Porcentagens de proteína bruta do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ) durante a FSS.....	72

Tabela 19 - Matriz 1 do planejamento fatorial $3^2$ para enriquecimento proteico do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ).....	77
Tabela 20 - Matriz 2 do planejamento fatorial $3^2$ para enriquecimento proteico facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ).....	77
Tabela 21 - Resultados da ANOVA para aumento proteico do facheiro ( <i>P. pachycladus</i> ).....	80
Tabela 22 - Matriz 1 do planejamento fatorial $3^2$ para enriquecimento proteico do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ).....	81
Tabela 23 - Matriz 2 do planejamento fatorial $3^2$ para enriquecimento proteico do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ).....	81
Tabela 24 - Resultado da ANOVA para AP do xiquexique ( <i>P. gounellei</i> ).....	84

## LISTA DE SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba
AL	Alagoas
ANOVA	Análise de variância
AP	Aumento proteico
AT	Acidez titulável
BA	Bahia
CE	Ceará
CES	Centro de Educação e Saúde
CL	concentração de levedura
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba
FS	Fermentação submersa
FSS	Fermentação semissólida
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAL	Instituto Adolfo Lutz
LEC	Laboratório de Eletroquímica e Corrosão
MA	Maranhão
MS	Matéria seca
NRC	National Research Council
PE	Pernambuco
PB	Proteína bruta
PB	Paraíba
PI	Piauí
RN	Rio Grande do Norte
SE	Sergipe
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
T	Temperatura

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
° Brix	graus Brix
°C	graus Celsius
Ca	cálcio
cm	centímetro
Cu	cobre
Cl	cloro
Cr	cromo
F	flúor
Fe	ferro
g	grama
gl	grau de liberdade
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	ácido bórico
HCl	ácido clorídrico
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ácido sulfúrico
I	iodo
K	potássio
Km	quilômetro
kg	quilograma
m	metro
M	molar (mol/L)
Mg	magnésio
mL	mililitro
mm	milímetro
Mn	manganês
MQ	média quadrática
N	nitrogênio
Na	sódio
NaOH	hidróxido de sódio
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	sulfato de amônio
NH <sub>3</sub>	amônia
P	fósforo

R <sup>2</sup>	coeficiente de correlação
Rb	rubídio
S	enxofre
Se	selênio
Si	silício
Sn	estrontio
SQ	Soma quadrática
μm	micrômetro
Zn	zinco

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 Objetivo Geral .....	19
2.2 Objetivos Específicos .....	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1 Cactáceas .....	20
3.1. 1. Facheiro .....	21
3.1.1.1 Classificação taxonômica.....	21
3.1.1.2 Breve caracterização morfológica .....	22
3.1.1.3 Distribuição geográfica .....	23
3.1.1.4 Usos .....	24
3.1. 2. Xiquexique.....	25
3.1.2.1 Classificação taxonômica.....	25
3.1.2.2 Breve caracterização morfológica .....	25
3.1.2.3 Distribuição geográfica .....	27
3.1.2.4 Usos .....	28
3.2 Fermentação Semissólida.....	29
3.2.1 Teor de água .....	32
3.2.2 pH.....	32
3.2.3 Temperatura.....	33
3.2.4 Biorreatores.....	34
3.3 Enriquecimento proteico.....	34
3.4 Planejamento experimental .....	36
4 METODOLOGIA.....	38
4.1 Local de coleta das cactáceas .....	38
4.2 Local de realização dos experimentos .....	38
4.3 Aspectos botânicos .....	39
4.4 Matéria-prima .....	39
4.5 Microrganismo.....	40
4.6 Caracterização físico-química .....	41
4.6.1 Teor de água .....	41
4.6.2 Resíduo mineral fixo.....	41



4.6.3. Determinação de Minerais.....	41
4.6.4 Sólidos solúveis totais (°Brix) .....	42
4.6.5 pH.....	42
4.6.6 Acidez titulável .....	43
4.6.7 Proteína bruta.....	43
4.6.8 Aumento proteico .....	43
4.7 Planejamento Experimental.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Breve caracterização de aspectos morfológicos dos espécimes. ....	46
5.2 Caracterização química da levedura utilizada no processo de enriquecimento proteico .....	49
5.3 Caracterização química do facheiro antes do processo de enriquecimento proteico .....	50
5.4 Caracterização química do xiquexique antes do processo de enriquecimento proteico .....	55
5.5 Caracterização química do facheiro e do xiquexique durante o enriquecimento proteico .....	60
5.5.1 Teor de água .....	60
5.5.2 pH.....	63
5.5.3 Acidez titulável .....	66
5.5.4 Proteína bruta.....	69
5.5.5 Aumento proteico .....	73
5.6 Planejamento experimental .....	76
5.6.1 Planejamento experimental do enriquecimento proteico do facheiro .....	76
5.6.2 Planejamento experimental do enriquecimento proteico do xiquexique .....	80
6 CONCLUSÕES .....	85
REFERÊNCIAS.....	86

## 1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste faz parte do semiárido brasileiro e apresenta algumas características climáticas específicas, que influenciam na variação dos outros elementos que fazem parte da paisagem dessa região: precipitações pluviométricas escassas, com ocorrência de longos períodos de estiagem e períodos chuvosos concentrando-se em três ou quatro meses ao ano; altos níveis de radiação solar; temperaturas elevadas e solos pouco desenvolvidos (ARAÚJO, 2011).

Com relação à vegetação, as cactáceas possuem algumas características morfológicas e fisiológicas, que as tornam capazes de sobreviver nas regiões subúmidas e semiáridas do Nordeste, servindo como fonte de água e alternativa alimentar para animais e, até para seres humanos, principalmente em períodos prolongados de estiagem (CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2003). Podemos destacar, dentre essas cactáceas, espécies de xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter). Algumas dessas adaptações são citadas por Zappi et al. (2011, pg. 39): “capacidade das raízes de produzir tricomas que absorvem água de forma imediata, traqueídes vasculares e feixes corticais que vascularizam vastas áreas de tecidos de armazenamento nos caules destas plantas”.

Embora a utilização das cactáceas seja uma alternativa de grande importância para a alimentação dos rebanhos das caatingas nordestinas nas épocas secas, essas plantas possuem baixo teor de proteínas, por isso recomenda-se que seu uso seja feito sempre associado a um suplemento proteico, o que representa uma desvantagem para os agropecuaristas, pois encarecem muito a produção. Segundo Carvalho et al. (2010), na suplementação das forragens, é preciso levar em consideração, além das carências proteicas dos ruminantes, as necessidades com relação à energia, minerais e vitaminas, para que os animais possam crescer de forma adequada.

Os suplementos múltiplos, que fornecem macro e microminerais, proteínas e energia, costumam ser bastante utilizados, pois, estimulam o consumo da forragem e melhoram a sua digestibilidade, porém, o seu uso aumenta os custos para os criadores (CARVALHO et al., 2010). Diante desse contexto, o estudo de fontes alternativas de energia para substituir esses suplementos é de fundamental

importância, tanto do ponto de vista nutricional quanto do ponto de vista econômico. É necessário procurar alimentos que proporcionem desempenhos melhores com menores custos.

Uma forrageira deve atender às exigências nutricionais dos animais, pelo maior período possível, o que se torna muito difícil, porque as plantas sofrem diversas modificações em suas estruturas durante o desenvolvimento, levando a diferenças com relação à digestibilidade que podem diminuir o seu valor nutritivo; além disso, as necessidades nutricionais dos animais também variam durante toda sua vida (CARVALHO et al., 2010). Na maioria dos casos, o nutriente mais limitante nas forrageiras tropicais é a proteína bruta (PB), e esse problema é mais acentuado no período seco do ano, onde esses níveis podem chegar a 2-3% da matéria seca (MS).

Com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável dessa região estão sendo pesquisadas formas alternativas de aumentar o valor nutricional das plantas forrageiras através do enriquecimento proteico, utilizando microrganismos. Os principais microrganismos cultivados como fonte de proteínas, para consumo humano e animal, são as bactérias, algas e fungos (bolores e leveduras), que possuem elevado teor proteico, crescem rapidamente em diversos tipos de substrato, inclusive subprodutos agroindustriais (matéria prima barata, que pode ser obtida com relativa facilidade no Brasil) e esse cultivo é independente de fatores climáticos (ARAÚJO et al., 2008; 2009b). Os autores destacam, ainda, que as leveduras possuem algumas vantagens, porque contêm uma grande quantidade de vitaminas do complexo B e elevado valor nutritivo e biológico, além de serem muito eficientes na conversão. Dentre as leveduras, *Saccharomyces cerevisiae* é muito importante na produção comercial porque não possui relação de patogenicidade com o homem (ARAÚJO et al., 2009b).

O enriquecimento proteico utilizando microrganismos pode ser realizado por meio de fermentação semissólida (FSS), que pode ser definida como um “ tipo de fermentação que envolve sólidos na ausência ou quase ausência de água livre, na qual o substrato deve possuir teor de água suficiente para permitir o crescimento e metabolismo dos microrganismos. ” (PANDEY, 2003, pg. 81).

Diversos substratos têm sido enriquecidos proteicamente, com sucesso, por FSS utilizando *Saccharomyces cerevisiae*: cladódios de facheiro (*P. pachycladus*) (Oliveira, 2014); raspas de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) (Polyorach, Wanapat e Wanapat, 2013); cladódios de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill)

(Melo et al., 2010; Araújo et al., 2008; Campos, 2008); mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru* P. D. C.) (Araújo et al., 2009a); resíduos de casca e coroa de abacaxi Pérola (*Ananas cosmosus* L. Mer.) e casca de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) (Oliveira, 2007); resíduos de polpa de abacaxi (*Ananas cosmosus* (Linn.) Merrill) (Correia, Magalhães e Macêdo, 2007); bagaço de pedúnculo do caju (*Anacardium occidentale* L.) (Campos et al., 2005).

Com o aumento no teor de proteína bruta das cactáceas, o produtor poderá diminuir os custos com a suplementação alimentar dos animais, pois, a forragem será enriquecida e uma vez que, os suplementos poderão ser estocados e armazenados, as despesas com aquisição, transporte e estocagem dos mesmos será diminuída.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Estudar o processo de enriquecimento proteico das cactáceas, facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) e xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley) por fermentação semissólida.

### 2.2 Objetivos Específicos

Descrever, morfológicamente, as cactáceas (facheiro e xiquexique), diferenciando-as;

Realizar testes preliminares para a seleção e avaliação de parâmetros do processo que deverão ser controlados durante a fermentação semissólida, tais como, concentração de levedura, temperatura de fermentação, pH, espessura da camada de substrato;

Caracterizar quimicamente a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), antes do processo de enriquecimento proteico;

Caracterizar quimicamente as cactáceas (facheiro e xiquexique), antes e durante o processo de enriquecimento proteico;

Estudar o perfil individual do enriquecimento proteico do facheiro e xiquexique, para verificar os maiores aumentos proteicos;

Verificar os efeitos da concentração de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e temperatura de fermentação sobre o aumento proteico das cactáceas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Cactáceas

Existem mais de 1300 espécies de plantas da família Cactaceae e essa família tem sido subdividida em três subfamílias Pereskioideae, Opuntioideae e Cactoideae, mas uma quarta subfamília (Maihuenioideae) tem sido reconhecida (SOUZA, V. C.; LORENZI, 2008). Os maiores centros de diversidade das cactáceas no continente americano são México e sul dos Estados Unidos, seguido pela região dos Andes (Bolívia, Argentina e Peru). No Brasil, encontra-se o terceiro centro de diversidade dessas plantas, destacando-se, em termos de importância, o leste do Brasil, também conhecido como Brasil Oriental. Dos 37 gêneros e aproximadamente 227 espécies de cactáceas ocorrentes no Brasil, cerca de 28 gêneros e 130 espécies encontram-se nessa região (ZAPPI et al., 2011). Espécies dessa família podem ser encontradas, também, no Brasil Central (região do Cerrado e florestas decíduas) e no Brasil Meridional, principalmente no Rio Grande do Sul, que possui muitos habitats favoráveis para cactos não epifíticos (ZAPPI et al., 2011).

Essas plantas possuem várias adaptações morfológicas e fisiológicas que lhes permite sobreviver em regiões semiáridas: caules suculentos, apresentando tecido mucilaginoso e capazes de realizar fotossíntese; baixa estatura; folhas que evoluíram em espinhos; estômatos protegidos para diminuir a perspiração superficial e raízes capazes de absorver o orvalho da noite (LUCENA et al., 2013).

Existem diversos tipos de cactáceas: suculentas, que por apresentarem tecidos mucilaginosos e cutícula espessa, são capazes de suportar longos períodos de estiagem; epífitas, que suportam apenas períodos curtos de seca, mas são capazes de sobreviver na sombra e algumas com morfologia do caule especializada para sobreviver em florestas, nos estágios iniciais de desenvolvimento (ZAPPI et al., 2011).

Possuem grande importância ornamental, cultural, social e econômica. Como plantas ornamentais compõem a paisagem de avenidas, praças, jardins e ruas (LIMA, 2006). Diversas localidades possuem nomes de cactos, estando os mesmos bastante inseridos na cultura popular (ZAPPI et al., 2011). São ainda utilizadas na medicina tradicional (ALMEIDA et al., 2006; LUCENA et al., 2013); como cercas-vivas, protegendo plantações e como fonte de madeira (LUCENA et al., 2013). A importância

econômica deve-se ao seu uso, tanto na alimentação dos animais quanto humana, onde, além do consumo de seus frutos, de forma natural, esses frutos podem ser queimados ou cozidos e usados na fabricação de doces caseiros, sorvetes e geleia (COSTA, 2011) e os cladódios podem ser usados para fabricação de farinha (LIMA, 2006). Com relação à alimentação de animais, devido às suas características fisiológicas, servem como fonte de água e alternativa alimentar, sendo utilizadas como forrageiras nas regiões subúmidas e semiáridas, em períodos de seca prolongados (CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2003).

Espécies do gênero *Pilosocereus* são bastante utilizadas para alimentar rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos, em épocas de seca e, em casos de emergência, seus cladódios podem ser usados para alimentação humana (COSTA, 2011). Esse gênero possui 34 espécies, sendo que destas, 26 são encontradas no Brasil e algumas no México, oeste do Equador, sul do Paraguai e sul dos Estados Unidos e essas espécies podem ser diferenciadas umas das outras pelo hábito, forma, tamanho, quantidade e disposição dos espinhos, assim como número de costelas (OLIVEIRA, 2011).

Duas espécies desse gênero que se destacam pelo seu uso como forrageira, pelos agricultores, nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil são as popularmente conhecidas por facheiro e xiquexique.

A seguir será apresentada a classificação taxonômica do facheiro, em seguida, uma breve caracterização morfológica do mesmo, sua distribuição geográfica e principais usos citados na literatura pesquisada.

### 3.1. 1. Facheiro

#### 3.1.1.1 Classificação taxonômica

Na base de dados Tropicos.org pode ser encontrada a classificação taxonômica do facheiro:

Classe: Equisetopsida

Subclasse: Magnollidae

Superordem: Caryophyllanae

Ordem: Caryophyllales

Família: Cactaceae Juss.

Gênero: *Pilosocereus*

Espécie: *P. pachycladus* F. Ritter

Subespécies: *P. pachycladus* F. Ritter subsp. *pachycladus* e *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* (Ritter) Zappi.

### 3.1.1.2 Breve caracterização morfológica

É uma cactácea perene, robusta, que possui poucos ramos (ABUD et al., 2010). “Árvore que pode chegar a uma altura de 3 a 10m, possuindo cladódios multiarticulados, com ramificações candelabriformes, possuindo de 16-18 costelados, verde-escuros” (COSTA, 2011, pg. 29). Na Figura 1 pode-se visualizar o hábito de espécime encontrado no Sítio Malhada do Canto, no Município de Cuité-PB.

Figura 1- Hábito do facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) - Sítio Malhada do Canto - Cuité-PB.



Fonte: própria autora



Os cladódios ou caules modificados apresentam um formato externo geralmente cilíndrico, são suculentos e carnosos, sendo capazes de realizar fotossíntese. Internamente, apresentam cor amarelada, um parênquima armazenador de água e um cilindro vascular responsável pela nutrição do vegetal (LIMA, 2006).

Os artículos são alongados, com polpa mucilaginosa; aréolas armadas, distanciadas entre si de 0,8-1cm; espinhos flexíveis, aciculares, amarelos nas aréolas mais jovens e cinzas nas mais velhas, em número e tamanho diferentes, sendo 12-15 radiais e 5-8 centrais; flores isoladas, sésseis, inseridas acima das aréolas; frutos tipo baga, polispérmicos, deiscentes, carnosos, subglobosos; sementes negras, ligeiramente obovada-oblíquas, bitegmentadas, testa rugosa (COSTA, 2011, pg. 29).

### 3.1.1.3 Distribuição geográfica

O facheiro (*P. pachycladus* F. Ritter) é uma espécie nativa das caatingas. A distribuição geográfica dessa espécie pode ser observada na figura 2:

Figura 2 - Distribuição geográfica do facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F. Ritter) no Brasil.



Fonte: Taylor et al. (2014 a,b.)

*P. pachycladus*. F. Ritter subsp. *pachycladus* é endêmica do Brasil e ocorre na região Nordeste (Bahia) e na região Sudeste (Minas Gerais). *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* (Ritter) Zappi é nativa e endêmica do Brasil e está presente em vários estados da região Nordeste (AL, BA, PE, PB, RN, PI e CE) (Taylor et al., 2014a, b).

#### 3.1.1.4 Usos

Lucena et al. (2013) pesquisaram sobre o uso e conhecimento que os habitantes da comunidade rural de São Francisco, em Cabaceiras-PB, tinham a respeito dos cactos presentes na região e, dentre as espécies mencionadas pela população, destacaram-se o xiquexique (*P. gounellei*) e o facheiro (*P. pachycladus*), com 227 e 273, de um total de 1129 citações de uso, respectivamente.

Os habitantes relataram o uso de várias partes do facheiro para os mais diversos fins: o fruto era consumido *in natura* ou a polpa do fruto, assada ou cozida, era utilizada para a fabricação de doces, incluindo doce de coco; a madeira, era utilizada como combustível (lenha), na construção de cercas, protetores de porta, fabricação de portões, canoas, remos e de cabos de vários tipos de ferramentas (enxadas, machados, martelos e picaretas); a planta inteira, queimada ou cortada, servia como forragem e cozida, era utilizada na medicina para combater anemia; outros usos citados pelos habitantes foram como planta ornamental enfeitando jardins e quintais, ou simplesmente para promover sombra (LUCENA et al., 2013).

Nascimento et al. (2011) analisaram algumas espécies nativas da caatinga, em duas comunidades rurais, Carão, localizada no município de Altinho-PE e Cachoeira, no município de Soledade-PB, caracterizando-as quimicamente e verificando a presença de antocianinas, flavonoides e carotenoides, destacando as que poderiam ser utilizadas na alimentação de humanos e/ou animais ou como plantas medicinais. De acordo com os resultados encontrados, os autores concluíram que os cladódios de facheiro poderiam ser utilizados como matéria prima para a fabricação de farinhas, que podem ser utilizadas na produção de bolos, biscoitos e doces de coco, tornando-se nova fonte de renda para a população rural da caatinga.

Lima (2006) relatou o emprego dessa cactácea na ornamentação de avenidas, praças, ruas e jardins e como suplemento alimentar na alimentação de caprinos, bovinos e ovinos, na forma de farelão.

A seguir será apresentada a classificação taxonômica do xiquexique, seguido por uma breve caracterização morfológica do mesmo, sua distribuição geográfica e principais usos citados na literatura pesquisada.

### 3.1. 2. Xiquexique

#### 3.1.2.1 Classificação taxonômica

Na base de dados Trópicos.org encontramos a classificação taxonômica do xiquexique:

Classe: Equisetopsida

Subclasse: Magnollidae

Superordem: Caryophyllanae

Ordem: Caryophyllales

Família: Cactaceae Juss

Gênero: *Pilosocereus*

Espécie: *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley

Subespécies: *P. gounellei* (F. A. C. Weber) Byles & G. D. Rowley subsp. *gounellei* e *P. gounellei* subsp. *zehntneri* (Britton & Rose) Zappi.

#### 3.1.2.2 Breve caracterização morfológica

O xiquexique é um cacto colunar, com uma altura máxima de até 3,75m e diâmetro da copa variando de 1,45 a 3,27m (CAVALCANTE; RESENDE, 2007 apud SILVA et al., 2013). Possui galhos laterais, com brotações basais, cujo crescimento ocorre, inicialmente mais rente ao solo, na horizontal. À medida em que ocorre seu desenvolvimento, os galhos afastam-se e assumem uma posição quase vertical, semelhante a um candelabro (SILVA et al., 2013).

As aréolas são grandes, geralmente com longos pelos brancos, cobrindo os botões florais; espinhos radiais e centrais de cor parda, muito espalhados, sendo os centrais em menor número (4-6) e muito mais fortes que os radiais (15-24) (OLIVEIRA, 2011); “Flores tubulosas, noturnas, grandes e brancas, com antese às dezessete horas; frutos do tipo baga, arredondados, achatados em ambos os polos” (ALMEIDA et al., 2007, pg. 441).

Os frutos apresentam epicarpo liso, de cor verde durante a maturação e púrpura quando maduros, com polpa mucilaginosa e suculenta, de cor roxo-escura; possui muitas sementes, estenospérmicas; exalbuminosas, com tegumento preto, liso e brilhante, ligeiramente irregular; embrião branco, grande e cilíndrico, ocupando quase toda a semente (ABUD et al., 2012). Na figura 3, pode-se visualizar o hábito de espécime encontrado no Sítio Malhada do Canto, no Município de Cuité-PB.

Figura 3 – Hábito do xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G. D. Rowley) - Sítio Malhada do Canto - Cuité-PB.



Fonte: própria autora

### 3.1.2.3 Distribuição geográfica

O xiquexique desenvolve-se nas áreas mais secas da região semiárida do Nordeste, crescendo em cima de rochas e cobrindo extensas áreas da caatinga (OLIVEIRA, 2011). Espécie endêmica do semiárido brasileiro (ALMEIDA et al, 2007); bem adaptada morfofisiologicamente, habita em regiões com altas temperaturas, precipitações pluviométricas irregulares e solos pouco férteis (ABUD et al., 2012).

*P. gounellei* (F. A. C. Weber) Byles & Rowley subsp. *gounellei*, conhecida popularmente como xiquexique ou alastrado, está presente em toda a região Nordeste e *P. gounellei* subsp. *zehntneri* (Britton & Rose) Zappi, conhecida como xiquexique das pedras ocorre apenas na região Nordeste (Bahia) e na região Sudeste (Minas Gerais) (Taylor et al., 2014c,d). Na figura 4 pode ser observada a distribuição geográfica dessa espécie no Brasil.

Figura 4 - Distribuição geográfica do xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & Rowley) no Brasil.



Fonte: Taylor et al. (2014 c,d)

### 3.1.2.4 Usos

Em pesquisa realizada por Lucena et al. (2013), os habitantes relataram que usavam o fruto e a polpa do xiquexique *in natura* na alimentação, sob a forma de doces de coco, sorvetes, cuscuz e farinha; a planta inteira era utilizada na construção de cercas, para ornamentar praças e jardins ou, ainda, queimada, tinha seus espinhos removidos e servia como forragem; fabricavam shampoo para uso na higiene pessoal, e era também utilizada na medicina, tanto humana quanto veterinária.

Nos sertões da região Nordeste do Brasil, onde a palma forrageira não se adapta, o xiquexique é muito utilizado na alimentação de ruminantes, em períodos de seca (SILVA et al., 2013). Analisando os resultados de pesquisas realizadas com a utilização do xiquexique na alimentação de bovinos, caprinos e ovinos, na região semiárida brasileira, os autores verificaram que essa cactácea demanda um longo período para formação de reservas estratégicas de forragem, mesmo assim, consideraram que as produções obtidas permitiam incluí-las como opções de reserva de água e alimentos para ruminantes em períodos de grandes secas no Nordeste.

Em estudo etnobotânico realizado por Lucena et al. (2012) na comunidade rural de Várzea Alegre, município de São Mamede-PB, no qual um dos objetivos foi avaliar e registrar os usos das principais espécies de cactáceas da região, bem como as formas de uso e as partes das mesmas que eram utilizadas, *P. gounellei* foi citada por 95% dos moradores, que relataram o seu uso da seguinte maneira: o fruto era utilizado como alimento humano, sendo consumido fresco e o miolo, cozido, assado ou fresco; como alimento para os animais, os frutos eram consumidos frescos, por pássaros ou a planta inteira era queimada e servida como forragem para caprinos, bovinos e ovinos; a planta inteira também era utilizada para promover sombra, enfeitar as casas, na construção de cercas ou como bioindicadoras de chuva, a partir da floração da espécie; a polpa dos cladódios era utilizada no tratamento de inflamações causadas pelo próprio espinho da cactácea. As categorias de uso mais relatadas foram forragem e alimento humano.

O xiquexique é bastante utilizado na alimentação de rebanhos de gado, rebanhos de ovelhas e cabras porque adiciona valor nutricional e confere benefícios, como, ganho de peso e melhora na produção de leite (MONTEIRO et al., 2012). Os autores enfatizam, ainda, que o consumo do xiquexique envolve um processo de seleção artificial, ao se escolher aqueles com cascas mais finas e menos espinhos,

por exemplo, em detrimento de outro, podendo constituir o primeiro passo para restaurar áreas degradadas porque sobrevive em condições extremas e é uma espécie do bioma caatinga que produz frutos atrativos para pássaros, morcegos e outros animais.

Oliveira (2011) analisou o perfil fitoquímico do extrato etanólico caulinar e das raízes de *P. gounellei* da Serra do Umbuzeiro-PB e avaliou sua atividade antimicrobiana. No infuso etanólico do caule foi constatada a presença de flavonoides, triterpenos, esteroides e açúcares redutores. No extrato etanólico das raízes, constatou-se a presença de polifenóis, cumarinas, derivados cinâmicos, açúcares redutores, saponósidos, triterpenos e esteroides. Para o autor, esses metabólitos secundários conferem à planta propriedades biológicas, que as tornam uma alternativa promissora para uso terapêutico, porém são necessários mais estudos para comprovar a segurança e eficácia. Nesses extratos foi verificada, ainda, atividade antimicrobiana frente à *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Mycobacterium smegmatis* e *Enterococcus faecalis*.

O autor também relata que essa cactácea pode ser utilizada para repovoar áreas degradadas da caatinga, sendo plantadas junto a cercas de arame, formando verdadeiras cercas vivas, para afastar os animais.

Nascimento et al. (2011), também encontraram uma pequena quantidade de flavonoides na polpa fresca do fruto com sementes do xiquexique, salientando a importância desse achado para estudos futuros e os autores citaram que o xiquexique pode ser utilizado para produção de farinha.

Almeida et al. (2006) realizaram um estudo descritivo para identificar as espécies de plantas da caatinga que eram utilizadas sob a forma terapêutica, em uma região próxima à Usina Hidrelétrica de Xingó, no Vale do São Francisco, na fronteira dos estados da Bahia, Alagoas e Sergipe e observaram que a população local utilizava as hastes e flores de xiquexique (*P. gounellei*) sob a forma de decocto (cozimento), para hidropisia, ou edema, causado pela má circulação sanguínea; inflamação de próstata e diversos outros tipos de inflamações.

### 3.2 Fermentação Semissólida

O termo “fermentação” é derivado do latim *fervere*, que significa “ferver”, devido à ação das leveduras sobre extrato de frutas ou de grãos maltados com produção de

dióxido de carbono e conseqüente aparecimento de bolhas (BASTOS, 2010). Para a Bioquímica, a fermentação é definida como uma conversão anaeróbia de compostos orgânicos complexos em moléculas mais simples, porém para a microbiologia industrial, a fermentação é definida como qualquer processo onde ocorre formação de biomassa microbiana.

Existem dois tipos de processos fermentativos: submerso, caracterizado pela presença de água livre no meio de cultivo e fermentação em estado sólido, também conhecido como fermentação semissólida (FSS), realizado na ausência ou quase ausência de água livre (POLIDORO, 2009). Em 5000 a.C., os seres humanos já utilizavam FSS para obtenção de vinho, queijo e outros derivados do leite. Em 2600 a.C., os egípcios dominavam a tecnologia da fermentação de pães (OLIVEIRA, 2007). Alcântara (2008) cita o uso da FSS para produção de molho de soja, em 1000 a.C. e de “Chiang”, entre 1500 e 50 a.C. Esse tipo de fermentação acabou sendo negligenciado durante a década de 40, quando surgiu a tecnologia da fermentação submersa (FS) para a produção de várias drogas.

Pandey (2003); Singhania et al. (2009) citam como exemplo dessas drogas a penicilina, que teve uma enorme importância durante a II Guerra Mundial e o fato de sua produção ocorrer por meio da fermentação submersa (FS), fazendo com que fosse dada uma grande importância a essa tecnologia. A produção em escala industrial utilizando esse processo, foi possível porque a FS possui diversas vantagens, quando comparada ao processo em estado sólido: devido à presença do meio líquido, as fontes de energia e nutrientes são mais facilmente dissolvidos, aumentando o contato dos microrganismos com os mesmos; é possível o controle de parâmetros que influenciam no processo, como pH e temperatura; podem ser feitas modificações no regime de operação e o meio de cultivo é mais fácil de ser esterilizado (POLIDORO, 2009).

Nas décadas de 50 e 60, algumas pesquisas envolvendo a transformação de esteroides usando culturas de fungos e nas décadas de 60 e 70, a produção de micotoxinas, ambas através de FSS, fizeram com que esse tipo de fermentação voltasse a ter lugar de destaque em diversas pesquisas. Outro processo que passou a ser bastante difundido foi o enriquecimento proteico de produtos agroindustriais para alimentação do gado, utilizando esse tipo de fermentação (SINGHANIA et al., 2009).

A partir de então, FSS vem sendo amplamente utilizada para o desenvolvimento de diversos processos que utilizam células vegetais, animais ou



microrganismos para recuperação de áreas poluídas e contaminadas; decomposição total ou parcial de compostos que podem causar danos ao meio ambiente e retirada de substâncias potencialmente tóxicas de resíduos agroindustriais (SINGHANIA et al., 2009). Dentre os produtos agroindustriais que podem ser utilizados como meio de cultura ou substrato nesse tipo de processo, para enriquecimento nutricional ou obtenção de bioprodutos com alto valor agregado, podemos citar gramíneas, bagaços, farelos, serragem, polpa e casca de frutas (CASCIATORI et al., 2014).

Na FSS utiliza-se uma quantidade de líquido que possa garantir o crescimento e metabolismo dos microrganismos, porém, a máxima capacidade de ligação da água com a matriz sólida não deve ser excedida (PANDEY, 2003; SINGHANIA et al., 2009). De acordo com Pontes (2009) o limite mínimo para teor de água seria em torno de 12%, abaixo do qual os microrganismos não se desenvolvem e o limite máximo seria de 80%. A autora ressalta, porém, que é importante levar em consideração o tipo de material que está sendo utilizado.

A FSS apresenta vantagens e desvantagens, quando comparada com a FS. Dentre as vantagens, citam-se: menores riscos de contaminação, devido ao baixo teor de água do meio; preparação do meio de fermentação de modo simples; uso de matéria prima abundante e de custo reduzido; menor necessidade de espaço, possibilitando o uso de biorreatores mais compactos; maiores rendimentos e concentração mais alta do produto desejado, além das condições de cultivo serem mais semelhantes ao habitat natural de propagação dos fungos (PONTES, 2009).

Polidoro (2009) acrescenta outras vantagens: uso de menor quantidade de solventes para recuperar os produtos, diminuindo os custos de recuperação; tratamento simplificado dos resíduos; controle de oxigênio e temperatura, em caso de cultivos aeróbios; no caso de cultivo de fungos, os esporos utilizados para inoculação permitem repetições mais confiáveis.

Como desvantagens, podem ser destacadas: dificuldade de agitação no meio de cultivo; dificuldade de remoção do calor gerado pelo metabolismo celular, devido à baixa condutividade térmica do substrato; falta de sensores apropriados para determinação do pH e do teor de água de forma direta (POLIDORO, 2009). Nesse tipo de processo existe, ainda, uma grande dificuldade em realizar-se uma ampliação em grande escala, além da estimativa da biomassa produzida ser feita de forma indireta. Um dos métodos indiretos que pode ser usado é a estimativa da produção de proteína durante o processo (pelo método Kjeldahl) (SINGHANIA et al., 2009). A coleta de

amostras representativas torna-se difícil, devido à não homogeneidade da massa em fermentação, constituindo-se outra desvantagem.

Pandey (2003); Singhanian et al. (2009) citam que a eficiência da conversão proteica depende, principalmente, do teor de água, pH, temperatura, aeração, agitação e disponibilidade de nutrientes e todos esses parâmetros dependem do microrganismo e da natureza do substrato sólido empregado.

### 3.2.1 Teor de água

A umidade ou teor de água constitui a água total contida no substrato, tanto a água livre, presente na superfície externa, quanto aquela adsorvida, que está no interior do substrato, ligada ao mesmo. Somente a água livre está disponível para as diversas reações químicas e para o crescimento dos microrganismos, podendo ser eliminada com facilidade, através de secagem (FILHO; VASCONCELOS, 2011).

Segundo Vendruscolo (2005); Singhanian et al. (2009); Ruqayyah et al. (2014) em processos de FSS, um teor de água elevado causa compactação do meio, diminuindo a sua porosidade e reduzindo a difusão do oxigênio e as trocas gasosas. Vendruscolo (2005) destaca, ainda, a importância da umidade inicial do substrato para crescimento dos fungos, ressaltando que se for muito elevada pode acarretar um grande aumento da produção micelial, o que também pode contribuir para a diminuição das trocas gasosas e dificuldade na transferência de oxigênio. Outro problema relatado pelo autor é a possibilidade de contaminação por bactérias.

Por outro lado, baixo teor de água dificulta as trocas metabólicas, causando diminuição no crescimento dos microrganismos, devido à menor quantidade de gases e solutos dissolvidos no meio, à menor quantidade de nutrientes e/ou aumento de substâncias tóxicas nas vizinhanças da célula, o que afeta o seu metabolismo (CASCIA TORI et al., 2015).

### 3.2.2 pH

A determinação do pH é de fundamental importância em processos de FSS, principalmente por sua influência no crescimento e desenvolvimento de

microrganismos. Sua variação pode influenciar nas diversas reações químicas que ocorrem em um determinado meio.

No início do processo de FSS, ocorre a formação de ácidos orgânicos, como consequência da decomposição dos açúcares e consumo de sais de amônio, que baixam o pH. Se os ácidos orgânicos são consumidos ou ocorre a hidrólise da ureia, o valor do pH aumenta (VENDRUSCOLO, 2005). Essa variação ao longo do tempo de cultivo pode afetar o processo, se esse valor ficar muito distante do considerado ideal para o crescimento do microrganismo em um determinado tipo de substrato, pois, de acordo com Ruqayyah et al. (2014) o pH do meio é altamente dependente de ambos. Em processo de FSS é muito importante que seja feita a determinação do pH ótimo para o eficiente crescimento dos microrganismos, para que seja feito o controle adequado.

A faixa de pH no qual ocorre o crescimento dos fungos e leveduras geralmente é baixo, pois em valores mais elevados pode ocorrer contaminação bacteriana. Polyorach, Wanapat e Wanapat (2013), verificaram valores de pH entre 3,5 a 6 nos melhores tempos de cultivo da *S. cerevisiae*, ao analisarem o enriquecimento proteico de mandioca por FSS.

### 3.2.3 Temperatura

A temperatura do substrato é um dos parâmetros de fundamental importância no processo de FSS, pois afeta o crescimento dos microrganismos, havendo uma temperatura ótima, na qual ocorre o máximo desenvolvimento e temperaturas mínima e máxima, nas quais abaixo ou acima das mesmas, o crescimento pode ocorrer de forma mais lenta ou cessar completamente.

No início do processo, a temperatura e a concentração de oxigênio são uniformes no meio (POLIDORO, 2009) porém, à medida que a fermentação ocorre, com as atividades metabólicas realizadas pelos microrganismos, para seu crescimento, há transferência de oxigênio o que gera calor (VENDRUSCOLO, 2005). Devido à baixa condutividade térmica e alta heterogeneidade do substrato, a remoção desse calor gerado ocorre de forma lenta, fazendo com que a temperatura eleve-se. Se esse valor ficar muito acima do considerado ideal, poderá inviabilizar o crescimento do microrganismo, além de ocasionar a desnaturação dos produtos formados (POLIDORO, 2009; SINGHANIA et al., 2009). Polyorach, Wanapat e Wanapat (2013),

encontraram como faixa de temperatura ótima para o cultivo da *S. cerevisiae*, entre 20 e 40°C. Para melhor controle da temperatura, é preciso levar em consideração uma escolha adequada do biorreator que será utilizado.

### 3.2.4 Biorreatores

Biorreator, reator bioquímico ou reator biológico é o reator no qual ocorrem fermentações, catalisadas por células vivas, microrganismos ou enzimas produzidas a partir de células vivas, transformando substratos em produtos de maior valor agregado. Os dois principais parâmetros que variam em FSS são a agitação e a aeração, e baseando-se nisso, Mitchell et al. (2006) apud Polidoro (2009), separam os biorreatores em quatro grupos: biorreatores com aeração superficial e sem agitação (bandejas, sacos plásticos hermeticamente fecháveis, estufas de bancada e câmaras climatizadas); biorreatores com aeração forçada e sem agitação (leitos empacotados); biorreatores com aeração superficial e com agitação: (tambores, que podem ser rotativos ou agitados) e biorreatores com aeração forçada e com agitação: (biorreatores de coluna são os mais utilizados). Outros reatores desse grupo são tambor agitado, com parede inferior perfurada; tambor rotativo com injeção de ar no interior do meio de cultivo e biorreator de leito fluidizado.

### 3.3 Enriquecimento proteico

Uma alimentação pobre em proteínas e energia pode acarretar problemas nutricionais em seres vivos. As proteínas podem ser encontradas sob três formas em alimentos: como proteína verdadeira, nitrogênio não proteico ou nitrogênio indisponível. A proteína verdadeira compõe de 60 a 80% do nitrogênio total das plantas (OLIVEIRA et al., 2011).

Em forrageiras, o principal fator a ser considerado é a quantidade de proteína bruta (PB), que compreende tanto a proteína verdadeira quanto o nitrogênio não proteico, sendo que a quantidade de proteína verdadeira depende de uma série de fatores, incluindo a maturidade da planta, podendo representar até cerca de 70% da PB em forragens verdes. Existe, ainda, uma pequena proporção de nitrogênio não proteico insolúvel, associado à lignina da parede celular dos vegetais, que representa

cerca de 5 a 10% nas plantas forrageiras (DIAS, 1997). Geralmente, esses vegetais possuem um baixo teor de PB, ocorrendo uma diminuição desse teor em épocas secas, por isso há necessidade de enriquecê-las.

Diversos microrganismos, como bactérias, algas e fungos (bolores e leveduras) podem ser cultivados como fonte de proteína para consumo humano e animal (VENDRUSCOLO, 2005). Oliveira (2007) cita algumas características que fazem com que seja bastante vantajoso o uso desses microrganismos para produzir proteína: eles se multiplicam rapidamente, em substratos que podem ser obtidos a um baixo custo; são obtidos com facilidade; são capazes de utilizar os nutrientes em sua forma mais simples; os fatores ambientais e climáticos não interferem em sua produção e os produtos formados possuem alto valor nutritivo.

Dentre esses microrganismos, destacam-se as leveduras, que apresentam 87% de valor nutritivo, no que se refere à digestibilidade e valor biológico (ARAÚJO et al., 2008). Além disso, possuem inositol (B7), com função anti-estressante e promotor natural do crescimento e ácido glutâmico, responsável por tornar as rações animais mais agradáveis ao paladar (ARAÚJO et al., 2009b).

Vendruscolo (2005) cita que esses microrganismos contêm tiamina, riboflavina, biotina, niacina, ácido pantotênico, colina e ácido fólico, porém, são pobres em aminoácidos que contêm enxofre e podem conter alta concentração de ácidos nucleicos, limitando a sua utilização na alimentação humana. Segundo o autor, a ingestão diária acima de dois gramas desses componentes, pode elevar o nível de ácido úrico no corpo humano, provocando doenças.

Uma levedura pode ser definida como um fungo unicelular que se reproduz, principalmente, por brotamento, um método de reprodução assexuada, no qual, pequenas protuberâncias chamadas brotos, são produzidas a partir da célula mãe (MORAIS, 2013). Esses microrganismos também podem sofrer reprodução sexual, quando as células haploides se fundem e sofrem fusão nuclear, para formar uma célula diploide, que pode sofrer brotamento mitótico para produzir outras células diploides idênticas. Em períodos de escassez de nutrientes, as células diploides sofrem meiose e cada célula produz quatro esporos haploides (tétrade) que são encerrados em uma estrutura chamada asco (PIERCE, 2013). Possuem organelas como mitocôndrias, vacúolos, retículo endoplasmático e Complexo de Golgi (MORAIS, 2013).

Em 1857 Louis Pasteur identificou a *S. cerevisiae* como o microrganismo responsável pelas fermentações (PIERCE, 2013). Desde então, as leveduras, principalmente *S. cerevisiae*, passaram a ser utilizadas em diversos processos fermentativos. Vários fatores podem influenciar nos processos de cultivo das leveduras, dentre os quais, temperatura, pH, nutrientes do meio de cultura e disponibilidade de oxigênio para as células.

### 3.4 Planejamento experimental

Quando se realiza um determinado experimento, procura-se verificar a influência de um ou mais fatores sobre uma determinada resposta, o que, geralmente, é feito fixando-se um dos fatores e variando-se os outros, um de cada vez. Com isso, não é possível analisar a influência que um fator exerce sobre os demais e sobre a resposta de interesse.

O planejamento experimental possibilita variar todos os fatores, ao mesmo tempo, sendo possível verificar a interação entre eles e as combinações que produzem a melhor resposta possível. Nesse tipo de planejamento existem as variáveis de entrada (fatores) e as variáveis de saída (resposta). Para os fatores podem ser analisados vários valores ou níveis, que são definidos de acordo com pesquisas anteriores e com a literatura disponível sobre o assunto. Dependendo do objetivo da pesquisa, pode-se analisar a influência de vários fatores em vários níveis e podem ser verificadas as influências sobre várias respostas ao mesmo tempo. Os níveis ou valores máximos são identificados pelo sinal (+); para os valores mínimos, utiliza-se o sinal (-) e o ponto central é representado pelo 0 (BARROS NETO, 2010).

Vários autores já utilizaram o planejamento experimental em análises de experimentos relacionados ao enriquecimento proteico de cactáceas ou outros substratos, utilizando processo de FSS.

Oliveira (2014) realizou planejamento fatorial completo  $2^2$ , com duas repetições no ponto central, para verificar a influência da espessura da camada de substrato e concentração de levedura (variáveis de entrada) sobre o enriquecimento proteico do facheiro (*P. pachycladus*) (variável de saída).

Ruqayyah et al. (2014) utilizaram a metodologia da superfície de resposta para verificar os efeitos dos fatores teor de água (umidade), tamanho do inóculo e pH sobre

a resposta enriquecimento proteico de raspas de mandioca (*M. esculenta*). Os autores utilizaram compostos centrais e dois níveis para cada parâmetro.

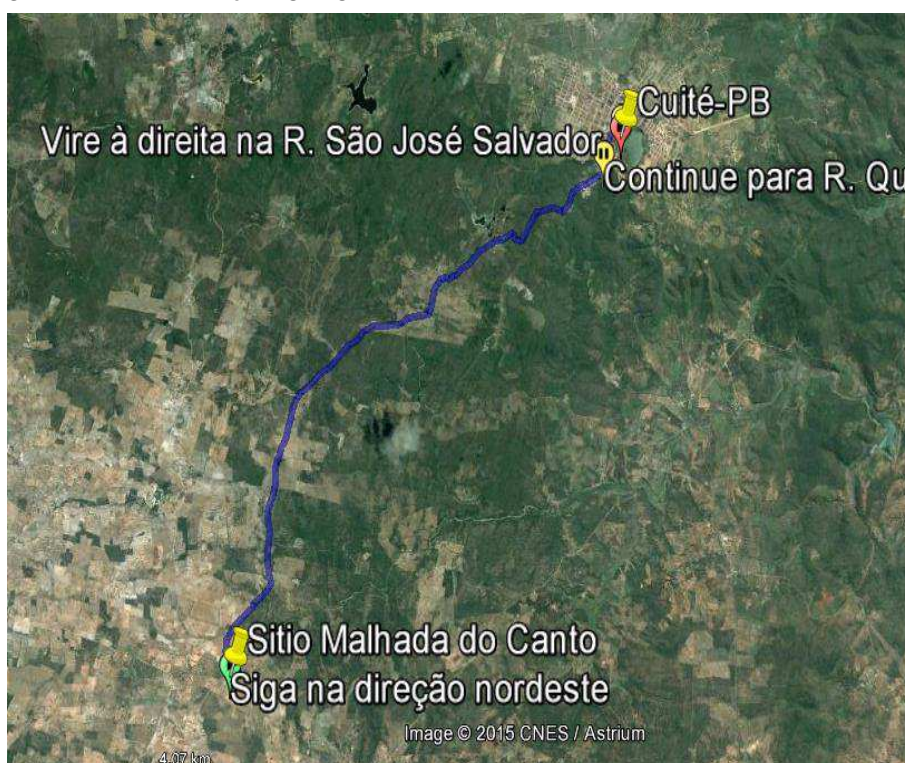
Araújo et al. (2009a) realizaram um planejamento fatorial completo, com três pontos centrais. Os fatores temperatura, concentração inicial de inóculo e espessura da camada de substrato foram variados em dois níveis ( $2^3$ ) para verificar a interação entre os mesmos e o efeito produzido sobre as respostas, matéria seca e aumento proteico do mandacaru sem espinhos (*C. jamacaru*).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de coleta das cactáceas

As cactáceas foram coletadas no Sítio Malhada do Canto (latitude 06°33'33,61" S; longitude 36°12'52,54" O), localizado a aproximadamente 12 km a sudoeste do Centro do Município de Cuité-PB (Figura 5). O município de Cuité situa-se no Estado da Paraíba, Mesorregião do Agreste Paraibano e Microrregião do Curimataú Ocidental. Seus limites são: ao norte o Estado do Rio Grande do Norte; a leste Cacimba de Dentro, Damião e Barra de Santa Rosa; ao sul Sossego e Barra de Santa Rosa e a oeste, Nova Floresta, Picuí e Baraúna (COSTA, 2011). Possui área de 741.840Km<sup>2</sup> e a sede municipal tem uma altitude de 667 metros (IBGE, 2014).

Figura 5 – Localização geográfica do Sítio Malhada do Canto – Cuité-PB



Fonte: Google Earth.

### 4.2 Local de realização dos experimentos

Os experimentos foram realizados nos laboratórios do CES-UFCG, *Campus* Cuité: Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos; Laboratório de Eletroquímica e Corrosão; Laboratório de Físico-Química e Laboratório de Nutrição.



### 4.3 Aspectos botânicos

A nomenclatura taxonômica e o nome dos autores das espécies citadas seguiu o Mobot.org e a identificação das espécies foi feita com base na literatura.

### 4.4 Matéria-prima

As cactáceas utilizadas como matéria-prima foram o facheiro e o xiquexique, dando-se preferência aos ramos mais novos, localizados nas partes superiores das plantas. As coletas foram realizadas no período de setembro a dezembro de 2014 e as cactáceas foram queimadas no próprio local, logo após a coleta, em fogueira feita de lenha seca, sendo rotacionadas a cada 2 minutos, para facilitar a queima total dos espinhos. A queima foi realizada de forma separada, para cada cactácea.

Essa é uma técnica comumente utilizada pelos agricultores da região, quando se utilizam dessas cactáceas para alimentação do gado. Na figura 6 é apresentada a queima dos espinhos do facheiro.

Figura 6 - Queima do facheiro (*P. pachycladus*) em fogueira seguindo técnica utilizada por agricultores locais – Sítio Malhada do Canto Cuité-PB



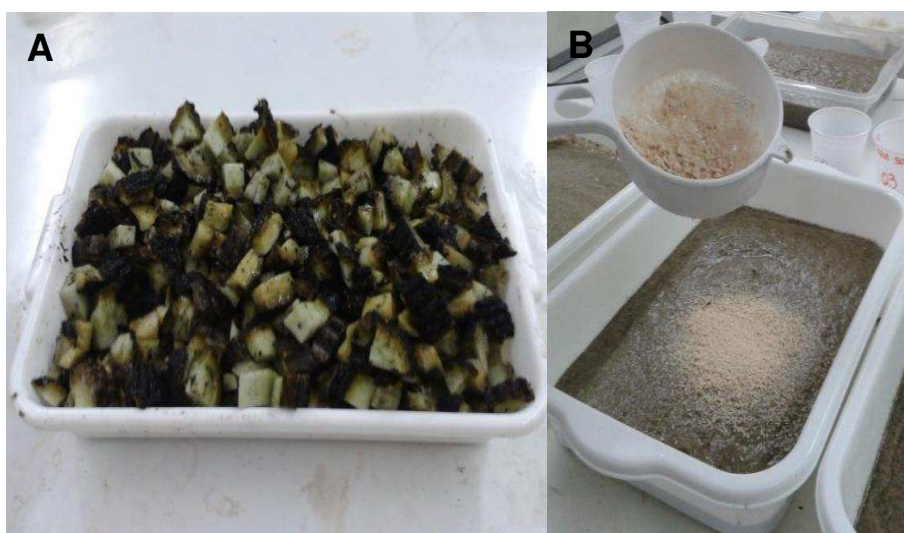
Fonte: própria autora

Após a queima, o material foi levado para o Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos, no Centro de Educação e Saúde (CES), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde foi cortado manualmente, com faca de aço inoxidável, em pequenos pedaços que, posteriormente, foram triturados em liquidificador, para uma melhor homogeneização. Depois de homogeneizado, o substrato foi colocado em biorreatores retangulares de plástico, com dimensões 26cm x 18cm x 7cm, sendo inoculado com o microrganismo, em concentrações determinadas, para que ocorresse a fermentação. Na figura 7A é apresentada uma imagem do facheiro carbonizado e cortado.

#### 4.5 Microrganismo

O microrganismo utilizado para o enriquecimento proteico das cactáceas foi a levedura *S. cerevisiae*, prensada, tipo comercial, fermento biológico fresco da marca Fleischman. Nos biorreatores, foram inoculados microrganismos com concentrações iniciais correspondendo a 1, 3 e 5% da massa de substrato, com auxílio de uma peneira para melhor distribuição dos mesmos, evitando pontos de concentração (Figura 7B).

Figura 7A - Material vegetal carbonizado cortado; 7B - Adição da levedura ao substrato.



Fonte: própria autora

Os biorreatores foram identificados e colocados em estufa de secagem e esterilização com circulação forçada de ar da Marca AMERICAN LAB 102/480, a temperaturas de 30, 35 ou 40°C, durante 72 horas. Antes da fermentação e em tempos determinados de 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48 e 72 horas, foram retiradas amostras para determinação do teor de água, matéria seca, pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais, resíduo mineral e proteína bruta. Para as análises de PB, as amostras foram transferidas para uma estufa de secagem e esterilização Modelo 315 SE FANEM e mantidas a uma temperatura de 55°C. Após a secagem, as amostras foram trituradas em moinho de fricção da Marca BERMAR, acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e mantidas à temperatura ambiente.

#### 4.6 Caracterização química

##### 4.6.1 Teor de água

O teor de água e matéria seca das amostras foram determinados após secagem em estufa Modelo BIOPAR, a 105° C, até peso constante, de acordo com metodologia descrita em IAL (2008).

##### 4.6.2 Resíduo mineral fixo

Para a determinação do resíduo mineral foi realizada uma incineração total, em mufla Marca FHME DIGI MEC a 550°C, por 6 horas (IAL, 2008).

##### 4.6.3. Determinação de Minerais

Os minerais foram quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva. O equipamento utilizado foi o Shimadzu EDX-720 do Laboratório de eletroquímica e Corrosão (LEC/UFCEG/CES) (Figura 8).

Figura 8 – EDX 720: Equipamento utilizado nas análises de minerais - Laboratório de Eletroquímica e Corrosão (CES/UFCG).



Fonte: própria autora

#### 4.6.4 Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais (SST) foram determinados por leitura direta em refratômetro MARCA DIGIT, com os resultados expressos em °Brix, conforme metodologia descrita em IAL (2008).

#### 4.6.5 pH

A determinação do pH foi realizada através de medidas potenciométricas do líquido sobrenadante, em peagâmetro da Marca Metrohm 744 pH METER conforme metodologia descrita em IAL (2008).

#### 4.6.6 Acidez titulável

Determinou-se o conteúdo total de ácidos por meio de titulação com hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1M. Essa determinação foi realizada conforme metodologia descrita em IAL (2008).

#### 4.6.7 Proteína bruta

O método Kjeldahl, descrito por Tedesco et al. (1995) foi utilizado para determinação de proteína bruta (PB). A determinação de proteína por esse método, passa por três etapas: digestão, destilação e titulação. A primeira etapa consiste na oxidação completa da amostra em ácido forte (ácido sulfúrico – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) até que o nitrogênio (N) das proteínas seja reduzido para sulfato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A amônia (NH<sub>3</sub>) é, então, liberada do sulfato pela adição de hidróxido de sódio (NaOH), sendo destilada e recebida numa solução de ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). A quantidade de base é titulada com uma solução de ácido clorídrico (HCl) padronizada. O equipamento utilizado na etapa da destilação do nitrogênio é mostrado na figura 9.

#### 4.6.8 Aumento proteico

Para verificar-se qual o incremento de proteína bruta nas cactáceas enriquecidas, foi calculado o aumento proteico (AP) de cada amostra retirada durante as fermentações. As determinações do AP das amostras tiveram como base o valor proteico contido na massa seca da cactácea *in natura*, sendo definido como a razão entre o valor proteico da cactácea enriquecida (%) menos valor inicial de PB na forma *in natura* e o valor inicial de PB na forma *in natura*, conforme Equação 1.

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

Figura 9 - Destilador de nitrogênio utilizado para destilação das amostras - Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos (CES/UFCG)



Fonte: própria autora

#### 4.7 Planejamento Experimental

Após serem selecionadas as variáveis a serem estudadas, através de testes preliminares, foi empregado um planejamento fatorial completo, para se verificar a influência das variáveis sobre o sistema. Para avaliar quantitativamente a influência das variáveis de entrada (concentração de levedura e temperatura de fermentação) sobre o aumento proteico, empregou-se um planejamento fatorial  $3^2$  com repetição. Dessa forma, foram feitas duas matrizes para cada cactácea, totalizando 36 experimentos.

Os cálculos estatísticos foram realizados com auxílio do Software *Statistica 8.0* da *Statsoft*. O nível superior foi estabelecido com o sinal +1 das variáveis escolhidas para o planejamento, sendo a concentração de levedura 5% e a temperatura 40°C. O nível inferior foi representado por -1, sendo a concentração de levedura 1% e a

temperatura 30 °C. A otimização foi feita utilizando a técnica da superfície de resposta. A matriz de planejamento fatorial é apresentada na Tabela 1:

Tabela 1- Matriz do planejamento fatorial 3<sup>2</sup>

Experimentos	Concentração de levedura (%)	Temperatura de fermentação (°C)
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Na Tabela 2 são apresentados os valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial, sendo seus níveis definidos com base na literatura.

Tabela 2- Valores reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial 3<sup>2</sup>

Variável	Nível -1	Nível 0	Nível +1
Concentração de levedura (%)	1	3	5
Temperatura de fermentação (°C)	30	35	40

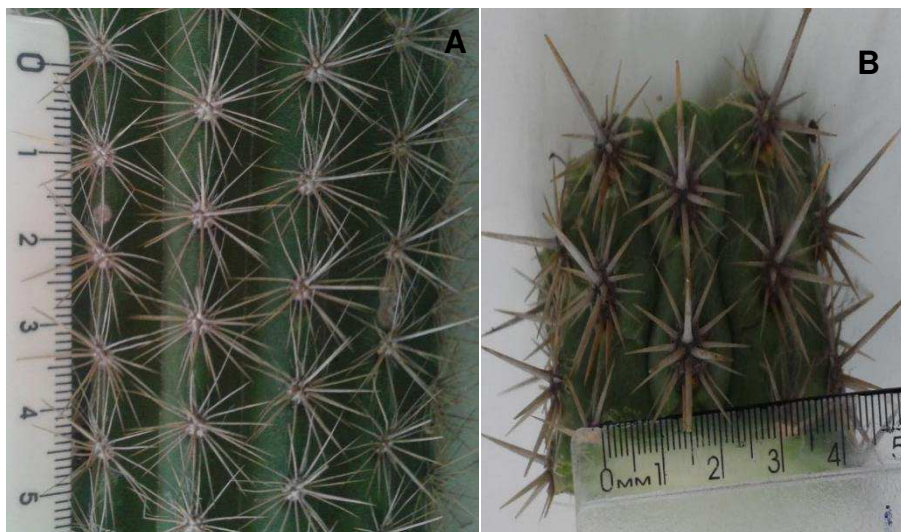
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados encontrados nesta pesquisa. Inicialmente, serão apresentadas algumas características morfológicas das duas cactáceas estudadas, e, posteriormente, a caracterização química da levedura (*S. cerevisiae*) utilizada no processo e das cactáceas, antes e durante o enriquecimento proteico, apresentando os valores referentes ao teor de água, matéria seca, resíduo mineral, sólidos solúveis totais, pH, acidez titulável, proteína bruta e o aumento proteico obtido.

### 5.1 Breve caracterização de aspectos morfológicos dos espécimes.

Na figura 10, observa-se a disposição dos espinhos dos cladódios do facheiro (A) e do xiquexique (B), utilizados nesse trabalho, bem como as aréolas de onde saem os espinhos.

Figura 10 - Disposição dos espinhos em: A – facheiro (*P. pachycladus*) e B – Xiquexique (*P. gounellei*)



Fonte: própria autora

As aréolas são saliências hemisféricas ou em forma de ponto, de onde surgem espinhos, flores e novos ramos. O facheiro (figura 10A) apresentou aréolas de cor branca, distanciadas entre si cerca de 1,2cm, com espinhos de cor cinza e mais finos que os verificados no xiquexique. Costa (2011) em descrição morfológica de facheiro



presente no Horto Florestal Olho D'Água da Bica, em Cuité-PB, cita uma distância semelhante para as aréolas (0,8-1cm), destacando que a cor dos espinhos depende da idade das mesmas.

No xiquexique (figura 10B) foram observadas aréolas grandes de cor acinzentada, com espinhos grossos e espalhados, de diversos tamanhos, sendo um espinho central bem maior e mais forte que os demais, semelhante à descrição relatada para *P. gounellei* por Oliveira (2011).

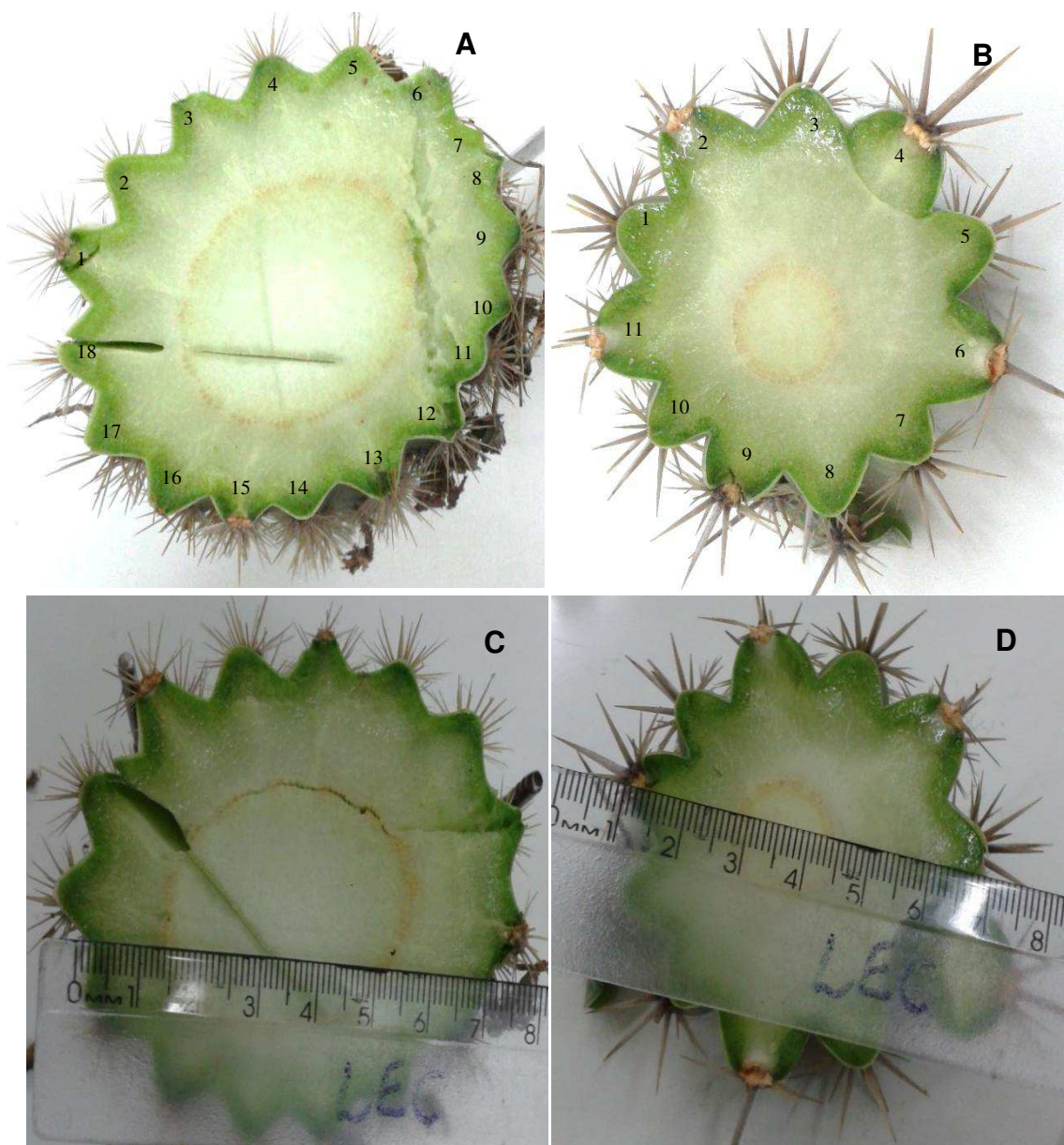
Segundo Cavalcante, Teles e Machado (2013), a presença de aréolas é a característica principal das plantas que pertencem à família Cactaceae, sendo que a forma, tamanho e cor das mesmas ou a presença de pelos, assim como as cores destes (brancos, cinzentos ou amarelados) e sua quantidade varia de espécie para espécie e dentro da mesma espécie, varia com a idade dos ramos.

Os espinhos, que são folhas modificadas, previnem a herbivoria, promovem sombra ao longo das nervuras e ambos atuam juntos na dissipação do calor e na retenção de maior umidade para a planta. A função dos pelos também está relacionada à retenção de umidade, pois agem bloqueando com eficiência a troca de gases, evitando a perda de água (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011).

Outra característica adaptativa, que pode evitar uma maior perda de água e promover sombra para algumas partes da planta, é a presença de costelas, projeções lineares que surgem nos cladódios em forma de saliências e se projetam para fora da planta. Cada espécie possui um número de costelas que varia dentro de um determinado intervalo, mas a forma e a disposição é mais ou menos constante para cada espécie (CAVALCANTE; TELES; MACHADO, 2013).

Na figura 11, em um corte transversal do caule, podem ser observadas algumas diferenças com relação ao número de costelas, diâmetro do talo central e cilindro vascular nas duas cactáceas. No facheiro foram observados 18 costelados (11A) e no xiquexique apenas 11 (11B). O facheiro apresentou um maior diâmetro do talo central e diâmetro total do caule do que o xiquexique, como pode ser observado nas figuras 11C e 11D, respectivamente, o que pode estar associado a uma maior ou menor quantidade de água nessas cactáceas.

Figura 11 – Costelados em: A – facheiro (*P. pachycladus*); B – xiquexique (*P. gounellei*);  
Diâmetro do talo central e caule em: C – facheiro (*P. pachycladus*); D – xiquexique (*P. gounellei*)



Fonte: própria autora

## 5.2 Caracterização química da levedura utilizada no processo de enriquecimento proteico

A levedura utilizada foi analisada quanto ao teor de água, MS, resíduos minerais, pH, AT e PB, apresentando médias de teor de água de 71,89%; MS de 28,11%; resíduo mineral de 1,93%; pH 4,57; AT de 4,9% e teor de PB de 48,02% (Tabela 3).

Tabela 3- Composição química da levedura (*S. cerevisiae*) utilizada no enriquecimento proteico.

Levedura	
Parâmetros	Médias
Teor de água (%)	71,89 ± 1,97
Matéria seca (%)	28,11 ± 1,97
Resíduo mineral (%)	1,93 ± 0,04
pH	4,57 ± 0,38
Acidez titulável (%)	4,9 ± 0,57
Proteína bruta (%)	48,02 ± 0,46

Oliveira (2014) cita valores semelhantes com relação ao pH (4,54), para o mesmo tipo de fermento, utilizado pela autora para enriquecimento proteico de facheiro, porém o teor de água (70%) e a porcentagem de PB encontrada foi inferior (45%). Araújo et al. (2008), em estudo para enriquecimento proteico de palma forrageira, cita que o fermento apresentou essa mesma porcentagem de PB (45%, em base seca) e maior teor médio de água (80%, em base úmida).

De acordo com Melo et al. (2010) a levedura *S. cerevisiae* pode apresentar entre 28,70 e 38,28% de PB, salientando que, em processos fermentativos, deve-se levar em consideração o substrato utilizado e as condições do meio de cultivo para estimar sua composição química e valor nutritivo.

Com relação aos constituintes minerais, a levedura apresentou porcentagens mais elevadas de potássio (K) e fósforo (P) e menores porcentagens de cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn), enxofre (S), magnésio (Mg), silício (Si), manganês (Mn), rubídio (Rb) e cobre (Cu), conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Constituintes minerais da levedura (*S. cerevisiae*) utilizada no enriquecimento proteico.

Levedura	
Minerais	(%)
K	1,43
P	0,32
Ca	0,05
Fe	0,05
Zn	0,05
S	0,05
Mg	0,03
Si	0,02
Mn	0,02
Rb	0,006
Cu	0,004

Os minerais são necessários para o crescimento ótimo das leveduras durante o processo fermentativo, sendo muito importante que haja um equilíbrio entre macro e micronutrientes para evitar alterações metabólicas significativas (MALTA, 2006). P e K que apresentaram concentrações mais elevadas no fermento utilizado nessa pesquisa, são geralmente alguns dos minerais mais encontrados na composição dos microrganismos, de acordo com a autora, enquanto Zn, Cu e Mn atuam na taxa de crescimento da *S. cerevisiae*, com efeito positivo na atividade respiratória.

### 5.3 Caracterização química do facheiro antes do processo de enriquecimento proteico

As amostras de facheiro *in natura* e após a queima, analisadas antes do enriquecimento proteico, apresentaram os valores mostrados na Tabela 5. O teor de água foi mais elevado nas amostras *in natura*. Essa redução após a queima pode justificar o aumento nas porcentagens de MS (8,34 para 10,19%) e de resíduo mineral, que variou de 1,21 a 1,59%. As análises de SST apresentaram valores de 3°Brix para facheiro *in natura* e 1°Brix, para o queimado, o que também pode ser justificado pela redução no teor de água.

Quanto aos valores de pH, as amostras, tanto *in natura* quando queimadas, mantiveram-se dentro da faixa considerada pouco ácida, segundo a classificação de Baruffaldi e Oliveira (1998) apud Silva et al. (2005), variando de 4,56 a 4,58. Essa acidez também é medida através da AT, que apresentou valores de 7,4 e 7,1 (*in natura* e queimado), respectivamente. Os teores de PB aumentaram com a queima (8,32 para 8,98%).

Tabela 5- Composição química das amostras de facheiro (*P. pachycladus*) *in natura* e queimado.

Parâmetros	Facheiro <i>in natura</i>	Facheiro queimado
Teor de água (%)	91,66 ± 1,10	89,81 ± 2,52
Matéria seca (%)	8,34 ± 1,10	10,19 ± 2,52
Resíduo mineral (%)	1,21 ± 0,06	1,59 ± 0,76
Sólidos soluveis totais (°Brix)	3	1
pH	4,56 ± 0,26	4,58 ± 0,10
Acidez titulável (%)	7,4 ± 0,00	7,1 ± 0,00
Proteína bruta (%)	8,32 ± 0,82	8,98 ± 0,31

Para os cladódios de facheiro queimados, Oliveira (2014) encontrou porcentagem de teor de água similar (91,42%) aos resultados obtidos para as amostras *in natura*, salientando que esse teor elevado após a queima justificava-se pelo fato dessa cactácea possuir uma grande capacidade de armazenamento de água, além de terem sido coletados os ramos mais novos das plantas, em época chuvosa.

Nascimento et al. (2011) também encontraram, para os cladódios do facheiro *in natura*, teor de água semelhante (92,02%). LIMA (2006) ao caracterizar as polpas do caule de facheiro (*Cereus squamosus*), coletados no Sítio Moita, município de Boqueirão-PB, verificou uma média de teor de água superior para as polpas da extremidade e meio do facheiro (94,88 ± 0,01% e 94,14 ± 0,30%, respectivamente), porém, para a base foi relatado um resultado mais próximo ao dessa pesquisa *in natura* (92,42 ± 0,02%).

Os teores de MS variaram de 8,34 a 10,19%, com porcentagens mais elevadas nas amostras queimadas. Esses resultados são semelhantes a porcentagens encontradas em outros estudos realizados para verificar a composição química de

cactáceas. Germano et al. (1999) em análises da composição química e dos constituintes minerais de cactáceas da região semiárida da Paraíba, observou teores de MS de 8,21% para o facheiro (*Cereus squamoso*, Guerke), afirmando que esse resultado encontrava-se de acordo com o relatado por outros pesquisadores para esses vegetais, que, em média apresentam 10% de MS.

Barbosa, Vale e Detoni (2014), citaram teores de MS variando de 8,1 a 11,3%, para os cladódios de *Brasiliopuntia brasiliensis* A. Berger, uma cactácea muito utilizada como planta ornamental, em parques e jardins, em Salvador-BA.

O resíduo mineral das amostras variou de 1,21 a 1,59%. Esses resíduos são obtidos quando se aquece um produto em temperatura próxima de 550/570°C, por isso, muitas vezes, não são representativos de toda a substância inorgânica que está contida na amostra, pois nessa temperatura, alguns sais podem evaporar (IAL, 2008).

Teores semelhantes foram encontrados por LIMA (2006) para a polpa da extremidade ( $1,15 \pm 0,01\%$ ), meio ( $1,23 \pm 0,01\%$ ) e base ( $1,50 \pm 0,01\%$ ) de cladódios do facheiro. Nascimento et al. (2011), porém, encontraram teores mais elevados (2,45%).

As cinzas ou resíduo mineral são constituídas por diferentes minerais, que por não serem produzidos pelo organismo, devem ser obtidos através da alimentação, e a análise desses constituintes nas cactáceas é de extrema importância para verificar se elas podem ser consideradas boas forrageiras, para serem utilizadas na alimentação dos animais. O ideal é que a forrageira contenha um balanço adequado dos minerais que são considerados essenciais aos animais, caso contrário poderá dificultar a digestão e absorção de diversos outros nutrientes (DIAS, 1997).

Os minerais podem ser classificados como principais ou macroelementos, que são aqueles necessários em altas concentrações para o crescimento e desenvolvimento de plantas e animais (Ca, P, Mg, Na, K, Cl) ou microelementos, encontrados em pequenas concentrações (Fe, I, Zn, Se, Cr, Cu, F e Sn.) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Observa-se, na Tabela 6, que as amostras de facheiro apresentaram uma elevada porcentagem de Ca, tanto *in natura* (3,87%) quanto queimadas (5,43%) e K (2,98 e 3,67%), com menores proporções de Mn (0,56 e 0,59%); Cl (0,46% e 0,40%); Mg (0,25 e 0,21%) e P (0,003%).

Tabela 6 – Porcentagens dos minerais das amostras de facheiro (*P. pachycladus*) *in natura* e queimado.

Minerais (%)	Facheiro <i>in natura</i>	Facheiro queimado
Ca	3,87	5,43
K	2,98	3,67
Mn	0,56	0,59
Cl	0,46	0,40
Mg	0,25	0,21
P	0,003	0,003

Barbosa, Vale e Detoni (2014), citaram porcentagens de K de 7,4 a 7,5%, para os cladódios de *B. brasiliensis*, ressaltando, porém que esses valores eram considerados mais elevados que os encontrados na literatura analisada, cujas porcentagens em plantas poderiam variar de 0,5 a 6%.

As amostras de facheiro analisadas por Germano et al. (1999) apresentaram 5,03% de cálcio (Ca); 2,13% de potássio (K), 1,43% de magnésio (Mg) e 0,12% de fósforo (P), dados expressos com base na MS. De acordo com os autores, as exigências mínimas da National Research Council (NRC, 1970) para K, para animais em crescimento e engorda, são 0,6 a 0,8% e as exigências mínimas com relação a Mg, para bovinos de corte em crescimento são de 0,07% (Underwood, 1981), portanto o facheiro analisado seria capaz de suprir essas exigências.

Os SST diminuíram das amostras *in natura* para as queimadas (3 para 1°Brix), o que pode ser justificado pela redução no teor de água. Os valores apresentados pelas amostras pós-queima também foram encontrados por Nascimento et al. (2011) para os cladódios do facheiro ( $1,033 \pm 0,15\%$ ). Já os resultados das amostras *in natura* foram semelhantes aos encontrados por LIMA (2006) para extremidade ( $3,76 \pm 0,008^\circ\text{Brix}$ ), meio ( $3,74 \pm 0,008^\circ\text{Brix}$ ) e base ( $3,10 \pm 0,006^\circ\text{Brix}$ ) da polpa dos cladódios do facheiro.

Os SST compreendem várias substâncias, principalmente açúcares, que se encontram dissolvidas em um determinado solvente (água, no caso dos alimentos) (LIMA, 2006). A medida desse parâmetro serve para verificar a viabilidade do processo de fermentação.

Com relação à acidez, as amostras mantiveram-se dentro da faixa pouco ácida, o que pode ser verificado tanto pelos valores de pH quanto pelas análises de AT,

tornando-o um substrato que possibilita o crescimento de leveduras, com um possível enriquecimento proteico do material. Na caracterização físico-química dos cladódios do facheiro queimado (expressos em base seca), realizada por Oliveira (2014), foi encontrado valor de pH inicial de 4,91.

Nascimento et al. (2011) também relataram valores superiores de pH ( $4,72 \pm 0,07$ ) para os cladódios do facheiro *in natura*, assim como Lima et al. (2005) apud Silva et al. (2012), que citaram valores de pH variando de 4,69 a 4,98 para a polpa do facheiro. Produtos com pH acima de 4 são mais propensos à proliferação por alguns tipos de microrganismos, por exemplo, cepas de *Clostridium botulinum* (SILVA et al., 2012).

Lima (2006) também encontrou valores de pH superiores:  $4,74 \pm 0,01$  para a polpa dos ramos superiores dos cladódios do facheiro;  $4,75 \pm 0,01$  para o meio e  $4,81 \pm 0,01$  para a base, porém, para AT os resultados citados pelo autor foram inferiores:  $1,31 \pm 0,08\%$ ,  $1,59 \pm 0,01\%$  e  $1,60 \pm 0,004\%$  (extremidade, meio e base, respectivamente). Com a análise desses parâmetros podemos ter uma ideia do estado de conservação de um determinado produto.

A porcentagem de PB dos cladódios do facheiro *in natura* encontrada nesse estudo (8,32%), foi superior à relatada por Oliveira (2014) para os cladódios do facheiro queimado (4,46%). Germano et al. (1999) relataram teores de 9,23% de PB (MS) para facheiro, considerando-o dentro dos requerimentos mínimos para ser utilizado como forrageira. Para outras espécies de cactáceas, os valores citados pelos autores foram: palma gigante (6,01%); palma doce (2,97%); mandacaru (10,18%) e coroa-de-frade (6,92%), em base seca.

Segundo Lisboa et al. (2014, pg. 3542), “a dieta do animal deve conter níveis que variam entre 6 e 7% de PB, para permitir o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos no rúmen, que irão degradar os nutrientes contidos na fração fibrosa da forragem”.

Lima (2006) relata baixos percentuais de PB:  $0,19 \pm 0,01\%$  para a extremidade;  $0,18 \pm 0,004\%$  para o meio e  $0,16 \pm 0,01\%$  para a base de cladódios de facheiro, em matéria natural. Barbosa, Vale e Detoni (2014), citaram teores de PB variando de 6,3 a 7,7%, para os cladódios de *B. brasiliensis*.



#### 5.4 Caracterização química do xiquexique antes do processo de enriquecimento proteico

Na Tabela 7 são apresentados os resultados referentes à caracterização química do xiquexique *in natura* e queimado. O teor de água para as amostras de xiquexique *in natura* apresentou-se bastante elevado, com média de 92%, apresentando redução, após a queima para retirada dos espinhos, porém mantendo-se muito úmidas, com média de 89%, sendo esse o comportamento observado para o facheiro, citado anteriormente, já que também se trata de uma cactácea com grande capacidade de retenção de água.

O teor de MS e o resíduo mineral aumentaram com a queima (7,78 a 10,41% e 1,40 a 1,65%), respectivamente. Já os SST diminuíram (3°Brix para xiquexique *in natura* e 0,5°Brix para xiquexique queimado). Houve diminuição da acidez, verificado pelos valores de pH que variaram de 4,39 *in natura* a 4,57 queimado e pela diminuição da porcentagem de AT (6,3 a 6,2%) e o teor de PB aumentou após a queima (5,86 a 6,94%).

Tabela 7 – Composição química das amostras de xiquexique (*P. gounellei*) *in natura* e queimado.

Parâmetros	Xiquexique <i>in natura</i>	Xiquexique queimado
Teor de água (%)	92,22 ± 2,23	89,29 ± 1,29
Matéria seca (%)	7,78 ± 2,23	10,41 ± 1,29
Resíduo mineral (%)	1,40 ± 0,31	1,65 ± 0,20
Sólidos solúveis totais (°Brix)	3	0,5
pH	4,39 ± 0,03	4,57 ± 0,08
Acidez titulável (%)	6,3 ± 0,00	6,2 ± 0,07
Proteína bruta (%)	5,86 ± 0,75	6,94 ± 0,15

Barbosa, Vale e Detoni (2014), ao analisarem os cladódios das plantas verdes e cloróticas de *B. brasilienses*, encontraram teores de água de 88,7% nas verdes e 91,9% nas cloróticas, estando de acordo com os teores médios citados na literatura para cactáceas análogas, segundo os autores.

Lisboa et al. (2014), em estudos de revisão sobre a palma forrageira consideraram que seu elevado teor de umidade é considerado bastante positivo, principalmente em regiões semiáridas, onde a escassez de água é um problema sério e a utilização das cactáceas como forrageiras poderia reduzir a necessidade de suprimento hídrico para ruminantes. Nesse sentido, as cactáceas facheiro e xiquexique também apresentam as mesmas vantagens no tocante ao teor de água.

Estudos realizados com ovelhas e cabras têm demonstrado que a suplementação da dieta dos mesmos com cactos aumenta a ingestão de alimentos e diminui o consumo de água potável. Salem e Smith (2008) mostraram que ovelhas adultas podem suprir suas necessidades de água consumindo 300g de MS de cladódios frescos de palma (cerca de 4 a 4,5 Kg de cladódios frescos). Uma elevada quantidade de água, porém, pode dificultar a conservação do produto, pois se torna mais fácil a proliferação de microrganismos.

Silva et al. (2005) observaram teor de água para casca de coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis*), provenientes do município de Boqueirão-PB, de 91,67%, similar ao verificado nesse trabalho para as amostras de xiquexique *in natura*, considerando-a excelente fonte de água, porém suscetível à ação enzimática e microbiana.

Quanto à MS, as porcentagens encontradas nessa pesquisa, para as amostras *in natura* e queimadas, foram inferiores às citadas por Silva et al. (2013) e Barbosa et al. (2007) para xiquexique (13,59% e 10,99%, respectivamente). Análises de xiquexique feitas por Germano et al. (1999), apresentaram 8,13% de MS, porcentagens inferiores aos resultados verificados para xiquexique queimado no presente trabalho.

Com relação ao resíduo mineral, Almeida et al. (2007) ao estudarem a composição das polpas extraídas dos ramos do xiquexique relataram uma média semelhante aos resultados encontrados para as amostras *in natura* (1,49%), conforme demonstrado na Tabela 8:

Tabela 8 – Porcentagens de resíduo mineral de amostras de xiquexique (*P. gounellei*) da cidade de Boqueirão-PB.

Amostras	Cinzas (%)
Cilindro vascular (ramos)	1,38
Talo central (ramos)	1,34
Cilindro vascular (caules)	1,70
Talo central (caules)	1,56
Desvio médio significativo	0,11
Média geral	1,49
Coefficiente de variação	3,77

Fonte: Adaptada de Almeida et al. (2007).

As análises do presente trabalho foram realizadas com os ramos superiores do xiquexique, encontrando-se teores de cinzas semelhantes nas amostras *in natura* (1,40%). Ao verificar os valores superiores de resíduo mineral para os caules, os autores sugeriram que essa diferença poderia ser devido a um acúmulo de minerais nas paredes celulares nas estruturas mais antigas da planta, salientando que a análise desse parâmetro é muito importante para verificar o valor nutricional dos alimentos. Germano et al. (1999) encontraram 1,94% para xiquexique; Silva et al. (2005) encontraram médias de 1,48% para casca da coroa-de-frade.

Com relação aos seus constituintes minerais, observa-se, na Tabela 9, que o xiquexique apresentou uma elevada porcentagem de Ca, tanto *in natura* (5,29%) quanto queimado (5,94%).

Tabela 9 – Porcentagens de minerais das amostras de xiquexique (*P. gounellei*) *in natura* e queimado.

Minerais (%)	Xiquexique <i>in natura</i>	Xiquexique queimado
Ca	5,29	5,94
K	1,35	2,67
Mg	0,41	0,46
Cl	0,36	0,56
P	0,0003	0,015
Mn	0,23	0,40

O segundo elemento que apresentou maior concentração foi K (1,35 e 2,67%) e em menores concentrações foi observada a presença de Mg (0,41 e 0,46%); Cl (0,36 e 0,56%); P (0,0003 e 0,015%) e Mn (0,23 e 0,40%).

Silva et al. (2013) observaram para o xiquexique porcentagens de Ca inferiores nas pesquisas analisadas (3,10%) e porcentagens de Mg (1,62%) e P (0,04%) superiores. Os valores verificados pelos autores para K foi semelhante ao dessa pesquisa (1,56%). Germano et al. (1999) encontraram 0,08% de P; 3,74% de Ca; 1,85% de K e 2,14% de Mg, em amostras de xiquexique.

A presença ou o acúmulo de determinados minerais nas forrageiras depende da espécie e idade da mesma, da época do ano, das circunstâncias climáticas, do tipo de solo e da quantidade do mineral disponível. A capacidade de absorção desses elementos pela planta pode ser afetada pelas condições do solo, como pH e umidade (MENDONÇA JUNIOR et al., 2011).

É necessário que haja um balanço adequado desses nutrientes nas plantas para serem consideradas boas forrageiras, pois os animais adquirem esses elementos através da alimentação e deficiências ou excessos podem causar diversas doenças nos ruminantes.

Os minerais podem exercer quatro funções principais no organismo animal: estrutural, fisiológica, catalítica e reguladora. Ca, P e Mg compõem estruturas nos órgãos e tecidos do corpo; K, Cl, Ca e Mg ocorrem nos fluidos e tecidos como eletrólitos e estão envolvidos na manutenção da pressão osmótica, balanço ácido-básico, permeabilidade das membranas e irritabilidade dos tecidos (MENDONÇA JUNIOR et al., 2011).

Quanto ao SST, houve uma diminuição do xiquexique *in natura* (3°Brix) para o queimado (0,5°Brix). Nascimento et al. (2011) determinaram o teor de SST para a polpa fresca do fruto com sementes do xiquexique e foram observados valores bem superiores quando comparados aos cladódios do xiquexique do presente trabalho (6,0 ± 0,10°Brix).

Almeida et al. (2007), encontraram resultados similares aos das amostras de facheiro após a queima, para várias partes do xiquexique (1,50°Brix, para os ramos (partes superiores); 1,75°Brix (cilindro vascular – caules) e 2,75°Brix (talos centrais – caules). Como os SST são constituídos praticamente por açúcares, cerca de 80 a 90%, os autores consideraram as amostras de xiquexique pobres em relação a esses

compostos. Silva et al. (2005), relataram valores superiores para a polpa (2,25°Brix) e para a casca (4,75°Brix) da coroa-de-frade.

O pH aumentou com a queima das amostras, demonstrando uma diminuição da acidez. Valores um pouco mais elevados que os do presente estudo foram relatados por Almeida et al. (2007) em plantas de xiquexique. A média geral encontrada pelos autores foi de 4,93, conforme pode ser observado na Tabela 10:

Tabela 10 - Valores do pH das amostras de xiquexique (*P. gounellei*) da cidade de Boqueirão-PB.

Amostras	pH
Cilindro vascular (ramos)	4,66
Talo central (ramos)	5,18
cilindro vascular (caules)	4,55
Talo central (caules)	5,33
Desvio médio significativo	0,06
Média geral	4,93
Coefficiente de variação (%)	0,65

Fonte: Adaptada de Almeida et al. (2007).

Silva et al. (2005), caracterizaram físico-quimicamente a casca e a polpa de coroa-de-frade (*M. bahiensis*) provenientes do município de Boqueirão-PB, observando valores de pH de 4,79 para a polpa e 4,49 para a casca. Os autores consideraram a casca ácida e a polpa pouco ácida, baseando-se na classificação de Baruffaldi & Oliveira (1998), que considera como ácidos produtos com pH entre 3,7 e 4,5 e pouco ácidos, com pH acima de 4,5.

A porcentagem de PB variou de 5,86% (*in natura*) a 6,94% (queimado). Silva et al. (2013) e Germano et al. (1999) relataram teor de PB inferior (4,91% e 4,66%, respectivamente), porém, Barbosa et al. (2007), ao analisarem a planta do xiquexique encontraram resultado semelhante ao verificado para as amostras *in natura* desse estudo (5,60%).

Mesmo com os baixos teores de PB apresentados pelo xiquexique, essa cactácea é oferecida aos animais como forma de sobrevivência na época da seca, pois em muitas regiões bastante degradadas é a única que consegue sobreviver, sendo uma alternativa viável aos criadores de animais nesses períodos, quando a

oferta de alimentos é menor. Dessa forma, o xiquexique necessita ser enriquecido proteicamente, para que ao ser utilizado como forrageira, consiga atender às necessidades nutricionais dos ruminantes, com relação a proteínas.

O facheiro apresentou teor de PB mais elevado, encontrando-se, inclusive, dentro dos percentuais mínimos para ser usado como forrageira, portanto, talvez necessite de menores adições de levedura para alcançar maiores proporções de PB.

Alguns pesquisadores relatam porcentagens, superiores ou inferiores aos observados nas duas cactáceas dessa pesquisa, para outras plantas dessa família. Araújo et al. (2009a) encontraram um percentual inicial de 9,17% de PB no mandacaru sem espinhos, na forma *in natura* (base seca) e Silva et al. (2005) observaram teores de PB de 3,58% para a polpa e 4,99% para a casca de coroa-de-frade.

## 5.5 Caracterização química do facheiro e do xiquexique durante o enriquecimento proteico.

### 5.5.1 Teor de água

Observa-se, na tabela 11, como ocorreu a variação do teor de água em função das diferentes concentrações de levedura e diferentes temperaturas, durante o tempo de fermentação, para o facheiro. Os teores iniciais foram semelhantes nas amostras de 30 e 40°C, em média de 92%, diminuindo no decorrer das 72 horas, apresentando mínimos de 62% a 30°C. As amostras submetidas ao processo de fermentação a 35°C apresentaram porcentagens iniciais um pouco inferiores (média de 86%), com a ocorrência de quedas bruscas no decorrer do período de fermentação, chegando a 7,63%.

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 (PANDEY, 2003). Esse calor pode elevar muito a temperatura do processo, fazendo com que sejam alcançados valores diferentes dos considerados ideais para o crescimento dos microrganismos no meio.

Tabela 11 - Teor de água das amostras de facheiro (*P. pachycladus*) durante a FSS.

Teor de água do facheiro (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	92,18 ± 0,81	86,68 ± 0,32	92,33 ± 0,13
24	89,80 ± 0,47	77,71 ± 0,18	89,95 ± 0,75
48	85,07 ± 1,06	44,34 ± 3,97	88,25 ± 0,07
72	75,81 ± 1,39	12,89 ± 0,49	78,56 ± 2,13
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	92,09 ± 0,18	86,36 ± 0,36	92,33 ± 0,13
24	89,12 ± 0,40	78,10 ± 1,15	89,49 ± 0,42
48	87,03 ± 1,13	57,69 ± 0,89	88,00 ± 0,63
72	82,56 ± 2,47	10,33 ± 1,45	83,38 ± 0,44
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	91,33 ± 0,37	86,25 ± 0,23	92,33 ± 0,13
24	88,93 ± 0,87	80,45 ± 0,61	88,10 ± 0,59
48	84,53 ± 0,38	61,43 ± 2,18	86,70 ± 0,12
72	62,37 ± 1,11	7,63 ± 0,07	79,50 ± 0,42

A camada de substrato também pode afetar o teor de água na FSS. Oliveira (2014) verificou que houve mudanças significativas nos teores de água encontrados, no decorrer do processo fermentativo, ao variar a espessura da camada de substrato (3; 6,5 e 10cm), sendo que os menores valores foram observados com 72 horas nas amostras com 3cm de camada (50,99% com 5% de levedura e 65,37% com 1% de levedura). No mesmo período, para as espessuras das camadas de 6,5 e 10 cm, o teor de água manteve-se acima de 86%.

Nas amostras de xiquexique (Tabela 12), os teores iniciais apresentaram diferença nas três amostras, com os menores teores observados nas amostras de 35°C, e ocorrência de diminuição acentuada no decorrer dos experimentos. As amostras submetidas a um processo de fermentação a 40°C apresentaram as maiores

porcentagens iniciais (90,99%) chegando a um mínimo de 55,15%, em 72 horas, com 1% de levedura.

Tabela 12 - Teor de água das amostras de xiquexique (*P. gounellei*) durante a FSS.

Teor de água do xiquexique (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	88,71 ± 1,10	87,78 ± 0,15	90,99 ± 0,49
24	87,20 ± 0,74	80,80 ± 0,06	89,93 ± 0,17
48	75,18 ± 1,01	26,17 ± 0,11	69,95 ± 0,35
72	68,72 ± 0,28	6,77 ± 0,64	55,15 ± 0,00
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	89,78 ± 0,19	87,77 ± 0,11	90,99 ± 0,49
24	86,54 ± 0,51	81,44 ± 0,28	87,42 ± 0,87
48	76,80 ± 0,74	51,08 ± 0,67	76,60 ± 0,30
72	76,58 ± 0,37	6,77 ± 0,18	61,47 ± 2,78
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	89,08 ± 0,29	87,20 ± 0,46	90,99 ± 0,49
24	86,63 ± 0,19	78,42 ± 0,62	89,20 ± 0,24
48	74,36 ± 0,38	52,24 ± 0,62	79,66 ± 0,92
72	57,10 ± 0,60	7,65 ± 1,17	78,78 ± 0,13

As amostras submetidas à temperatura de 35°C, tanto do xiquexique quanto do facheiro, apresentaram os menores teores iniciais de água, o que pode ser explicado pela época em que as mesmas foram coletadas. As amostras cujo enriquecimento proteico foi realizado a 40°C foram coletadas no final do mês de setembro, quando, segundo dados da AESA (Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba), a quantidade de chuvas acumuladas no referido mês, no município de Cuité foi de 42,2 mm, enquanto no mês de outubro, mês de coleta das amostras submetidas a 30°C, o total mensal foi de 7,4 mm. Em novembro, a AESA registrou 24 mm e no mês de dezembro, época de coleta das amostras de 35°C, não existem dados registrados quanto ao total mensal de chuvas acumuladas (0,00 mm).



Após a queima, houve evaporação da água e todas as amostras cujo processo de FSS foi realizado a 35°C apresentaram uma diminuição acentuada nas porcentagens de água, chegando a um mínimo de 7,63% no facheiro, com concentrações de levedura de 5%, no tempo de fermentação de 72 horas e 6,77% no xiquexique, com 1 e 3% de inóculo, em 72 horas. Esse baixo teor de água pode ter inibido o crescimento da levedura o que pode ter influenciado negativamente no ganho proteico. 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. Como será mostrado, posteriormente, nessa temperatura foram obtidos os menores aumentos proteicos, tanto para o facheiro quanto para o xiquexique.

As duas cactáceas apresentaram teores de água iniciais bem acima dos 80% considerado ideais, o que foi observado por outros pesquisadores, com relação a outras cactáceas. Para fins de utilização dessas plantas como substrato em processos de FSS, um teor de água muito elevado pode ser desvantajoso, podendo levar a contaminação por outros microrganismos, como bactérias. Por outro lado, baixo teor de água pode impedir o acesso dos microrganismos aos nutrientes e resultar em pobre crescimento microbiano (PANDEY, 2003).

### 5.5.2 pH

O comportamento do pH, em função do tempo de fermentação, sofreu variação no decorrer dos experimentos, nas duas cactáceas, conforme demonstrado nas Tabelas 13 (facheiro) e 14 (xiquexique). Os maiores valores para o facheiro foram observados com 72 horas de fermentação, nos experimentos que foram realizados à temperatura de 40°C, onde o pH alcançou um valor máximo de 7,17. As amostras submetidas a 30 e 35°C, atingiram valores máximos de 6,79 e 6,47, respectivamente.

Tabela 13 - pH das amostras de facheiro (*P. pachycladus*) durante a FSS.

pH do facheiro			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	4,46 ± 0,01	4,59 ± 0,02	4,67 ± 0,01
8	4,41 ± 0,01	4,74 ± 0,03	4,58 ± 0,01
12	4,41 ± 0,00	4,83 ± 0,01	4,62 ± 0,03
24	4,37 ± 0,03	5,50 ± 0,54	5,03 ± 0,03
48	4,90 ± 0,06	5,82 ± 0,14	5,52 ± 0,09
72	5,91 ± 0,16	5,66 ± 0,25	7,08 ± 0,05
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	4,44 ± 0,01	4,59 ± 0,00	4,67 ± 0,01
8	4,41 ± 0,00	4,76 ± 0,01	4,56 ± 0,01
12	4,41 ± 0,01	4,86 ± 0,01	4,58 ± 0,01
24	4,35 ± 0,01	5,33 ± 0,06	5,24 ± 0,06
48	5,64 ± 0,07	6,31 ± 0,42	5,73 ± 0,23
72	6,36 ± 0,20	5,54 ± 0,18	7,17 ± 0,10
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	4,42 ± 0,01	4,58 ± 0,01	4,67 ± 0,01
8	4,41 ± 0,01	4,76 ± 0,01	4,55 ± 0,01
12	4,40 ± 0,00	4,89 ± 0,01	4,57 ± 0,02
24	4,38 ± 0,02	5,35 ± 0,03	5,22 ± 0,05
48	5,79 ± 0,06	6,47 ± 0,15	5,60 ± 0,21
72	6,79 ± 0,25	5,76 ± 0,34	6,98 ± 0,41

De acordo com Vendruscolo (2005), durante as primeiras fases da fermentação, há, geralmente, uma diminuição no valor do pH. Esse foi o comportamento observado em todos os experimentos realizados com o facheiro, na temperatura de 30°C, uma queda inicial nos valores de pH entre 0 e 24 horas de fermentação, ocorrendo depois um aumento, até as 72 horas. O meio manteve-se pouco ácido mesmo após a elevação do pH, porém, na temperatura de 40°C, as

amostras apresentaram pH igual ou maior que 7, com 72 horas de fermentação, indicando que pode ter ocorrido contaminação com outros microrganismos, como bactérias, por exemplo, o que pode interferir no crescimento da levedura. A faixa de pH ótimo para cultivo da levedura *S. cerevisiae* situa-se entre 3,5 e 6,0 (POLYORACH; WANAPAT; WANAPAT, 2013).

À temperatura de 35°C, todos os experimentos mantiveram-se em valores considerados pouco ácidos, porém, o pH aumentou no decorrer do tempo de fermentação, até 48 horas, com diminuição às 72 horas. Comportamento diferente foi observado por Oliveira (2014): diminuição do pH no decorrer de todos os experimentos, que variou de 4,91 (facheiro *in natura*) a 4,52, com os menores valores encontrados com 72 horas de fermentação.

As amostras de xiquexique apresentaram o mesmo comportamento do facheiro, nas três temperaturas. Com 30°C, ocorreu diminuição entre 0 e 24 horas; com 35°C, o pH aumentou entre 0 e 48 horas, ocorrendo diminuição somente às 72 horas e com 40°C foi observado diminuição nas primeiras oito horas, porém o comportamento geral foi de aumento durante as 72 horas, alcançando valores superiores aos relatados para o facheiro.

O xiquexique também apresentou os maiores valores de pH na temperatura de 40°C, com 72 horas de fermentação, sendo superior ao valor observado para o facheiro (8,59). Na temperatura de 30°C o pH variou de 4,50 a 7,64 (Exp. 7) e com 35°C, variou de 4,63 (Exp. 5 e Exp. 8) a 6,11 (Exp.5).

Tabela 14 - pH das amostras de xiquexique (*P. gounellei*) durante a FSS.

pH do xiquexique			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	4,57 ± 0,03	4,64 ± 0,01	4,51 ± 0,00
8	4,53 ± 0,02	4,80 ± 0,01	4,44 ± 0,01
12	4,50 ± 0,00	4,83 ± 0,02	4,45 ± 0,03
24	4,34 ± 0,11	4,90 ± 0,15	4,77 ± 0,05
48	5,75 ± 0,16	5,30 ± 0,13	6,45 ± 0,26
72	6,71 ± 0,14	5,13 ± 0,25	7,21 ± 0,42

	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	4,52 ± 0,00	4,63 ± 0,01	4,51 ± 0,00
8	4,50 ± 0,01	4,82 ± 0,02	4,43 ± 0,01
12	4,49 ± 0,00	4,88 ± 0,05	4,46 ± 0,01
24	4,38 ± 0,11	5,28 ± 0,07	5,12 ± 0,04
48	5,91 ± 0,09	6,11 ± 0,11	6,40 ± 0,14
72	7,32 ± 0,02	5,89 ± 0,51	8,59 ± 0,14
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	4,50 ± 0,00	4,63 ± 0,01	4,51 ± 0,00
8	4,50 ± 0,00	4,84 ± 0,02	4,42 ± 0,00
12	4,48 ± 0,00	4,92 ± 0,03	4,45 ± 0,01
24	4,58 ± 0,07	5,41 ± 0,07	5,08 ± 0,03
48	5,98 ± 0,11	5,94 ± 0,23	6,38 ± 0,03
72	7,64 ± 0,25	5,44 ± 0,07	7,68 ± 0,87

Melo et al. (2010), 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 para a maioria dos experimentos, realizados à temperatura de 35°C, até 48 horas e de 40°C, após 8 horas: 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.

### 5.5.3 Acidez titulável

Na Tabela 15 são mostrados os teores de AT das amostras de facheiro, onde pode-se observar comportamento inverso ao verificado com os valores de pH, ao longo do período de fermentação: nos experimentos 1, 4 e 7 (realizados a 30°C), a porcentagem de AT aumentou entre 0 e 24 horas, diminuindo após esse tempo. Nos experimentos 2, 5 e 8 (35°C), houve aumento entre 0 e 8 horas, diminuindo entre 8 e 48 horas, para novamente aumentar às 72 horas. Nos experimentos 3, 6 e 9 (40°C), foram verificadas as maiores porcentagens entre 8 e 12 horas de fermentação, com

tendência a diminuir ao longo das 72 horas, chegando aos teores mínimos encontrados para todos os experimentos realizados com o facheiro (1,7%).

Tabela 15 - Porcentagens de acidez titulável do facheiro (*P. pachycladus*) durante a FSS.

Acidez titulável do facheiro (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	5,4 ± 0,00	7,4 ± 0,00	5,5 ± 1,41
8	7,3 ± 1,15	9,3 ± 1,41	6,1 ± 1,41
12	7,3 ± 1,41	8,9 ± 1,41	5,9 ± 1,41
24	9,5 ± 1,00	5,4 ± 0,00	5,2 ± 2,83
48	5,5 ± 1,15	3,0 ± 0,00	2,2 ± 0,00
72	4,7 ± 1,41	6,0 ± 0,00	1,7 ± 1,41
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	5,4 ± 0,00	7,4 ± 0,00	5,5 ± 1,41
8	7,5 ± 1,15	8,7 ± 1,15	6,2 ± 2,83
12	8,0 ± 2,83	8,1 ± 1,41	6,8 ± 0,00
24	9,4 ± 0,00	4,1 ± 1,41	3,3 ± 1,41
48	3,1 ± 1,41	3,2 ± 2,83	1,7 ± 1,41
72	2,1 ± 1,15	7,0 ± 0,00	2,1 ± 1,41
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	5,4 ± 0,00	7,4 ± 0,00	5,5 ± 1,41
8	8,6 ± 0,00	9,2 ± 0,00	6,6 ± 0,00
12	7,9 ± 1,00	7,4 ± 0,00	6,8 ± 0,00
24	9,5 ± 1,15	4,0 ± 0,00	3,8 ± 2,83
48	3,3 ± 1,15	4,1 ± 1,41	2,9 ± 1,41
72	2,1 ± 1,41	6,4 ± 0,00	2,4 ± 0,00

Na Tabela 16 são mostrados os teores de AT das amostras de xiquexique. De forma semelhante a encontrada no enriquecimento proteico do facheiro, as porcentagens de AT dos experimentos 1, 4 e 7 (30°C) aumentaram nas primeiras 24

horas, diminuindo depois até as 72 horas; nos experimentos 2, 5 e 8 (35°C), foi observado aumento entre 0 e 12 horas, com oscilações nessas porcentagens entre 24 e 72 horas. Nos experimentos 3, 6 e 9 (40°C), o comportamento foi semelhante às de 35°C nas primeiras 12 horas, apresentando aumento das porcentagens, porém, com diminuição até chegar às 72 horas.

Tabela 16 - Porcentagens de acidez titulável do xiquexique (*P. gounellei*) durante a FSS.

Acidez titulável do xiquexique (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	7,2 ± 0,08	6,1 ± 0,02	6,8 ± 0,00
8	7,6 ± 0,00	6,4 ± 0,00	7,4 ± 0,00
12	7,6 ± 1,15	7,1 ± 1,15	8,5 ± 1,15
24	8,6 ± 2,83	6,2 ± 2,83	5,4 ± 0,00
48	2,9 ± 1,41	4,3 ± 1,41	2,4 ± 0,00
72	1,7 ± 1,41	6,8 ± 2,83	3,1 ± 1,15
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	7,2 ± 0,00	5,7 ± 0,12	6,8 ± 0,00
8	7,5 ± 1,00	6,0 ± 0,00	8,4 ± 0,00
12	7,5 ± 1,15	6,7 ± 1,41	8,5 ± 1,15
24	9,0 ± 0,00	4,0 ± 0,00	4,6 ± 0,00
48	2,7 ± 1,15	5,4 ± 0,00	2,4 ± 0,00
72	1,0 ± 0,00	5,0 ± 2,83	1,4 ± 0,00
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	7,3 ± 0,12	5,9 ± 0,12	6,8 ± 0,00
8	7,5 ± 1,41	6,1 ± 1,41	8,4 ± 0,00
12	7,9 ± 1,15	6,6 ± 0,00	8,8 ± 0,00
24	8,2 ± 2,83	3,9 ± 1,15	3,9 ± 1,15
48	2,5 ± 1,41	4,9 ± 1,11	2,5 ± 1,15
72	1,2 ± 0,00	7,1 ± 1,41	2,0 ± 0,00

Tanto os valores de pH quanto a AT podem fornecer uma ideia da acidez de um determinado produto ou substrato, ou no caso da FSS, a acidez do meio. Essa acidez é resultante dos ácidos orgânicos presentes ou de diversos ácidos adicionados ou resultantes de alterações químicas ocorridas durante o processo.

#### 5.5.4 Proteína bruta

Na tabela 17 são apresentados os resultados das porcentagens de PB do facheiro, nos diversos tempos de fermentação. Observa-se que a maior porcentagem (19,05%) foi encontrada com 72 horas, com temperatura de 30°C e 5% de inóculo. Com temperaturas de 35°C, a maior porcentagem (14,56%), foi obtida com 12 horas e 5% de inóculo e com temperaturas de 40°C, os maiores percentuais (15,93%) foram obtidos com 2 horas e 5% de concentração de levedura.

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 17 – Porcentagens de proteína bruta do facheiro (*P. pachycladus*) durante a FSS.

Proteína bruta do facheiro (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	14,57 ± 3,87	9,50 ± 0,16	11,72 ± 2,41
2	12,97 ± 0,33	9,93 ± 0,16	9,90 ± 0,48
4	13,14 ± 0,31	9,72 ± 0,15	10,24 ± 0,33
6	13,25 ± 0,16	10,04 ± 0,31	10,24 ± 0,00
8	12,81 ± 0,16	9,53 ± 0,16	9,90 ± 0,48
12	12,38 ± 0,46	9,42 ± 0,00	9,78 ± 0,00
24	12,59 ± 0,16	9,42 ± 0,31	9,10 ± 0,00
48	13,25 ± 0,16	10,08 ± 0,30	9,56 ± 0,00
72	13,36 ± 0,00	9,53 ± 1,08	9,33 ± 0,33

	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	14,24 ± 0,62	11,35 ± 1,85	11,72 ± 1,45
2	14,22 ± 0,48	11,68 ± 0,16	13,42 ± 0,00
4	15,77 ± 0,31	11,35 ± 0,00	12,40 ± 0,16
6	15,66 ± 1,09	10,59 ± 1,08	11,95 ± 0,16
8	15,66 ± 0,16	10,52 ± 1,24	12,40 ± 0,48
12	15,77 ± 0,00	10,95 ± 0,65	11,83 ± 0,33
24	14,89 ± 0,31	9,64 ± 2,17	11,95 ± 0,80
48	13,69 ± 1,39	11,39 ± 0,00	11,83 ± 0,00
72	16,21 ± 0,31	10,95 ± 0,31	10,81 ± 3,38
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	16,76 ± 0,77	12,23 ± 0,62	15,59 ± 0,49
2	18,20 ± 0,00	11,25 ± 0,77	15,93 ± 0,00
4	17,29 ± 0,02	11,79 ± 0,93	14,91 ± 1,12
6	17,62 ± 0,13	11,68 ± 0,47	15,24 ± 0,00
8	17,84 ± 0,13	11,83 ± 0,93	15,13 ± 0,16
12	17,40 ± 0,76	14,56 ± 2,94	14,11 ± 0,97
24	17,39 ± 1,12	11,50 ± 0,47	15,47 ± 0,33
48	17,74 ± 1,85	13,25 ± 0,16	14,22 ± 1,44
72	19,05 ± 0,01	13,47 ± 0,78	15,13 ± 0,16

Oliveira (2014) relatou teor de PB inicial inferior ao encontrado nesse trabalho (4,46%) e durante todo o processo, realizado à temperatura de 35°C, foram observados teores crescentes, de acordo com a adição de maiores concentrações de inóculo, chegando a um máximo de 11,72%, com 5% de levedura, em 8 horas de fermentação. À mesma temperatura utilizada pela autora foram observados maiores teores de PB no presente estudo (14,56%) com 12 horas, porém, com teores iniciais superiores (8,32%), o que resultou em menor AP, já que para cálculo desse percentual leva-se em consideração o teor inicial de PB.

As amostras que foram utilizadas para enriquecimento proteico à temperatura de 35°C, com 1 e 3% de inóculo e todas as amostras processadas à 40°C apresentaram maiores teores de PB com até 6 horas de fermentação, período no qual Araújo et al. (2008) também observaram as maiores porcentagens de PB para os cladódios da palma forrageira. Os autores utilizaram 1, 2 ou 3% de inóculo e os



experimentos foram realizados em temperatura ambiente, obtendo-se um máximo de 10,42% de PB, com 6 horas de fermentação e 3% de levedura. De acordo com os autores, essa porcentagem de PB foi considerada satisfatória, encontrando-se acima dos teores mínimos de 8 a 10% recomendados pela NRC (1996), para que os pequenos ruminantes consigam se manter.

Carvalho et al. (2010); Oliveira et al. (2011) relatam que porcentagens de PB inferiores a 6% na dieta dos ruminantes inibem o crescimento e desenvolvimento de microrganismos no rúmen, que teriam como principal função a decomposição dos nutrientes contidos na fração fibrosa da forragem. Todas as amostras de facheiro desse estudo apresentaram porcentagens superiores a 8% de PB, após o enriquecimento proteico.

Os experimentos realizados com as amostras de xiquexique à temperatura de 35°C apresentaram comportamento semelhante ao observado nas amostras de facheiro, à mesma temperatura, com os maiores teores de PB, sendo obtidos com até 6 horas de fermentação.

Na maioria dos experimentos com o xiquexique, realizados nas temperaturas de 30 e 40°C, as maiores porcentagens de PB foram verificadas com 48 horas, ocorrendo diminuição às 72 horas. Esse comportamento também foi observado por Araújo et al. (2009a) ao realizar o estudo cinético da FSS para enriquecimento proteico do mandacaru sem espinhos, com o objetivo de determinar o tempo ótimo de aumento proteico. Foram utilizados 10% de levedura, temperatura de 38°C, 4cm de substrato, nos períodos de 6, 12, 24, 48 e 72 horas de fermentação. Verificou-se um maior teor de PB às 48 horas de incubação, justificando-se a diminuição desse teor às 72 horas, com “uma provável desnaturação da proteína celular do microrganismo”.

Fixando o melhor tempo em 48 horas, os autores utilizaram diferentes concentrações de levedura (5, 10 e 15%); temperatura (30, 34 e 38%) e espessura da camada de substrato (2, 4 e 6 cm) para verificar as melhores condições para aumento do teor de PB, encontrando as maiores porcentagens com as maiores concentrações de levedura.

Na Tabela 18 são apresentados os resultados das porcentagens de PB do xiquexique, nos diversos tempos de fermentação. O maior teor de PB foi de 16,50%, obtido com 24 horas de fermentação, 5% de levedura e 40°C (experimento 9). Com 30°C o maior percentual de PB foi de 15,13%, com 48 horas e 5% de inóculo e com 35°C, o maior percentual de PB foi de 12,70%, com 2 horas e 5% de inóculo.

Tabela 18 – Porcentagens de proteína bruta do xiquexique (*P. gounellei*) durante a FSS.

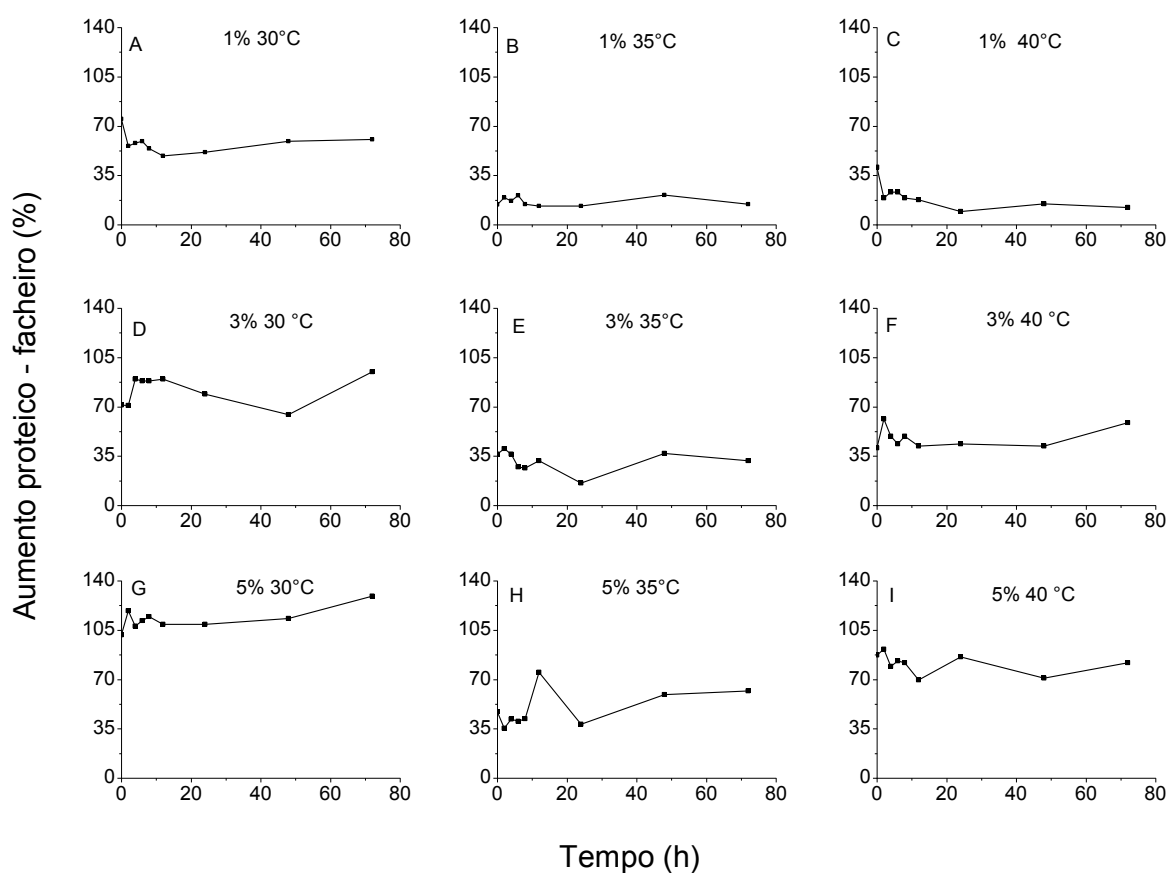
Proteína bruta do xiquexique (%)			
Tempo (h)	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
0	10,70 ± 0,32	8,10 ± 0,00	10,70 ± 0,97
2	10,13 ± 0,49	8,54 ± 0,31	10,24 ± 0,33
4	9,90 ± 0,16	8,76 ± 0,93	9,33 ± 0,33
6	10,35 ± 1,77	8,65 ± 0,78	10,01 ± 0,00
8	10,01 ± 0,33	8,10 ± 0,00	10,35 ± 0,81
12	9,78 ± 0,00	8,10 ± 0,31	9,79 ± 0,32
24	10,92 ± 0,96	8,32 ± 0,00	9,90 ± 0,16
48	11,72 ± 0,16	8,43 ± 0,47	11,15 ± 0,64
72	12,74 ± 0,96	8,21 ± 0,16	9,79 ± 0,32
	Exp. 4	Exp. 5	Exp.6
0	12,29 ± 0,00	10,04 ± 0,16	11,83 ± 0,00
2	12,06 ± 0,33	6,46 ± 6,66	10,47 ± 0,97
4	12,63 ± 0,81	10,73 ± 0,31	12,40 ± 0,16
6	11,72 ± 0,16	10,30 ± 0,93	13,20 ± 0,32
8	11,72 ± 0,16	9,64 ± 0,62	12,52 ± 0,97
12	11,83 ± 0,00	10,40 ± 0,16	11,49 ± 0,81
24	12,40 ± 0,16	10,29 ± 0,31	12,29 ± 0,64
48	13,43 ± 0,32	9,97 ± 0,77	12,97 ± 0,33
72	12,97 ± 2,25	9,97 ± 0,15	12,18 ± 0,16
	Exp. 7	Exp. 8	Exp.9
0	13,88 ± 0,00	11,06 ± 0,78	13,31 ± 1,17
2	14,11 ± 0,32	12,70 ± 0,31	16,38 ± 1,29
4	14,11 ± 0,32	12,59 ± 0,47	13,08 ± 3,05
6	13,31 ± 0,48	11,28 ± 0,16	14,79 ± 0,33
8	14,91 ± 0,16	10,74 ± 1,55	15,36 ± 0,48
12	13,88 ± 0,00	10,53 ± 0,34	14,00 ± 0,16
24	15,02 ± 1,32	11,28 ± 0,78	16,50 ± 1,12
48	15,13 ± 1,77	12,70 ± 0,00	14,68 ± 0,49
72	14,79 ± 0,33	11,61 ± 0,00	14,90 ± 2,09

### 5.5.5 Aumento proteico

A seguir serão apresentados os resultados com relação ao aumento proteico verificado para as duas cactáceas, onde foram feitas comparações com relação ao enriquecimento obtido com as diferentes concentrações de levedura nas três temperaturas.

Na figura 12 (A-I) são mostrados os resultados do facheiro, onde se verifica que o maior AP foi observado com 72 horas, quando as amostras foram submetidas a 30°C (128,97%) e 5% de concentração de inóculo (Figura 12 G). As amostras submetidas a 40°C apresentaram uma porcentagem máxima de AP de 91,47% com 2 horas de fermentação e 5% de concentração de inóculo (figura 12 I), e as amostras submetidas a 35°C apresentaram um máximo de 75% com 12 horas de fermentação e 5% de levedura (Figura 12H).

Figura 12 - Aumento proteico do facheiro (*P. pachycladus*) – A (Exp. 1); B (Exp. 2); C (Exp. 3); D (Exp. 4); E (Exp. 5); F (Exp. 6); G (Exp. 7); H (Exp. 8) e I (Exp. 9).



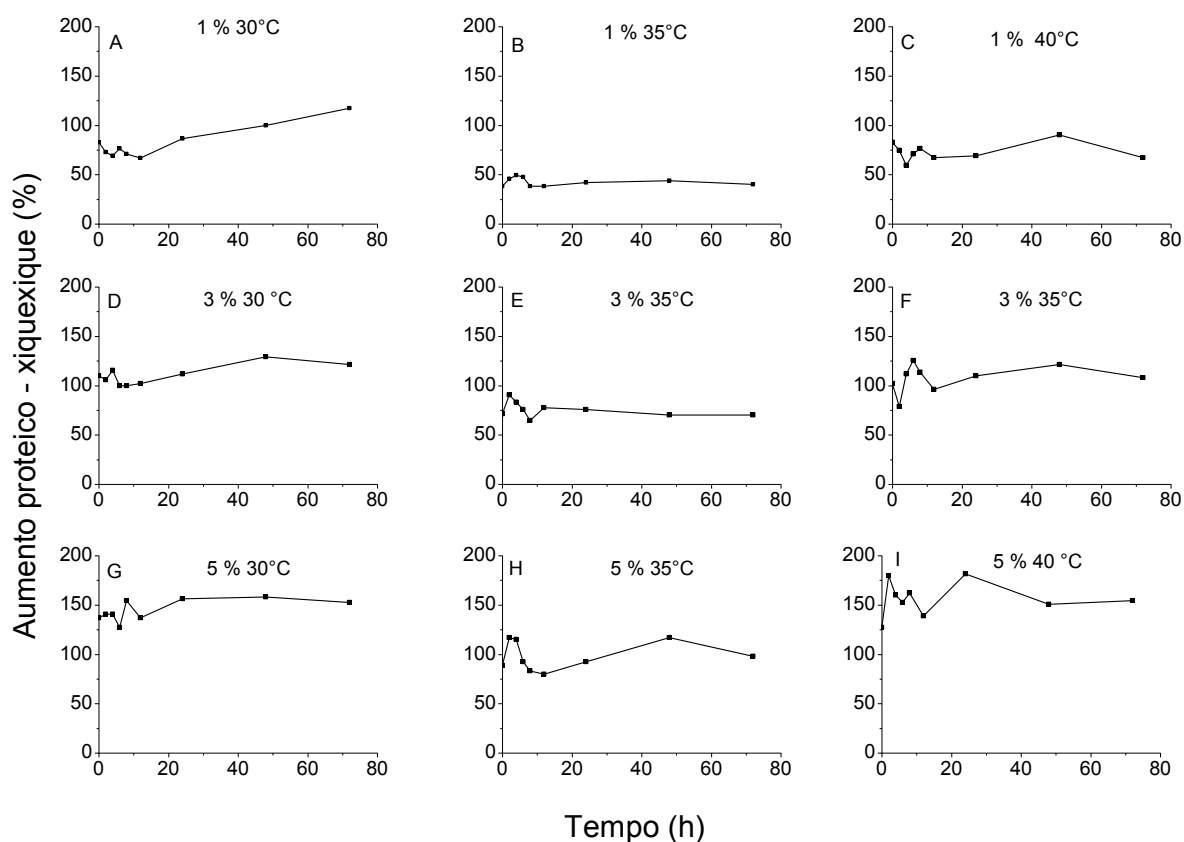
Oliveira (2014) também encontrou o maior AP (163%), com 5% de inóculo, porém em menor tempo, 8 horas de fermentação. A autora analisou a influência da concentração de inóculo e espessura da camada de substrato sobre o enriquecimento proteico do facheiro (*P. pachycladus*), através da FSS, utilizando *S. cerevisiae*. Foram utilizadas concentrações de 1, 3 e 5% de inóculo e espessuras da camada de substrato de 3; 6,5 e 10 cm, à temperatura de 35°C e observou-se que apenas a concentração de levedura teve influência significativa no ganho proteico do facheiro.

Araújo et al. (2009) também obtiveram o maior AP (333,3%) com experimentos realizados à temperatura de 30°C, mesma temperatura na qual foram encontrados os maiores AP para o facheiro, no presente estudo (128,97%), sendo que, o maior teor encontrado pelos autores pode estar associado à maior concentração de inóculo utilizada (15%). Assim como nos experimentos realizados nesse trabalho, os maiores AP encontrados pelos autores foram obtidos com as maiores concentrações de inóculo. A média de teor de proteína encontrada foi de 26%, semelhante aos encontrados na torta de babaçu (20,5 %), farelo de babaçu (26%) e farelo de algodão (26%), que, segundo os autores, são os valores recomendados pela National Research Council (NCR - 1989), como ideais para suprir as necessidades alimentares dos ruminantes com relação à proteína.

O período de 72 horas para melhor AP obtido no facheiro, está de acordo com o que foi verificado por Polyorach, Wanapat e Wanapat (2013), que encontraram uma maior proliferação da *S. cerevisiae* a partir de 60 horas de cultivo. Os autores relataram que, durante o processo de fermentação, no período de 0 a 6 horas, o crescimento da *S. cerevisiae* costuma ser lento, pois as células estão se adaptando ao novo meio circundante, então, aumentam de tamanho e o metabolismo aumenta, mas a proliferação celular é lenta. Após essa fase inicial, ocorre a fase de brotamento das células, quando elas passam a se dividir e proliferar.

No xiquexique (Figura 13) o maior AP (181,57%) foi obtido com 40°C, 5% de concentração de inóculo, em 24 horas de fermentação (Figura 13-I). Com as temperaturas de 30 e 35 °C, os maiores AP ocorreram com 5%, 48 horas (158,19%) e 5%, 2 horas (116,72%), respectivamente.

Figura 13 - Aumento proteico do xiquexique (*P. gounellei*) – A (Exp. 1); B (Exp. 2); C (Exp. 3); D (Exp. 4); E (Exp. 5); F (Exp. 6); G (Exp. 7); H (Exp. 8) e I (Exp. 9).



As duas cactáceas apresentaram comportamento semelhante no que se refere à concentração de levedura para obtenção do melhor AP, que aumentou com a adição de maiores concentrações de inóculo.

Resultados diferentes foram encontrados por Melo et al. (2010) quando avaliaram a influência da concentração de inóculo no aumento proteico da palma forrageira do Sertão Pernambucano, com *S. cerevisiae* (fermento biológico comercial). Foram utilizadas concentrações de 1, 3 e 5% de levedura, sendo os melhores resultados obtidos com 1% de levedura, com 24 horas, chegando a um teor de proteína bruta de 33,36%. Com 3%, o maior teor de PB foi de 27,32% com 8 horas e com 5%, foi de 25,26% com 55 horas de fermentação. Os autores concluíram que poderia ter ocorrido inibição do processo fermentativo por microrganismos, já que não houve aumento no teor de proteína bruta com o aumento da concentração de levedura.

É importante que se consiga obter uma quantidade de produto desejada, com uma menor concentração de inóculo, para que não se eleve muito os custos da

produção, além do que, altas concentrações podem exaurir o meio, fazendo com que os nutrientes presentes no substrato sejam consumidos nas primeiras horas, causando uma redução no desenvolvimento dos microrganismos ou até mesmo a morte. Oliveira (2007) cita, além desses problemas relacionados com altas concentrações, as desvantagens de uma concentração muito baixa de inóculo, que pode favorecer o aparecimento de contaminantes.

Com relação aos custos para os agricultores, é necessário levar em consideração, também, a questão do tempo. Podemos verificar que foram obtidos aumentos proteicos satisfatórios, tanto para o facheiro quanto para o xiquexique, na maioria dos experimentos realizados à 35°C, já nas primeiras horas de fermentação e com 3% de inóculo e que, apesar do maior AP ter sido observado com a menor temperatura para o facheiro, só foi alcançado com 72 horas.

## 5.6 Planejamento experimental

A partir do planejamento fatorial  $3^2$  com repetição foi possível verificar como a concentração de levedura e a temperatura de fermentação influenciaram o AP das duas cactáceas.

### 5.6.1 Planejamento experimental do enriquecimento proteico do facheiro

As Tabelas 19 e 20 apresentam os valores originais e codificados das variáveis de estudo e da resposta obtida, para o enriquecimento proteico do facheiro, nas duas matrizes do planejamento experimental. Observa-se que os maiores AP foram obtidos com 5% de levedura, 30°C (experimento 7) nas duas matrizes.

Tabela 19 - Matriz 1 do planejamento fatorial  $3^2$  para enriquecimento proteico do facheiro (*P. pachycladus*).

Exp.	CL (%)	T (°C)	AP (%)
1	(-1) 1	(-1) 30	60,57
2	(-1) 1	(0) 35	23,72
3	(-1) 1	(+1) 40	61,33
4	(0) 3	(-1) 30	97,43
5	(0) 3	(0) 35	52,19
6	(0) 3	(+1) 40	61,33
7	(+1) 5	(-1) 30	128,83
8	(+1) 5	(0) 35	68,47
9	(+1) 5	(+1) 40	91,41

CL – concentração de levedura; T (°C) – temperatura de fermentação;  
AP – aumento proteico

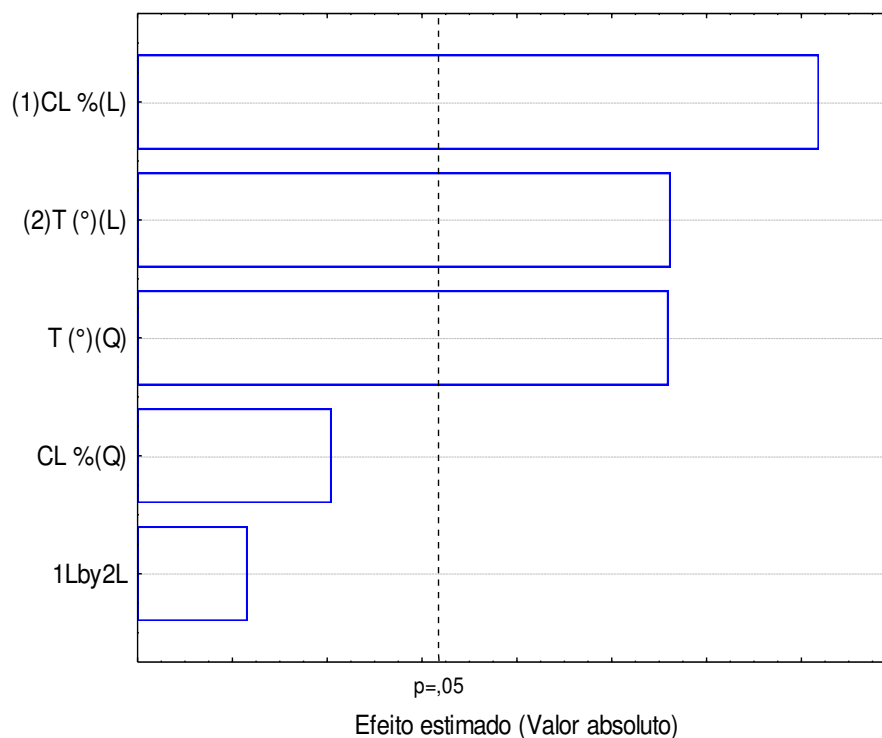
Tabela 20 - Matriz 2 do planejamento fatorial  $3^2$  para enriquecimento proteico facheiro (*P. pachycladus*).

Exp.	CL (%)	T (°C)	AP (%)
1	(-1) 1	(-1) 30	107,96
2	(-1) 1	(0) 35	23,72
3	(-1) 1	(+1) 40	25,78
4	(0) 3	(-1) 30	97,43
5	(0) 3	(0) 35	41,69
6	(0) 3	(+1) 40	61,33
7	(+1) 5	(-1) 30	129,02
8	(+1) 5	(0) 35	100,06
9	(+1) 5	(+1) 40	91,41

CL – concentração de levedura; T (°C) – temperatura de fermentação;  
AP – aumento proteico

Relacionando-se as variáveis independentes com a resposta, nas duas matrizes, obteve-se o diagrama de Pareto (Figura 14).

Figura 14 - Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta AP do facheiro (*P. pachycladus*).



Como pode ser observado na figura 14, as duas variáveis estudadas, concentração de levedura e temperatura de fermentação, influenciaram no enriquecimento proteico do facheiro, sendo a concentração de levedura a variável que mais influenciou o processo fermentativo.

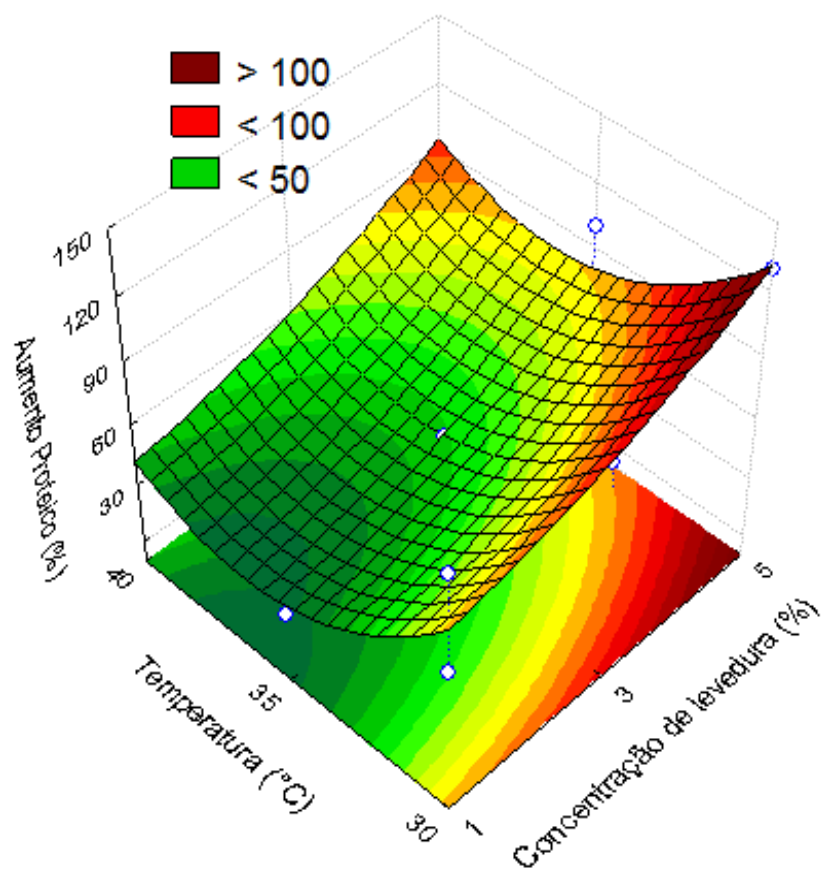
Foi realizada uma análise de regressão dos dados para se obter os coeficientes dos modelos, levando em consideração que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório ( $p < 0,05$ ). A equação do modelo empírico é mostrada a seguir e os coeficientes que tiveram efeitos significativos na resposta, ao nível de 95% de confiança, estão destacados em negrito:

$$AP = \mathbf{46,67} + \mathbf{25,21} CL + 7,46 CL^2 - \mathbf{19,05} T + \mathbf{32,84} T^2 + 0,79 CL T$$



O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido após o ajuste foi 0,87, indicando que os resultados foram explicados pela equação empírica proposta com 87% da variabilidade dos dados. Como o modelo foi significativo, foi possível construir a superfície de resposta definindo as regiões de interesse. A Figura 15 apresenta a superfície de resposta que relaciona as variáveis independentes com a resposta, após o processo fermentativo.

Figura 15 - Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta AP do facheiro (*P. pachycladus*).



Os resultados da ANOVA são apresentados na tabela 21 para os teores de AP do facheiro.

Tabela 21 - Resultados da ANOVA para aumento proteico do facheiro (*P. pachycladus*).

ANOVA $R^2 = 0,87$					
Fator	SQ	gl	MS	F	p
(1) CL (%) L	7809,12	1	7809,121	38,22723	0,000047
CL (%) Q	222,41	1	222,408	1,08873	0,317318
(2) T (°C) L	4356,74	1	4356,735	21,32710	0,000592
T (°C) Q	4314,96	1	4314,957	21,12259	0,000615
1L por 2 L	5,10	1	5,104	0,02499	0,877033
Erro	2451,38	12	204,282		
Total SS	19159,70	17			

Observa-se que as variáveis concentração de levedura linear e a temperatura, tanto linear, quanto quadrática, tiveram efeitos significativos sobre a resposta, o que é demonstrado pelos valores de p menores que 0,05 e valores mais elevados de F.

#### 5.6.2 Planejamento experimental do enriquecimento proteico do xiquexique

As Tabelas 22 e 23 apresentam os valores originais e codificados das variáveis de estudo e da resposta obtida, para o enriquecimento proteico do xiquexique, nas duas matrizes do planejamento experimental. Os maiores AP foram obtidos com 5% de levedura, 40°C (experimento 9) nas duas matrizes.

Tabela 22 - Matriz 1 do planejamento fatorial  $3^2$  para enriquecimento proteico do xiquexique (*P. gounellei*).

Exp.	CL (%)	T (°C)	AP (%)
1	(-1) 1	(-1) 30	129,05
2	(-1) 1	(0) 35	60,71
3	(-1) 1	(+1) 40	97,99
4	(0) 3	(-1) 30	132,94
5	(0) 3	(0) 35	90,61
6	(0) 3	(+1) 40	121,29
7	(+1) 5	(-1) 30	156,23
8	(+1) 5	(0) 35	120,51
9	(+1) 5	(+1) 40	195,05

CL – concentração de levedura; T (°C) – temperatura de fermentação;  
AP – aumento proteico

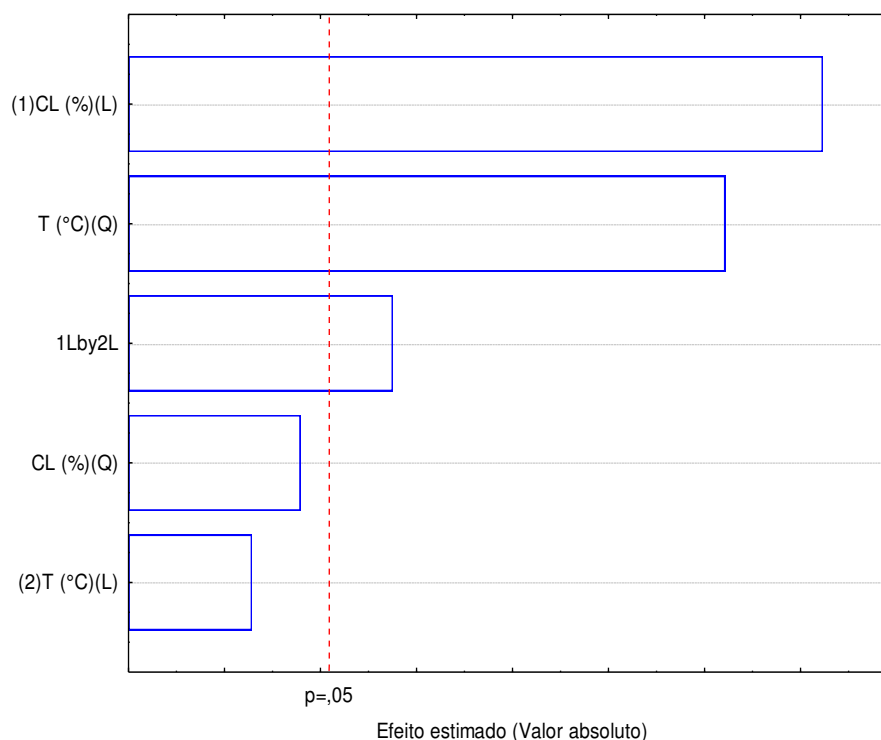
Tabela 23 - Matriz 2 do planejamento fatorial  $3^2$  para enriquecimento proteico do xiquexique (*P. gounellei*).

Exp.	CL (%)	T (°C)	AP (%)
1	(-1) 1	(-1) 30	105,76
2	(-1) 1	(0) 35	56,97
3	(-1) 1	(+1) 40	94,11
4	(0) 3	(-1) 30	148,46
5	(0) 3	(0) 35	86,87
6	(0) 3	(+1) 40	129,05
7	(+1) 5	(-1) 30	179,52
8	(+1) 5	(0) 35	120,51
9	(+1) 5	(+1) 40	195,05

CL – concentração de levedura; T (°C) – temperatura de fermentação;  
AP – aumento proteico

O diagrama de Pareto (Figura 16) mostra as variáveis que mais influenciaram no AP do xiquexique, considerando-se as duas matrizes de planejamento experimental.

Figura 16 - Diagrama de Pareto das variáveis estudadas para a resposta AP do xiquexique (*P. gounellei*).

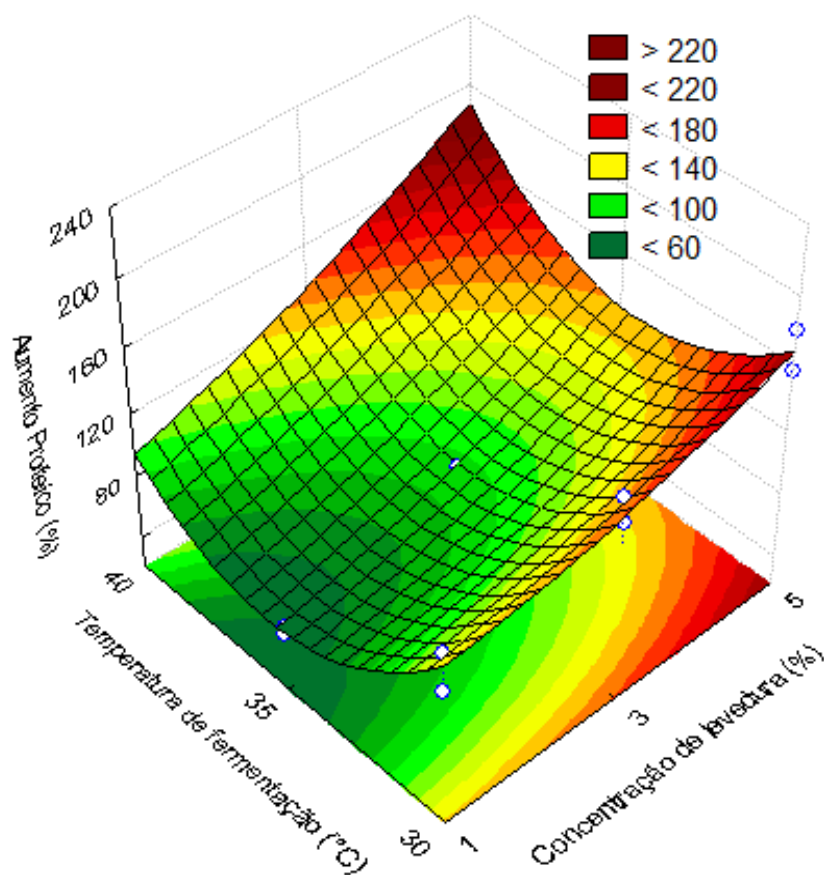


Observa-se que tanto a concentração de levedura quanto a temperatura de fermentação influenciaram o AP do xiquexique, e, semelhante ao que foi observado para o facheiro a CL foi a variável que mais influenciou. Foi realizada uma análise de regressão para se obter os coeficientes dos modelos, levando em consideração que um valor de probabilidade de 95% de confiança é satisfatório ( $p < 0,05$ ). Na equação do modelo empírico os coeficientes que tiveram efeitos significativos na resposta, ao nível de 95% de confiança, são mostrados em negrito;

$$AP = \mathbf{84,19} + \mathbf{35,19 CL} + 7,75 CL^2 - 1,62 T + \mathbf{51,01 T^2} + \mathbf{12,13 CL T}$$

O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido após o ajuste foi 0,96 (com o modelo de interação linear), indicando que os resultados foram explicados pela equação empírica proposta com 96 % da variabilidade dos dados. A superfície de resposta é mostrada na Figura 17, definindo as regiões de interesse e relacionando as variáveis independentes com a resposta, após o processo. Verifica-se que tanto a concentração de levedura quanto a temperatura apresentaram influência positiva, ou seja, ao passarem do nível inferior (-1) para o nível superior (+1), acarretaram um aumento na porcentagem de AP. Os maiores AP ocorreram com as maiores concentrações de inóculo nas maiores temperaturas de fermentação.

Figura 17 - Superfície de resposta das variáveis estudadas para a resposta AP do xiquexique (*P. gounellei*).



Os resultados da ANOVA são apresentados na tabela 24 para os teores de AP do xiquexique.

Tabela 24 - Resultado da ANOVA para AP do xiquexique (*P. gounellei*).

ANOVA $R^2 = 0,96$					
Fator	SQ	gl	MQ	F	p
(1) CL (%) L	14860,03	1	14860,03	155,3446	0,000000
CL (%) Q	240,35	1	240,35	2,5126	0,138923
(2) T (°C) L	31,43	1	31,43	0,3285	0,577101
T (°C) Q	10408,76	1	10408,76	108,8117	0,000000
1L por 2 L	1177,58	1	1177,58	12,3103	0,004313
Erro	11,47,90	12	95,66		
Total SS	27866,06	17			

Observa-se que apenas as variáveis concentração de levedura linear e temperatura ao quadrado, assim como a interação linear entre as duas variáveis apresentaram valores de p menores que 0,05.

## 6 CONCLUSÕES

As duas cactáceas estudadas apresentaram elevadas porcentagens de proteína bruta, após o enriquecimento proteico, que possibilita o seu uso como forrageiras, sendo observado uma maior porcentagem de proteína bruta no facheiro (19,05%). No xiquexique, o maior teor de proteína bruta foi de 16,50%.

Apesar da maior porcentagem de proteína bruta do facheiro, o xiquexique apresentou o maior aumento proteico, ao ser feita uma correlação com teor de proteína bruta inicial das duas cactáceas.

O facheiro apresentou o maior aumento proteico quando as amostras foram submetidas a 30°C (128,97%) e 5% de concentração de inóculo.

Tanto a temperatura de fermentação quanto a concentração de levedura influenciaram no aumento proteico do facheiro, sendo que a concentração de levedura foi a variável que mais influenciou. O modelo obtido para esta resposta foi significativo, apresentando coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,87.

No xiquexique o maior aumento proteico (181,57%) foi obtido com 40°C e 5% de concentração de inóculo.

Para o xiquexique, tanto a concentração de levedura quanto a temperatura influenciaram o aumento proteico e, semelhante ao que foi observado para o facheiro a concentração de levedura foi a variável que mais influenciou. O coeficiente de correlação ( $R^2$ ) obtido para o modelo após o ajuste foi 0,96.

## REFERÊNCIAS

ABUD, H. F. et al. Germinação e expressão morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 468-474, jul/set. 2010.

ABUD, H. F. et al. Germination and morphological characterization of the fruits, seeds, and seedlings of *Pilosocereus gounellei*. **Brazilian Journal of Botany**, v. 35, n.1, p. 11-16, 2012.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). **Meteorologia: chuvas, monitoramento mensal**, Paraíba, 2015. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em: mar. 2015.

ALCÂNTARA, S. R. **Produção de pectinases por fermentação semissólida com bagaço do pedúnculo do caju**: influência da atividade de água e fonte de nitrogênio. 2008. 127 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2008.

ALMEIDA, C. F. CBR et al. Medicinal plants popularly used in the Xingó region – a semiarid location in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 2, n. 15, p. 1-7, 2006. Disponível em: <<http://www.ethnobiomed.com/content/2/1/15>> Acesso em: 27 mar. 2015.

ALMEIDA, C. A. et al. Características físicas e químicas da polpa de xiquexique. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 440-443, out. 2007. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

ARAÚJO, L.F. et. al. Enriquecimento proteico da palma forrageira com *Saccharomyces cerevisiae* para alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 2, p. 401-407, fev. 2008.

ARAÚJO, L.F. et. al. Bioconversão do mandacaru sem espinhos (*Cereus jamacaru*) em alimento alternativo para ruminantes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 53-57, fev. 2009, a.

ARAÚJO, L.F. et. al. Enriquecimento proteico de alimentos por levedura em fermentação semissólida: alternativa na alimentação animal. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 3, n. 3, p. 47- 53, set. 2009, b.



ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE**, v. 5, n. 5, p. 89-98, dez. 2011.

BARBOSA, A. S. et al. Caracterização físico-química do xiquexique encontrado no semiárido nordestino. In: I CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA, 1, 2007, Natal. **Anais eletrônicos...**Natal: UFRN, 2007. Disponível em: <[http://annq.org/congresso2007/trabalhos\\_apresentados.php](http://annq.org/congresso2007/trabalhos_apresentados.php)>. Acesso em: 10 mar. de 2015.

BARBOSA, M. C. F.; VALE, R. C.; DETONI, C. E. Estudo exploratório da composição química dos cladódios da cactácea *Brasiliopuntia brasiliensis* A. Berger. **Cadernos de Geociências**, v. 11, n. 1/2, p. 114-120, 2014. Disponível em: <[www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br](http://www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BARROS NETO, B. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4 ed. Porto alegre: Bookman, 2010.

BASTOS, R. G. **Tecnologia das Fermentações: fundamentos de bioprocessos**. 162 p. (Coleção UAB-UFSCar), EDUFSCar, São Carlos, 2010.

CAMPOS et al. Enriquecimento proteico do bagaço do pendúnculo de caju por cultivo semi-sólido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, 2005.

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

CARVALHO et al. Suplementação de bovinos em sistema de pastejo: aspectos relacionados à forragem e ao uso de fontes alternativas de energia para suplementos múltiplos. **UNICIÊNCIAS**, v. 14, n. 2, p. 241-270, 2010.

CASCIATORI, F. P. et. al. Structural properties of beds packed with agroindustrial solid by-products applicable for solid-state fermentation: Experimental data and effects on process performance. **Chemical Engineering Journal**, v. 255, p.214-224, 2014.

CASCIATORI, F. P. et. al. Hygroscopic properties of solid agro-industrial by-products used in solid-state fermentation. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p. 114-123, 2015.

CAVALCANTE, A.C.R.; CÂNDIDO, M.J.D. **Alternativas para aumentar a disponibilidade de alimentos nos sistemas de produção a pasto na região Nordeste**. Embrapa Caprinos, 31 p. (Documentos 47), 2003.

CAVALCANTE, A.; TELES, M.; MACHADO, M. **Cactos do semiárido do Brasil: Guia Ilustrado**. Campina Grande: INSA, 2013. 103p.

CORREIA, R.; MAGALHÃES, M; MACÊDO, G. Protein enrichment of pineapple with *Saccharomyces cerevisiae* by solid state bioprocessing. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 66, p. 259-262, mar. 2007.

COSTA, J. K. S. **Cactaceae Juss. no Horto Florestal Olho d'água da Bica, Cuité-PB**. 2011. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2011.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. Wm. **Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada**. Porto Alegre, Artmed, 2011.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed., Porto Alegre: Artmed, 2010.

DIAS, H. L. C. **Valor nutritivo das paisagens tropicais**, 1997. Disponível em:< <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/valornutritivopastagenstropicais.pdf>> Acesso em: 10 set. 2014.

FILHO, A. B. M.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química de Alimentos**. Recife: UFRPE, 2011.

GERMANO, R. H et al. Avaliação da composição química e mineral de cactáceas no semiárido paraibano. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 20, n. 1, p. 51-57, 1999.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>> Acesso em: jan. 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. Coordenadores: Odair Zenebon; Neus Sadoco Pascuet & Pablo Tigea. São Paulo, Ed. 4, 1ª Edição Digital, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=250510>> Acesso em: jan. 2015.

LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 149f. 2006. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

LISBOA, M. et al. Uso da palma forrageira na alimentação de pequenos ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, Bahia, Artigo 259, v. 11, n. 4, p. 3538-3546, 2014. Disponível em: < [www.nutritime.com.br](http://www.nutritime.com.br)>. Acesso em: 20 fev. 2015.

LUCENA, C. M. et al. Uso e conhecimento de cactáceas no Município de São Mamede (Paraíba, Nordeste do Brasil). **Revista de Biologia e Farmácia (BIOFAR)**, volume especial, p. 121-134, 2012. Disponível em: < <http://sites.uepb.edu.br/biofar/v-especial-2012/>>. Acesso em: 28 mar. 2015.

LUCENA, C. M. et al. Use and Knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 9, n. 62, p. 1-11, 2013.

MALTA, L. H. **Estudos de parâmetros de propagação de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) para produção de cachaça de alambique**. 2006. 70f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência de alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006.

MELO, J. L. S. et al. Avaliação da influência da concentração de inóculo no enriquecimento proteico da palma forrageira para alimentação animal. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO (V CONNEPI), 5., 2010, Maceió. **Anais eletrônicos...**Maceió: IFAL, 2010. Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/anais>>. Acesso em: 2 fev. 2015.

MENDONÇA JUNIOR, A. F. et al. Minerais: importância de uso na dieta de ruminantes. **Agropecuária Científica no Semi-árido (ACSA)**, v. 7, n. 1, p. 1-3, jan/mar 2011.

MONTEIRO, E. R. et al. Genetic diversity and structure of populations in *Pilosocereus gounellei* (F. A. C. Weber ex. K. Schum.) (Cactaceae) in the Caatinga biome as revealed by heterologous microsatellite primers. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 58, p. 7-12, 2012.

MORAIS, M. R. **Estudo sobre interações entre leveduras *Saccharomyces cerevisiae* nas fermentações em batelada alimentada em altas temperaturas.** 2013. 134 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2013.

NASCIMENTO, V. T. et. al. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2112-1119, 2011.

OLIVEIRA, M. M. **Enriquecimento nutricional por bioconversão de resíduos agroindustriais para utilização na alimentação animal.** 2007. 149f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

OLIVEIRA, A. S. C. et al. A palma forrageira: alternativa para o semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Grupo Verde de Agricultura Alternativa**, Mossoró, v. 6, n. 3, p. 49-58, 2011.

OLIVEIRA, L. J. **Bioensaios de *Pilosocereus gounellei* (Weber) Byles & Rowley (Parâmetros fitoquímicos, toxicológicos, microbiológicos, hematológicos e bioquímicos).** 2011. 89 f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2011.

OLIVEIRA, J. B. **Enriquecimento proteico do facheiro por fermentação semissólida.** 2014. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2014.

PANDEY, A. Solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n. 2-3, p. 81-84, 2003.

PIERCE, B. A. **Genética: um enfoque conceitual.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

POLIDORO, T. A. **Desenvolvimento de biorreator de tambor rotativo em escala de bancada.** 2009. 86f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia) - Universidade de Caxias do Sul, Petrópolis, Caxias do Sul, 2009.

POLYORACH, S.; WANAPAT, M.; WANAPAT, S. Enrichment of protein content in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) by supplementing with yeast for use as animal feed. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 2, p. 142-149, 2013. Disponível em: <www.ejfa.info>. Acesso em: 20 fev. 2015.

PONTES, C.R. **Enriquecimento proteico do bagaço de caju através de fermentação semissólida utilizando *Aspergillus niger***. 2009. 72f. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

RUQAYYAH, T. I. D. et al. Application of response surface methodology for protein enrichment of cassava peel as animal feed by White-rot fungus *Panus tigrinus* M609RQY. **Food Hydrocolloids**, v. 42, p. 298-303, 2014.

SALEM, H. B.; SMITH, T. Feed strategies to increase small ruminant production in dry environments. **Small Ruminant Research**, v. 77, n. 2-3, p. 174-194, 2008.

SILVA, A. S. et al. Avaliação da composição físico-química da coroa-de-frade. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, 2005. Disponível em: <[www.educp.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/coroadefrade](http://www.educp.uepb.edu.br/rbct/sumarios/pdf/coroadefrade)>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SILVA, A. O. et al. Caracterização físico-química da polpa e casca de fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru*). In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1, 2012, Paraíba. **Anais eletrônicos...**Paraíba: UEPB, 2012. Disponível em: <[www.editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster-761.pdf](http://www.editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster-761.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2015.

SILVA, J.G.M. et al. **Xiquexique e mandacaru na alimentação animal**. EMPARN, 32p, (Documentos 44), 2013.

SINGHANIA, R. R. et al. Recent advances in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 44, p. 13-18, 2009.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira**, baseado em APG II, 2. ed., Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

TAYLOR, N. et al. Cactaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, a. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1669>> Acesso em: 26 Mar. 2015

TAYLOR, N. et al. Cactaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, b. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1670>> Acesso em: 26 Mar. 2015

TAYLOR, N. et al. Cactaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, c. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1664>> Acesso em: 26 Mar. 2015

TAYLOR, N. et al. Cactaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, d. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1665>> Acesso em: 26 Mar. 2015

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. Boletim Técnico N° 5. 2. ed., Porto Alegre, 1995.

TROPICOS.ORG. MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2015. Disponível em: <<http://www.tropicos.org>>. Acesso em 26 mar. 2015.

VENDRUSCOLO, F. **Cultivo em meio sólido e submerso do bagaço de maçã por *Gongronella butleri* e avaliação do seu potencial biotecnológico**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

ZAPPI et al. **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade: Série Espécies Ameaçadas n° 24, 112 p, Brasília, 2011.