

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones de  
*Pennisetum* sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco**

**MÁRCIO VIEIRA DA CUNHA**

RECIFE-PE  
2008

**MÁRCIO VIEIRA DA CUNHA**

**Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones de  
*Pennisetum* sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, do sub-programa da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia (Área de concentração: Forragicultura)

**Orientador:** Prof.º Mário de Andrade Lira

**Conselheiros:** Prof.<sup>a</sup> Mércia Virginia Ferreira dos Santos  
Prof.º José Carlos Batista Dubeux Jr.

RECIFE-PE

2008

Ficha catalográfica  
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

C972u Cunha, Márcio Vieira da  
Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones  
de *Pennisetum* sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco /  
Márcio Vieira da Cunha. -- 2008.  
90 f. : il.

Orientador: Mário de Andrade Lira.  
Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal  
Rural de Pernambuco. Departamento de Zootecnia.  
Inclui referências.

CDD 633.2

1. Capim elefante
2. Milheto
3. Correlação canônica
4. Análise de trilha
5. Adaptabilidade
6. Estabilidade
7. Híbrido
- I. Lira, Mário de Andrade
- II. Título

**Utilização de parâmetros genéticos na seleção de clones de  
*Pennisetum* sp., Zona da Mata Seca de Pernambuco**

**MÁRCIO VIEIRA DA CUNHA**

**Tese defendida em 18 de agosto de 2008 e aprovada pela Banca Examinadora:**

**Orientador:**

---

Mário de Andrade Lira, Ph.D.

**Examinadores:**

---

Guilherme Ferreira da Costa Lima, Ph.D.

---

Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, D.Sc.

---

Mércia Virginia Ferreira dos Santos, D.Sc.

---

Alexandre Carneiro Leão de Mello, D.Sc.

**RECIFE - PE  
AGOSTO/2008**

*A meus pais, Maria de Fátima Vieira da Cunha e Lucas Pereira da Cunha, e as minhas irmãs, Karina Patrícia Vieira da Cunha e Viviane Cristina Vieira da Cunha*

DEDICO

*A Josefa Maria de Oliveira (em memória), minha querida avó, e a Débora Campos Ferreira da Cunha, minha amada esposa.*

OFEREÇO

Sempre que reflito sobre a belíssima ordem que observamos no mundo, como cada coisa se origina de outra, sinto-me como se estivesse lendo um texto divino, escrito não com letras, mas objetos, que dissesse: “Homem, amplia tua razão para que possas compreender”.

*Johannes Kepler*

## **AGRADECIMENTOS**

Para mim, este trabalho representa muito mais que uma tese, representa o término de uma fase de dedicação, perseverança e muitos estudos. Porém, não esqueço que também é o início de outra fase, de dedicação, perseverança, estudos... Eu mesmo perdi as contas de quantas vezes achei que não conseguiria. No entanto, de uma coisa eu tenho certeza: eu não teria conseguido sozinho. Assim, gostaria de fazer alguns agradecimentos.

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, não somente por esta obra, mas também pelas graças de haver conseguido terminar mais esta fase da vida. “Bendize, ó minha alma, ao Senhor, e tudo que há em mim bendiga o Seu santo nome” (Salmo 103:1). Graças te dou Senhor por tudo!

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realizar este curso de doutorado e por toda formação acadêmica. Agradeço a todos os colegas da pós-graduação, em especial a turma da Forragicultura, pelo apoio e incentivo. Agradeço também a Kalina, estudante da graduação em Zootecnia, pela laboriosa ajuda na condução deste trabalho. Não posso

deixar de agradecer também a Banca Examinadora desta tese, pela correção e sugestões que colaboraram para enriquecer este trabalho.

Durante estes quase dez anos de UFRPE, muitos professores foram marcantes. Também foi lá que conheci muita gente e encontrei muitos amigos. Não vou citar nomes, pois poderei ser injusto ao me esquecer de alguém. Uma vez escutei alguém dizer que ninguém passa por nós em vão, deixa um pouco de si, leva um pouco de nós. Este é meu sentimento em relação a todos estes anos de “Rural”.

Ao Instituto Agronômico de Pernambuco por viabilizar e permitir, mesmo de forma indireta, a concretização do curso de Doutorado. Gostaria de agradecer especialmente algumas pessoas que, por ocupar cargos de chefia, poderiam ter se oposto a realização deste trabalho. Porém, todos, com muita compressão, facilitaram de alguma forma esta caminhada. Agradeço a Dr. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, Dr. Antônio Félix da Costa, Clécio Queiroz e Adilson Barbosa. Também gostaria de agradecer aos supervisores da Estação Experimental de Itambé e de São Bento do Una, Aluísio Low e Rômulo dos Santos, respectivamente. A Rômulo reitero o agradecimento pela grande colaboração recebida na fase final do doutorado.

Aos meus amigos do IPA: Gladston, Djalma, Orlando, Conceição, Guido, Júlio, Clécio e Antônio. Vocês também foram importantes nesta jornada. Gostaria também de fazer um agradecimento especial ao amigo que já não se encontra mais entre nós: Glécio Gildo Carneiro. “É tão estranho, os bons morrem jovens, assim parece ser quando me lembro de você, que acabou indo embora cedo demais” (Renato Russo). Este é o primeiro sentimento que me vem à mente quando penso em você, Glécio. Muito obrigado por todo apoio. Que Deus o tenha!

Gostaria de agradecer de maneira especial a alguns professores que foram fundamentais na minha formação acadêmica e na concretização desta obra. Ao



professor Mário de Andrade Lira, que foi muito mais que um orientador. Não tenho palavras para expressar o quanto aprendo com o Senhor. Obrigado pela filosofia, pelos conselhos e por me apoiar de várias formas (im)possíveis. A professora Mércia Virginia Ferreira dos Santos, uma verdadeira conselheira e incentivadora. Quando crescer quero ser como a Senhora. Ao professor José Carlos Batista Dubeux Jr., meu primeiro e eterno orientador na vida científica, como já havia dito em outras oportunidades. Saiba que tenho grande respeito e admiração pelo Senhor. Ao professor Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pelo apoio, ensinamentos e por sempre me atender com muita boa vontade. Ainda pretendo aprender muito com o Senhor. Ao professor Alexandre Carneiro Leão de Mello, pelo grande apoio e colaboração na execução deste trabalho. A todos vocês gostaria de também dedicar-lhes esta tese. Minha eterna gratidão.

Ao meu velho amigo e novo doutor, Erinaldo Viana de Freitas, pelos conselhos, apoio e por participar ativamente da condução desta tese. Tenho certeza que se não fosse sua colaboração, as coisas seriam muito mais difíceis. Muito obrigado amigo!

Ao meu sogro e sogra, Clóvis Jacinto Ferreira e Alda Campos, por me receberem de braços abertos em sua família e por todo apoio, conselhos e orações. Também um agradecimento especial aos meus cunhados Daniele e Douglas, e a Daniela de Moura, minha co-cunhada. Obrigado por tudo.

Aos meus pais, Maria de Fátima Vieira da Cunha e Lucas Pereira da Cunha, bem como às minhas irmãs, Karina Patrícia Vieira da Cunha e Viviane Cristina Vieira da Cunha, gostaria de agradecer-lhes de maneira especial. Agradeço pelo incentivo, apoio e por serem meu barco seguro neste mar da vida, que às vezes é tão turbulento. Agradeço a Deus por todos vocês. Agradeço também aos meus cunhados, Ernesto e Marcelo.

A minha querida e amada avô, Josefa Maria de Oliveira. Gostaria muito que a Senhora estivesse ainda entre nós para comemorarmos juntos. Sei que a Senhora sempre me apoiou e suas orações sempre estarão presentes na minha vida.

Por fim, gostaria de agradecer a Débora Campos Ferreira da Cunha, minha esposa. Sei o quanto sou feliz por encontrar, na mesma pessoa, alguém cuja coragem, senso de humor e a maneira como encara este nosso mundo eu admiro tanto; e que também é o amor da minha vida. Muito obrigado por me fazer tão feliz.

## **BIOGRAFIA**

MÁRCIO VIEIRA DA CUNHA, filho de Lucas Pereira da Cunha e de Maria de Fátima Vieira da Cunha, nasceu em Recife, Pernambuco, Brasil, no dia 04 de setembro de 1979. Em dezembro de 2003 concluiu a graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica por três anos e também monitor no último semestre. Após o término da graduação, em março de 2004 ingressou no mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia na UFRPE, na área de concentração em Forragicultura, e concluiu em fevereiro de 2006. Ainda no final do ano de 2005, assumiu como professor substituto na UFRPE as disciplinas Forragicultura I e II. Nesta mesma época também foi selecionado para o curso de Doutorado em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura, no Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, formado pela UFRPE e as Universidades Federal da Paraíba e do Ceará. Ingressou no Doutorado em março de 2006. Em meados de 2006, selecionado por meio de concurso público, ingressou no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) como Pesquisador na área de Forragicultura. Concluiu o curso de Doutorado em 18 de agosto de 2008.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xv
<b>RESUMO</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	20
<b>1.0 CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	23
<b>1.1 Histórico do capim-elefante</b> .....	24
<b>1.2 Melhoramento genético do capim-elefante</b> .....	25
1.2.1 Citogenética e sistema reprodutivo.....	25
1.2.2 Caracterização do germoplasma e diversidade genética.....	28
1.2.3 Estratégias no melhoramento do capim-elefante.....	33
<b>1.3 O melhoramento do capim-elefante no IPA/UFRPE</b> .....	39
<b>1.4 Referências Bibliográficas</b> .....	41

<b>2.0 CAPÍTULO II - Relacionamento entre características morfológicas e produtivas e suas implicações na seleção de clones de <i>Pennisetum</i> sp.....</b>	<b>47</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>48</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>50</b>
<b>2.2 Material e Métodos.....</b>	<b>52</b>
<b>2.3 Resultados e Discussão.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4 Conclusões.....</b>	<b>65</b>
<b>2.5 Referências Bibliográficas.....</b>	<b>66</b>
<b>3.0 CAPÍTULO III - Adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem e suas implicações sobre a seleção de clones de <i>Pennisetum</i> sp para a Zona da Mata de Pernambuco.....</b>	<b>68</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>69</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>71</b>
<b>3.2 Material e Métodos.....</b>	<b>73</b>
<b>3.3 Resultados e Discussão.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4 Conclusões.....</b>	<b>88</b>
<b>3.5 Referências Bibliográficas.....</b>	<b>89</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabelas</b>	<b>Página</b>
1 - Médias e parâmetros genéticos de caracteres produtivos e morfológicos de clones de <i>Pennisetum</i> sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco.....	56
2 - Coeficientes de correlação genotípica de oito clones de <i>Pennisetum</i> sp. para características produtivas e morfológicas.....	59
3 - Coeficientes da matriz dos fatores canônicos entre o grupo I e II em clones de <i>Pennisetum</i> sp.....	60

4 -	Desdobramento das correlações genóticas de caracteres de <i>Pennisetum</i> sp. sob corte em efeitos direto e indireto sobre o teor de MS pela análise de trilha.....	62
5 -	Desdobramento das correlações genóticas de caracteres de <i>Pennisetum</i> sp. sob corte em efeitos direto e indireto sobre a produção de MS pela análise de trilha.....	64

### CAPÍTULO III

Tabelas	Página	
1 -	Análise de variância para o caráter produção de forragem, em oito genótipos de <i>Pennisetum</i> sp. e cinco ambientes de corte na Zona da Mata Seca de Pernambuco.....	78
2 -	Produção de forragem (kg de MS/ha/60 dias), índice ambiental e precipitação* por corte em oito clones de <i>Pennisetum</i> sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco.....	79

3 - Estimativa de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidos por diferentes métodos para o caráter produção de forragem (kg de MS/ha/60 dias) em clones de <i>Pennisetum</i> sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco.....	81
4 - Correlações de Spearman entre os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade dos diferentes métodos utilizados.....	82



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO III

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	- Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais que envolvem a produção de forragem (kg de MS/há/60 dias) em oito clones de <i>Pennisetum</i> sp... ..	87

## RESUMO

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), no município de Itambé, Zona da Mata Seca de Pernambuco. Foram avaliados oito clones de *Pennisetum* sp. (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker México MX 6.31, Mott, HV-241, Elefante B e IRI-381). Os objetivos foram: (a) estudar a associação entre características morfológicas e produtivas em clones de *Pennisetum* sp.; (b) identificar características morfológicas responsáveis pela produtividade em clones de *Pennisetum* sp. e (c) estudar a interação genótipo x ambiente sobre a produção de forragem por meio de diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade com vistas a seleção de clones de *Pennisetum* sp. para a Zona da Mata Seca de Pernambuco. Foram avaliadas as correlações canônicas e análise de trilha a partir da matriz de correlação genotípicas simples entre características morfológicas e produtivas de oito clones de *Pennisetum* sp. As metodologias utilizadas para o estudo da adaptabilidade e estabilidade foram as de Eberhart e Russel, Wricke, Lins e Binns e o método baseado em componentes principais/centróide. As correlações canônicas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. O primeiro par de fatores canônicos, com correlação de 1,1379, associou plantas com maior teor de MS a plantas com menores IAF, interceptação luminosa e ângulo foliar. O segundo par de fatores canônicos, com correlação de 1,0400, associou plantas com maior produção de MS a plantas com maior densidade de perfilhos basais, altura, e

menor número de folhas verdes por perfilho. Os resultados da análise de trilha mostraram que a interceptação luminosa foi determinante na expressão do teor de MS de clones de *Pennisetum* sp., enquanto que a densidade de perfilhos basais e altura da planta foram responsáveis pela produção de MS nestes clones. A produção de forragem foi influenciada ( $P < 0,05$ ) pela interação clones x cortes. A avaliação de clones de *Pennisetum* sp. por meio das diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem permitiu maior caracterização do desempenho produtivo dos clones e forneceu maior segurança à seleção. O método baseado em componentes principais/centróide permitiu maior discriminação dos clones quanto a adaptabilidade. O clone HV-241, híbrido do *Pennisetum* sp. com o milheto, apesar de apresentar adaptabilidade a ambientes favoráveis, foi o que apresentou menor estabilidade produtiva. Os clones de melhor desempenho quanto a adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem foram o Taiwan A-146 2.37 e o Elefante B, no entanto, o primeiro é indicado para ambientes favoráveis e o último, a ambientes desfavoráveis.

### ABSTRACT

The research was carried out at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the city of Itambé, Forest Dry Zone of Pernambuco. It was evaluated eight clones of *Pennisetum* sp. (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker México MX 6.31, Mott, HV-241, and Elephant B and IRI-381). The objectives were: (a) study the association between morphology and productive traits in *Pennisetum* sp. clones; (b) identify morphological traits responsible for productivity in *Pennisetum* sp. clones and (c) study the genotype x environment interaction under forage yield through different methods of adaptability and stability to selection of *Pennisetum* sp. clones for the Dry Forest Zone of Pernambuco. It was evaluated the canonical correlations and path analysis from the matrix of simple genotypic correlation between morphological and productive traits of the *Pennisetum* sp. clones. The methods used to study the adaptability and stability were Eberhart and Russell, Wricke, Lins and Binns and the method based on the main components / centroid. The canonical correlations were significant at 1% probability by the chi-square test. The first pair of canonical factors, with correlation of 1.1379, it was associated plants with higher dry matter content to plants with lower leaf area index, light interception and leaf angle. The second pair of canonical factors, with correlation of 1.0400, it was associated plants with higher dry matter yield to plants with greater basal tillers density and height, and fewer green leaves per tiller. The results of the path

analysis showed that the light interception was decisive in the expression of the dry matter content of *Pennisetum* sp. clones, while the basal tillers density and plant height were responsible for the dry matter yield of these clones. The forage yield was influenced ( $P < 0.05$ ) by the interaction clones x cuts. The evaluation of *Pennisetum* sp. clones through different methods of adaptability and stability of the forage yield has increased characterization of the productive performance of clones and provided greater security to the selection. The method based on the main components / centroid allowed greater discrimination on the adaptability of clones. The clone HV-241, despite to the adaptability of the favorable environments, presented less productive stability. The clones of better performance as the adaptability and stability of the forage yield were the Taiwan-146 2.37 and Elephant B, however, is indicated for the first favorable environments and for the second unfavorable environments.

## INTRODUÇÃO GERAL

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) é uma das gramíneas forrageiras mais utilizadas no Brasil. Pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae e tribo Paniceae (Xavier et al., 1995). Ao longo dos anos, o capim-elefante vem despertando interesse em pesquisadores e produtores motivados pelo seu porte e alto potencial produtivo, superior a qualquer outra gramínea tropical.

O capim-elefante encontra-se distribuído pelos diferentes regiões brasileiras, utilizado tanto sob corte quanto sob pastejo. O melhoramento genético do capim-elefante é relativamente recente. Contudo, alguns progressos já foram alcançados como a obtenção de genótipos para utilização sob pastejo e propagação por meio de sementes. Porém, ainda há muitos desafios, dentre os quais se citam: resistência a pragas e

doenças, como cigarrinha e helmintosporiose, produção de biomassa para fins energéticos, elevação do teor de matéria seca com vistas à ensilagem.

Vale salientar que uma das principais estratégias usadas no melhoramento do capim-elefante é a hibridação com o milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. A hibridação interespecífica do capim-elefante com o milheto é uma estratégia usada no melhoramento do capim-elefante visando ao aproveitamento da rusticidade e qualidade do milheto.

O atual estágio de melhoramento genético das forrageiras tropicais é bem inferior aquele alcançado pelas forrageiras de clima temperado, tais como a alfafa. Por outro lado, este fato vislumbra a possibilidade de ganhos em produtividade e qualidade das nossas forrageiras por meio do melhoramento genético, podendo atingir o mesmo nível do milho e da soja nacionais.

Por ser uma espécie que apresenta alta variabilidade no seu germoplasma, existe a possibilidade de selecionar genótipos de capim-elefante com características desejáveis. Contudo, o conhecimento desta variabilidade, que se reflete principalmente nas características morfológicas, é de suma importância na condução de programas de melhoramento genético da espécie.

De acordo com Kölliker et al. (1999), o padrão da variabilidade genética existente dentro do germoplasma influencia substancialmente a escolha de genótipos e com isso o sucesso do programa de melhoramento. Com isto é possível proporcionar aos agricultores cultivares adequados para diferentes sistemas de utilização e ambientes.

Outro desafio importante inerente a variabilidade existente é a recomendação de cultivares. O Brasil é um país com dimensões continentais e apresenta um verdadeiro mosaico de climas e ambientes. Isto tem levado programas de melhoramento genético

do capim-elefante ao interesse de selecionar genótipos que apresentem adaptação a regiões específicas. Neste caso, o estudo da interação genótipo x ambiente assume grande importância.

Neste sentido, os objetivos desta tese foram:

(a) estudar a associação entre características morfológicas e produtivas em clones de *Pennisetum* sp.;

(b) identificar características morfológicas responsáveis pela produtividade em clones de *Pennisetum* sp. que orientem a seleção de genótipos desta forrageira;

(c) estudar a interação genótipo x ambiente sobre a produção de forragem por meio de diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade e, por meio destas metodologias, selecionar clones de *Pennisetum* sp. para a Zona da Mata Seca de Pernambuco.



## **1.0 CAPÍTULO I**

### **REVISÃO DE LITERATURA**

## Revisão de literatura

### 1.1 Histórico do capim-elefante

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumacher) é nativo da África Tropical, onde ocorre principalmente nos leitos dos rios, em áreas com pluviosidade acima de 1000 mm anuais, mas também pode está presente em áreas extensas das secas savanas africanas (Bogdan, 1977).

De acordo com Boonman (1993), a história do capim-elefante é relativamente recente. A primeira nota publicada sobre o valor forrageiro desta gramínea foi anterior a 1905 após um missionário húngaro em Barume, antigo Noroeste da Rodésia, ter enviado material vegetativo desta espécie para o Zurich Botanical Gardens, na Suíça. Após o reconhecimento como valiosa forragem, o Coronel Napier de Bulawayo, Zimbabwe, recomendou o capim-elefante como espécie forrageira ao Departamento de Agricultura da Rodésia (Gonçales & Menezes, 1982). A partir daí a espécie foi introduzida na maior parte dos países do trópico úmido (Bodgan, 1977; Brunken, 1977).

Segundo Burton (1944), sua introdução no continente americano ocorreu primeiramente pelos Estados Unidos, por volta de 1913. No início, a susceptibilidade a helmintosporiose, bem como estandes e produções pobres, fizeram com que os produtores perdessem o interesse em cultivá-lo. Posteriormente, o desenvolvimento de um manejo adequado e de variedades resistentes a helmintosporiose propiciou sua adoção definitiva pelos produtores.

No Brasil, o capim-elefante foi introduzido em torno de 1920, por meio de mudas de duas variedades provenientes de Cuba para o estado de São Paulo, de onde foi difundido rapidamente para quase todos os estados brasileiros (Veiga et al., 1985). De acordo com Araújo (1935), a Estação de Agrostologia de São Paulo denominou estes genótipos de A e B, sendo a primeira mais tenra e produtiva. A variedade A referia-se a cultivar Napier e a B, a cultivar Mercker (Otero, 1961). Segundo este último autor, a cultivar Napier também era mais palatável e succulenta e apresentava maior altura, colmos mais grossos e folhas mais longas e largas, porém, era mais susceptível a helmintosporiose do que a Mercker.

## 1.2 Melhoramento genético do capim-elefante

### 1.2.1 Citogenética e sistema reprodutivo

A citogenética e o sistema reprodutivo de uma espécie têm efeito marcante na composição genética de suas populações. A complexidade do ciclo celular, incluindo as divisões celulares e a caracterização morfofisiológica e evolutiva dos cromossomos são objetos da citogenética. Segundo Holsinger (2000), o sistema reprodutivo de uma espécie influencia a frequência na qual os gametas se unem para formar o zigoto, assim como a quantidade e distribuição da diversidade genética encontrada na mesma.

O gênero *Pennisetum* é constituído por mais de 140 espécies (Brunken, 1977), dentre as quais se destacam o capim-elefante e o milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. Segundo Techio et al. (2006), as espécies deste gênero possuem diferentes níveis de ploidia, que variam de diplóides a octaplóides, e encontram-se divididas em três

pools gênicos, no qual o milheto e outras espécies integram o pool gênico primário e o capim-elefante, o secundário. O terceiro pool é formado por outras taxas.

O capim-elefante é uma espécie alotetraplóide, com genoma AA'BB e  $2n = 4x = 28$  cromossomos (Hanna, 1999; Techio et al., 2005). Burton (1942) descreveu em seu estudo que oito das nove espécies do gênero *Pennisetum* até então descritas na literatura se ajustavam a número básico de cromossomos de  $x=9$ , entretanto, Muldoon e Pearson (1979) mostraram que  $x=7$  é o número básico de cromossomos deste gênero.

Neste contexto, Martel et al. (2004) verificaram que as características ancestrais do gênero *Pennisetum* são número básico de cromossomos  $x=9$ , cromossomos pequenos, modo apomítico de reprodução e ciclo de vida perene. Segundo os autores, espécies com número básico de cromossomos de  $x=5, 7$  e  $8$  aparecem na maioria dos cladogramas divergentes mais recentes, indicando que a estrutura do genoma no gênero *Pennisetum* pode ter evoluído para um número reduzido de cromossomos com maior tamanho. Os autores afirmam ainda que o capim-elefante e o milheto formam um grupo monofilético com número básico de cromossomos de  $x=7$ , porém, apresentam diferentes tamanhos de cromossomos. Em consonância com os últimos autores, Davide et al. (2007) verificaram que o acesso BAG 55 do Banco Ativo de Germoplasma do capim-elefante da EMBRAPA apresenta número cromossômico somático de  $2n=54$ , se tratando não de uma variedade de capim-elefante, já que o mesmo apresenta  $2n=28$ , mas sim de uma espécie selvagem do gênero *Pennisetum*, provavelmente com  $x=9$ . Manara & Blumenschein (1974) sugerem que a evolução do cariótipo do capim-elefante ocorreu sem grandes ganhos ou perdas de material genético e que as diferenças entre as variedades se devam, principalmente a ocorrência de mutações gênicas ao longo do tempo.

O capim-elefante é uma espécie sexual. Observações citológicas mostraram que a megasporogênese e o desenvolvimento do saco embrionário são tipicamente sexual (Hanna, 1981). Seu sistema reprodutivo é a alogamia e, portanto, apresenta alto nível de heterozigose. A espécie é protogínica, sendo que a taxa de polinização cruzada depende da época de florescimento dos genótipos envolvidos e do arranjo físico das populações. O intervalo médio de tempo decorrido entre o aparecimento dos estigmas e a abertura das primeiras anteras é de aproximadamente sete dias. A variação deste intervalo no mesmo acesso é pequena, entretanto, a variação entre acessos permite classificá-los em precoces, intermediários e tardios, segundo Pereira (1994).

Segundo Holm et al. (1977), a produção de sementes no capim-elefante é inconsistente e as mesmas apresentam baixa viabilidade. Neste sentido, o principal método de propagação do capim-elefante é vegetativo, por meio de colmos, o que leva a um plantio ser formado por clones. Considerando a polinização cruzada, característica da alogamia, as sementes produzidas num determinado plantio são de cruzamentos entre clones e, assim, decorrem de autofecundação. Segundo Pereira et al. (2001), a depressão endogâmica oriunda deste processo seria um dos principais fatores responsáveis pela baixa germinação das sementes e plantas de baixo vigor no capim-elefante propagado por sementes.

Vale salientar que, apesar do capim-elefante apresentar sementes de baixa viabilidade (23 a 36% de germinação), a germinação pode atingir até 90% em alguns genótipos, conforme Xavier et al. (1993). Esta característica pode ser explorada em cruzamentos dirigidos visando à heterose e seleção de genótipos transgressivos, os quais podem ser facilmente mantidos através da propagação vegetativa, característica da espécie. Além disso, os cruzamentos também podem ser bastante úteis para aumentar a

variabilidade genética presente em bancos ativos de germoplasma da espécie, como também permitir agregar num só genótipo características desejáveis existentes em dois ou mais genótipos.

### 1.2.2 Caracterização do germoplasma e diversidade genética

Bancos ativos de germoplasma do capim-elefante são mantidos em vários países do mundo como África do Sul, Brasil, Porto Rico, EUA, Austrália, China, Paquistão e Índia, porém, muito raramente, nomes comuns ou pedigree são usados na identificação (Bhandari et al., 2006). No Brasil, os principais bancos estão na Embrapa Gado de Leite-MG, Universidade Federal de Pelotas-RS, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI) e Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), todos com grande número de acessos em comum (Pereira et al., 2001).

Segundo Kretschemer & Pitman (2001), há cerca de 25 cultivares de capim-elefante e 16 híbridos com milho selecionados para utilização na alimentação animal, dentre estes citam-se Cameroon, Napier, Mercker, Porto Rico, os cultivares de Taiwan, Mott, Mineiro, Roxo de Botucatu, Pusa napier gigante e Bana Grass, estes dois últimos, híbridos com o milho.

O conhecimento da variabilidade genética presente num banco de germoplasma do capim-elefante é fundamental para o melhoramento desta espécie. Assim, o estudo da divergência genética em um banco de germoplasma assume grande importância na identificação de progenitores com características desejáveis, os quais podem ser utilizados em cruzamentos visando a exploração da heterose híbrida. Neste contexto,

marcadores genéticos (morfológicos, bioquímicos e moleculares) têm sido usados no melhoramento do capim-elefante visando principalmente distinguir acessos da espécie e subsidiar estratégias de melhoramento da espécie.

A caracterização morfológica dos organismos corresponde à base de todo e qualquer estudo, uma vez que a primeira determinação de um ser vivo começa pelo seu fenótipo, ou seja, pela sua aparência geral do ponto de vista morfológico (Chies & Longui-Wagner, 2003). Desta forma, tem-se utilizado descritores morfológicos como forma de caracterização e identificação dos diversos clones de capim-elefante (Daher et al., 1997; Shimoya et al., 2002).

Pereira (1993), por meio de caracteres morfológicos e função discriminatória classificaram a variabilidade dentro do germoplasma de capim-elefante, em relação aos tipos básicos, em cinco grupos distintos:

- 1) Grupo Cameroon – touceiras densas, porte ereto, colmos grossos, predominância de perfilhos basais, folhas largas, florescimento tardio ou sem florescimento. Exemplos: Cameroon Piracicaba, Wruckwona, Capim cana D´africa, IAC-Campinas, Venezuela etc.
- 2) Grupo Napier – touceiras abertas, colmos grossos, folhas largas, florescimento intermediário. Exemplos: Napier, Mineiro, Gigante de Pinda, Taiwan A-146 etc.
- 3) Grupo Merker – colmos finos, folhas finas, menores e numerosas, florescimento precoce, porte menor. Exemplos: Merker, Merker comum, Merker pinda, Merkeron etc.
- 4) Grupo anão – porte baixo, de até 1,5m, internódios curtos, elevada relação folha/colmo. Exemplo: Mott.

- 5) Grupo dos híbridos interespecíficos – resultantes de cruzamentos entre capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e o milheto (*P. glaucum* (L.) R. Br.). Florescimento precoce, morfologia e características químicas intermediárias entre os progenitores. São estéreis. Exemplos: Pusa Gigante Napier, Mineiro x 23<sup>A</sup>, Mineiro x 293DA, HV-241, Hexaplóide e Paraíso.

Vale ressaltar que o capim-elefante foi dividido em três subespécies, segundo Maire (1952) citado por Bogdan (1977):

- 1) ssp. *benthamii* (Steud.) Maire e Weiller, caracterizada principalmente por apresentar colmos grossos, nós pilosos e lígulas com parte inferior membranácea e alongada;
- 2) ssp. *purpureum*, com lígulas pequenas e panículas densas;
- 3) spp. *flexisica* (K. Schum.) Maire e Weiller, também com lígulas pequenas e com panículas menos densas.

Neste sentido, as cultivares do grupo Cameroon pertencem à subespécie *benthamii* e as do grupo Mercker a subespécie *flexisica*.

Tcacenco & Botrel (1990) estabeleceram descritores morfológicos para identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. Os autores dividiram estes descritores em duas classes: caracteres reprodutivos e vegetativos. Mais tarde, Lira et al. (2002), baseados nos descritores estabelecidos pelos primeiros autores, os classificaram em descritores relacionados a touceira, ao colmo e as folhas.

Um aspecto importante da avaliação morfológica do capim-elefante é enfatizado por Pereira et al. (2002). Segundo os autores, à medida que a planta vai se tornando adulta, novas características decorrentes das fases do ciclo vegetativo e reprodutivo se expressam fenotipicamente de forma mais consistente, e as alterações apresentadas com



o envelhecimento das plantas são menos significativas. Desta forma, os autores orientam que, quando o interesse for diferenciar genótipos de capim-elefante para utilização num estágio vegetativo mais avançado, a avaliação experimental deverá ser realizada em plantas com idade igual ou superior a 45 dias.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, possui as instruções para execução de ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de capim-elefante. Estas instruções são baseadas em 33 descritores morfológicos os quais envolvem caracteres da planta, das folhas e dos colmos e são utilizadas para fins de patente.

Cavalli (2003) ressaltou que o uso de descritores morfológicos para discriminar acessos vegetais pode ser limitado devido ao fenótipo da planta ser influenciado pela ação do ambiente e por fatores genéticos. Desta forma, os caracteres a serem utilizados devem apresentar variação intercultivar suficientemente alta, serem suficientemente constantes e pouco influenciados pelo ambiente. Assim, a combinação de diferentes tipos de marcadores genéticos na planta pode ser necessária para distinguir de forma acurada acessos dentro de coleções de germoplasma (Steiner & Santos, 2001). Neste sentido, marcadores bioquímicos ou moleculares podem ser bastante úteis. Daher et al. (2002) verificaram que a utilização de marcadores de DNA e de marcadores isoenzimáticos são consistentes para a avaliação da divergência genética entre genótipos de capim-elefante.

Passos et al. (2005) avaliaram a variabilidade genética entre dez cultivares contrastantes de capim-elefante (Cameroon, Vruckwona, Napier, Mercker comum, Teresópolis, Mineiro, Mott, Pioneiro, CNPGL 27-5 e Roxo Anão) via amplificação do DNA pela técnica *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD). As distâncias

genéticas indicaram uma variabilidade genética pouco acentuada, embora os acessos estudados sejam bastante contrastantes em relação à morfologia. Os acessos mais divergentes dos demais foram Cameroon e Vruckwona, e aqueles com menores distâncias genéticas médias dos demais foram Pioneiro e CNPGL 27-5.

Freitas et al. (2000), utilizando isoenzimas, avaliaram sete cultivares de capim-elefante e seus híbridos com milho, selecionados pelo IPA, visando à identificação de acessos. Os autores verificaram que o sistema isoenzimático esterásico foi o mais importante para a caracterização da coleção estudada e que, tecidos de folhas jovens, coletados aos 28 dias de crescimento, permitem a identificação dos acessos de forma rápida e segura.

Bhandari et al. (2006) evidenciaram que alguns acessos com mesmo número de identificação coletados de diferentes bancos ativos de germoplasma tiveram diferentes padrões isoenzimáticos, embora sejam bastante semelhantes sob o critério morfológico. Assim, os autores aconselham que os marcadores bioquímicos podem ser eficientemente utilizados para complementar as avaliações morfológicas e ajudar a manter a pureza e identidade do germoplasma, bem como para adequada conservação e manejo, melhor uso no melhoramento e razões de patente.

Para Pereira (1999), existe um elevado grau de similaridade entre muitos acessos dos diferentes tipos de capim-elefante devido principalmente ao uso reduzido de progenitores e da presença de duplicatas, as quais são resultantes da substituição dos nomes originais por denominações vulgares.

### 1.2.3 Estratégias no melhoramento do capim-elefante

A exploração da variabilidade genética no capim-elefante constitui a principal estratégia no melhoramento desta espécie. Neste sentido, a obtenção de sementes de polinização aberta, de meio-irmãos ou de irmãos germanos, autofecundadas e de linhas puras, assim como por meio da hibridação com o milheto, são estratégias para explorar a variabilidade do capim-elefante. Estas estratégias podem ser subsidiadas pelos diferentes métodos de melhoramento aplicados a esta espécie.

É importante considerar que, além de conhecer a variabilidade, outras informações são necessárias para definir os objetivos de um programa de melhoramento tais como sistemas de produção adotados pelos produtores, potencial produtivo e qualitativo das forrageiras, além dos efeitos da interação genótipo x ambiente.

Outro aspecto importante diz respeito à obtenção de parâmetros genéticos. Tal procedimento é deveras importante, pois permite avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos e manutenção de uma base genética adequada (Cruz & Carneiro, 2006).

Dentre estes fatores, os parâmetros genéticos populacionais denominados herdabilidade e correlação genética entre caracteres são de particular importância para o melhoramento. A herdabilidade diz respeito à proporção relativa das influências genéticas e ambientais na manifestação fenotípica dos caracteres e indica, portanto, o grau de facilidade ou dificuldade para melhorar determinados caracteres. Caracteres com herdabilidade baixa demandarão métodos de seleção mais elaborados do que aqueles com herdabilidade alta (Resende, 2002).

O aproveitamento rápido e eficiente da variabilidade genética é essencial, e os estudos sobre correlações constituem um dos caminhos para se ganhar tempo e reduzir esforços (Cruz, 2005). O estudo das correlações entre os componentes de uma população permite saber se eles são geneticamente dependentes ou independentes, isto é, se tendem ou não em permanecer associados nas progênies durante os sucessivos ciclos de seleção (Fonseca & Patterson, 1968).

Os principais métodos usados no melhoramento do capim-elefante são a introdução de plantas, hibridação e seleção. A introdução de plantas constitui o método mais simples e barato no melhoramento genético de uma espécie, pela rapidez na obtenção dos resultados. Assim, conforme o comportamento do genótipo em questão é possível a multiplicação em massa para distribuição aos produtores, praticar seleção na população original ou ainda utilizá-lo como progenitor em programas de hibridação.

Como já comentado, a história do capim-elefante como planta forrageira teve início a partir de introduções em várias partes do mundo. No Brasil, desde a chegada dos dois primeiros cultivares, Napier e Mercker, algumas instituições de pesquisa como a Embrapa e o IPA promoveram outras introduções com o objetivo de ampliar a base genética da espécie, mas não há registro de coleta em massa nos centros de diversidade genética da espécie, de acordo com Pereira et al. (2001).

Muitos dos acessos introduzidos vieram dos EUA, América Central, África Tropical e da Ásia. Entre os principais cultivares introduzidos, além das duas primeiras introduções, cita-se Roxo, Cameroon, Porto Rico, Cubano, Taiwan A-143, Taiwan-A-144, Taiwan A-146, Anão e Vrukwona. Pereira (1999) comentou que os processos de introdução não foram realizados de forma sistemática ou com a preocupação de ampliar

a base genética da espécie no país, mas sim com o objetivo de conseguir novos cultivares para utilização imediata.

A hibridação atualmente é a principal ferramenta do melhoramento genético do capim-elefante utilizada para ampliar a base genética e aproveitar a heterose. Neste sentido, o melhoramento do capim-elefante pode seguir duas linhas básicas, a primeira através da obtenção de clones, a qual tem sido mais utilizada, e a segunda através do método populacional (Pereira et al., 2001). Por ser uma espécie com alto grau de heterozigose, a hibridação do capim-elefante proporciona a obtenção de progênies com grande variabilidade. A variabilidade genética é a base de toda seleção e no caso do capim-elefante, genótipos com características desejáveis selecionados poderão ser facilmente mantidos por meio da propagação vegetativa, facilitando o aproveitamento da heterose híbrida.

Devido à protoginia no capim-elefante, cruzamentos controlados poderão ser realizados com certa facilidade, seja em campo ou em casa de vegetação. Neste sentido, plantas utilizadas como progenitor feminino têm sua inflorescência protegida no estágio de emborrachamento e, a partir da receptividade dos estigmas, recebem o pólen oriundo das plantas polinizadoras. As inflorescências polinizadas são então novamente protegidas até a colheita das sementes. Para Techio et al. (2006), a eficácia destes cruzamentos, tanto entre variedades e cultivares de uma espécie (intraespecífica) como entre espécies (interespecífica), depende diretamente da viabilidade do pólen e do horário de coleta. Segundo estes autores, acessos de capim-elefante e de milheto apresentam alta viabilidade do grão de pólen (superior a 90%) e o horário de coleta deve ser entre 8h30min e 10h, momento em que as anteras começam a se tornar deiscentes, levando a crer que a viabilidade atinja seu ponto máximo.

A hibridação intra-específica constitui uma das opções para se obter clones superiores, sendo a escolha dos progenitores baseada na complementação alélica e divergência genética (Hanna, 1999). O cultivar Merkeron se constitui num híbrido F1 intraespecífico desenvolvido por Burton (1989) a partir do cruzamento de um genótipo de porte anão, com alta relação folha/colmo, com um genótipo de porte alto. No Brasil, a cultivar Pioneiro foi obtida a partir do cruzamento de dois acessos de capim-elefante selecionados no Banco de Germoplasma da Embrapa e constitui o primeiro material desenvolvido para utilização sob pastejo em lotação rotacionada (Pereira et al., 1997). Outros exemplos são as cultivares de Taiwan e do Congo Belga, além do Mineiro obtido no Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuárias do Centro-Oeste (IPEACO), segundo Pedreira et al. (1975).

Na hibridação interespecífica tem-se utilizado o milheto para transferir características como resistência à seca, rusticidade e qualidade ao capim-elefante. Exemplos de híbridos interespecíficos são as cultivares Bana Grass e o Paraíso. De acordo com Hanna (1999), o capim-elefante é um alotetraplóide ( $2n = 4x = 28$ ), possuindo os genomas A' e B, cujo primeiro é homólogo ao genoma A do milheto ( $2n = 2x = 14$ ), o que facilita a hibridação entre as duas espécies. Burton (1944) comentou que, em 1941, um clone resistente a helmintosporiose foi cruzado com duas linhas  $S_2$  de milheto de maturação tardia utilizando o capim-elefante como planta fêmea. Naquela época foi constatado que os híbridos obtidos eram estéreis, e que possuíam 21 cromossomos, portanto, triploides. Cinco destes híbridos apresentaram valor econômico e foram enviados a vários países. Mais tarde, a disponibilidade do milheto funcional Tift 23<sup>a</sup> macho citoplasmático estéril proporcionou a possibilidade de produzir o híbrido interespecífico comercialmente propagado por semente usando o milheto como planta

fêmea e também acarretou maior aceitação do híbrido pelos produtores (Powell & Burton, 1966).

Estudos citogenéticos do híbrido triplóide entre o capim-elefante e o milheto mostraram que sua esterilidade é resultante de anomalias meióticas e, principalmente, de interações entre os genomas A e A' e A e B (Techio et al., 2006). Jauhar (1968) já havia determinado que embora até nove bivalentes ocorressem no híbrido triplóide, não mais que cinco foram AA' bivalentes. Hanna (1981) verificaram que 99% dos óvulos abortaram resultando em óvulos sem saco embrionário.

A restauração da fertilidade do híbrido pode ser conseguida pela duplicação do conjunto cromossômico pelo uso de colchicina (Hanna, 1981; Hanna e Dujardin, 1986), que produz um híbrido hexaplóide, com meiose regular, progênie com alta frequência de pólen, sementes viáveis de maior tamanho e menor deiscência, quando comparadas às do capim-elefante, viabilizando a propagação deste híbrido via semente.

Abreu et al. (2006) avaliaram métodos de duplicação cromossômica, com uso de diferentes agentes antimitóticos (colchicina e ciclohexamida:8-hidroxiquinoleína) em diversos materiais botânicos como explantes dos híbridos entre capim-elefante e milheto. A colchicina apresentou melhor efeito sobre plântulas, enquanto a ciclohexamida:8-hidroxiquinoleína atuou melhor sobre perfilhos. Observou-se ocorrência de mixoploidia em células que apresentaram de 14 até 42 cromossomos, o que indica que houve duplicação seguida de eliminação cromossômica, confirmada pelas aberrações cromossômicas. Os autores comentaram que com a eliminação parcial de cromossomos é possível gerar novas variedades de híbridos, enquanto a eliminação total de um genoma do híbrido de capim-elefante e milheto pode permitir a formação de

variedades diplóides férteis, que poderão servir de ponte nos cruzamentos com milheto para, futuramente, por meio de retrocruzamentos, introduzir características desejáveis no capim-elefante.

Genótipos superiores também podem ser selecionados entre progênies F2 ou autofecundadas. Este método é especialmente útil quando se seleciona para características reguladas por genes recessivos, tais como os que controlam a altura da planta (Hanna, 1999). Neste sentido, a cultivar Mott, de porte anão, foi selecionada a partir de progênies autofecundadas da cultivar Merkeron (Sollenberger et al., 1989).

Hanna (1999) também comentou que genótipos melhorados podem ser selecionados pela coleta de sementes em polinização aberta com clones superiores, e neste caso, se obtém uma população de meio-irmãos haja vista que a planta pai é desconhecida.

O melhoramento da população é outra estratégia que pode ser utilizada no melhoramento do capim-elefante. O intercruzamento de diferentes acessos do germoplasma do capim-elefante, com características desejáveis, tem por base o aumento da frequência dos genes favoráveis, contribuindo para aumentar a chance de obtenção de uma população geneticamente heterogênea e diferente da população original. Alternativa para este método seria a obtenção de linhagens endogâmicas para produção de híbridos intra e interespecíficos, que também, se constitui num caminho promissor no melhoramento do capim-elefante (Pereira et al., 2001).



### 1.3 O melhoramento do capim-elefante no IPA/UFRPE

O Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) iniciou, na década de sessenta do século passado, um programa de melhoramento genético do capim-elefante e de seus híbridos com milho com vistas a aperfeiçoar a utilização dessa forrageira no estado de Pernambuco, notadamente na Zona da Mata. Mais tarde, por intermédio do acordo entre o IPA e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), a coleção foi ampliada pela introdução de novos genótipos e a geração de outros por meio de hibridações intra-específicas e interespecíficas, notadamente com o milho.

O programa de melhoramento do capim-elefante do IPA/UFRPE segue o esquema proposto por Valle & Souza (1995). Na primeira fase deste esquema um grande número de genótipos (>1000) foi avaliado sob corte para alguns caracteres morfofisiológicos, produtivos e bromatológicos (Barreto et al., 2001; Mello et al., 2002; Silva et al., 2008). Posteriormente, os genótipos selecionados na primeira fase foram reavaliados sob corte, porém com a presença de animais em pastejo (Oliveira, 1999; Freitas et al., 2003, Freitas et al., 2004), a qual correspondeu a segunda fase do referido esquema de melhoramento. Na terceira fase deste programa, não apenas os genótipos selecionados na fase anterior foram avaliados sob pastejo, mas também o desempenho animal sob estes genótipos (Nunes et al., 2006; Cunha et al., 2007a e 2007 b;).

O Programa de Melhoramento Genético do capim-elefante do IPA/UFRPE vem dando ênfase à seleção de genótipos para:

- Utilização sob corte, com alto teor de MS para ensilagem ou associação com a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*);

- Utilização sob pastejo com enfoque sobre o manejo, notadamente altura de pastejo, perfilhamento basal e axilar, produtividade, qualidade e persistência;
- Resistência à seca visando principalmente sobrevivência e persistência no semi-árido de Pernambuco;
- Seleção de clones com adaptação as diferentes regiões ecofisiográficas do Estado de Pernambuco;
- Resistência a doenças foliares, tais como a helmintosporiose.

Vale salientar que devido as hibridações com milho e a seleção de híbridos triplóides e hexaplóides ao longo das fases do Programa, convencionou-se a utilização do termo *Pennisetum* sp. para designar os trabalhos de pesquisa realizados.

#### 1.4 Referências Bibliográficas

- ABREU, J.C.; DAVIDE, L.C.; PEREIRA, A.V. et al. Mixoploidia em híbridos de capim-elefante x milheto tratados com agentes antimetabólicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1629-1635, 2006.
- ARAÚJO, A.A. Dicionário brasileiro de forrageiras para corte. **Chácaras e Quintais**, v.52, n.4, p.35-36, 1935.
- BARRETO, G. P.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. et al. Avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um híbrido com o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) submetidos a estresse hídrico. 1. Parâmetros morfológicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.1-6, 2001.
- BHANDARI, A.P.; SUKANYA, D.H.; RAMESH, C. R. Application of isozyme data in fingerprinting napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) for germplasm management. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.53, n.2, p.253-264, 2006.
- BOGDAN, A.V. The grasses. In: BOGDAN, A.V. (Ed.) **Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes)**. London: Longman. 1977. p.1-301.
- BOONMAN, J.G. **East Africa's grasses and fodders: their ecology and husbandry**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: The Netherlands. 1993. 343p.
- BRUNKEN J. N. A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). **American Journal of Botany**, v.64, n.2, p.161-176, 1977.
- BURTON, G. W. Registration of "Merkeron" napiergrass. **Crop Science**, v.29, n.5, p.1327, 1989.
- BURTON, G. W. A cytological study of some species in the Tribe Paniceae. **American Journal of Botany**, v.29, p.355-361, 1942.
- BURTON, G.W. Hybrids between napier grass and caitail millet. **The Journal of Heredity**, v.35, n.1, p.227-332, 1944.
- CAVALLI, S. S.. Polimorfismo moleculares. In: FREITAS, L. B. E BERED, F. **Genética & Evolução vegetal**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003, p.311-332.
- CHIES, T. T. S. E LONGUI-WAGNER, H. M. Polimorfismo morfológico. In: FREITAS, L. B. E BERED, F. **Genética & Evolução vegetal**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003, p.291-310.
- CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 349p.

- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2ª Ed., Viçosa: UFV, 2006, v.2. 585p.
- CUNHA, M. V.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. et al. Características estruturais e morfológicas de genótipos de *Pennisetum* sp. sob pastejo no período de seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.540-549, 2007a.
- CUNHA, M. V.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. et al. Genótipos de *Pennisetum* sp. sob pastejo no período de seca na zona da mata de Pernambuco: fatores relacionados à eficiência de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.2, p.291-300, 2007b.
- DAHER, R. F.; MORAES, C. F.; CRUZ, C. D. et al. Seleção de caracteres morfológicos discriminantes em capim-elefante *Pennisetum purpureum*, Schum. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.2, p.265-271, 1997.
- DAHER, R. F.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, A.V. et al. Genetic divergence among elephantgrass cultivars assessed by RAPD markers in composit samples. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.623-627, 2002.
- DAVIDE, L.C.; TECHIO, V.H.; NUNES, J.D. et al. Variação cromossômica numérica em *Pennisetum*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.2, p.398-405, 2007.
- FONSECA, S.; PATTERSON, F.L. Yield components heritabilities and interrelationships in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Crop Science**, v.8, n.5, p.614-617, 1968.
- FREITAS, E. V.; LIRA, M. A.; DUBEUX JR., J. C. B. et al. Características produtivas e qualitativas de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) avaliados sob pastejo na Zona da Mata de Pernambuco. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v.26, n.2, p.251-257, 2004.
- FREITAS, N.S.A.; FALCÃO, T.M.M.A.; BURITY, H.A. et al. Caracterização e diversidade genética do capim-elefante e seus híbridos com milho mediante padrões isoenzimáticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1125-1133, 2000.
- FREITAS, V.F.; LIRA, M.A.; DEBUEX JÚNIOR, J.C.B. et al. Caracteres morfo-fisiológicos de clones de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) avaliados sobre pastejo intensivo na Zona da Mata de Pernambuco. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.60, n.2, p.127-138, 2003.
- GONÇALEZ, D. A.; MENEZES, G. **O capim-elefante**. Zootecnia, Nova Odessa. v.20, n.4, 1982. p.229-259.

- HANNA, W.W. Melhoramento do capim-elefante. In: PASSOS, L.P.; CARVALHO, L.A.; MARTINS, C.E et al. (ed). **Biologia e manejo do capim-elefante**. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 1999. p.17-28.
- HANNA, W.W. Method of reproduction in napiergrass and in the 3X and 6X allopoloid hybrids with pearl millet. **Crop Science**, v.21, p.123-126, 1981.
- HANNA, W.W.; DUJARDIN, M. Cytogenetic of *Pennisetum schweinfurthii* Pilger and its hybrids with pearl millet. **Crop Science**, v.26, p.499-553, 1986.
- HOLM, L.G., PLUCKNETT, D.L. ; PANCHO, J.V.; HERBERGER, J.P. **The World's Worst Weeds**. Distribution and Biology. Honolulu: University Press of Hawaii, 1977.609 p.
- HOLSINGER, K.E. Reproductive systems and evolution in vascular plants. **Proceedings of the National academy of Sciences**, v.97, n.13, p.7037-7042, 2000.
- JAUHAR, P.P. Inter- and intra-genomal chromosome pairing in an inter-specific hybrid and its bearing on the basic chromosome number in *Pennisetum*. **Genetica**, v.39, n.1, p.360-370, 1968.
- KÖLLIKER, R.; STADELMANN, F.J.; REIDY, B. et al. Genetic variability of forage grass cultivars: A comparison of *Festuca pratensis* Huds., *Lolium perenne* L., and *Dactylis glomerata* L. **Euphytica**, v.106, n.3, p.261-270, 1999.
- KRETSCHMER, E. A.; PITMAN, W. D. Germplasm resources of tropical forage grasses. In: SOTOMAYOR-RIOS, A.; PITMAN, W. D. **Tropical forage plant: development and use**. Flórida: CRC Press LLC, 2000. p.27-40.
- LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, R.L.C. et al. Avaliação de caracteres morfológicos para identificação de acessos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) na Zona da Mata de Pernambuco. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39, 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. CD-ROOM.
- MANARA, T.F.N.; BLUMENSCHNEIN, A. Citogenética de variedades do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista do Centro de Ciências Rurais**,v.4, n.4 , p.323-352, 1974.
- MARTEL, E.; PONCET, V.; LAMY, F. et al. Chromosome evolution of *Pennisetum* species (Poaceae): implications of ITS phylogeny. **Plant Systematics and Evolution**, v.249, n.3-4, p.139-149, 2004.
- MELLO, A.C.L.; LIRA, M.A.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Caracterização e seleção de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.30-42,2002.

- MULDOON, D.K.; PEARSON, C.J. The hybrid between *Pennisetum americanum* and *Pennisetum purpureum*. **Herbage Abstracts**, v.49, n.5, p.189-199, 1979.
- NUNES, J.C. **Produção de leite, consumo e comportamento animal em pastagens de *Pennisetum* sp., Itambé-PE.** Recife-PE: UFRPE, 2006. 51p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- OLIVEIRA, C.F. **Avaliação sob pastejo de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de seus híbridos com milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) na Zona da Mata de Pernambuco:** Recife, PE: UFRPE, 1999. 111 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- OTERO, J.R. **Informações sobre algumas plantas forrageiras.** 2.ed. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1961. 334p.
- PASSOS, L.P.; MACHADO, M.A.; VIDIGAL, M.C. et al. Molecular characterization of elephantgrass accessions through RAPD markers. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.568-574, 2005.
- PEDREIRA, J.V.S., NUTI, T., CAMPOS, B.E. Competição de cinco variedades de capim elefante. **Boletim de Indústria Animal**, v.32, n.2, p.325-329. 1975.
- PEREIRA, A.V. Estimativa do intervalo de protoginia em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 2, Juiz de Fora, 1994. **Anais...** Juiz de fora: EMBRAPA/CNPGL, 1994. p.12-43.
- PEREIRA, A. V. Germplasma e diversidade genética do capim-elefante. In: PASSOS, L. P.; CARVALHO, L. A.; MARTINS, C. E. et al. (Eds.) **Biologia e manejo do capim-elefante.** Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1999, p.1-16.
- PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B.; FERREIRA, R. P. et al. **Melhoramento de forrageiras tropicais.** In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.449-601.
- PEREIRA, A.V. Escolha de variedade de capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 10, 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1993. p.47-62.
- PEREIRA, A.V.; CRUZ, C.D.; FERREIRA, R.P. et al. Influência da estabilização de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) sobre a estimativa de repetibilidade de características forrageiras. **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.4, p.762-767, 2002.

- PEREIRA, A.V.; MARTINS, C.E.; CRUZ FILHO, A.B. et al. Pioneiro - nova cultivar de capim-elefante para pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.102-104.
- POWELL, J.B.; BURTON, G.W. A suggested commercial method of producing an interspecific hybrid forage in *Pennisetum*. **Crop Science**, v.6, n.1, p.378-379, 1966.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- SHIMOYA, A.; CRUZ, C.D.; FERREIRA, R.P. et al. Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim-elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.7, p.971-980, 2002.
- SILVA, M.C.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. et al. Ensaios preliminares sobre autofecundação e cruzamentos no melhoramento do capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.401-410, 2008.
- SOLLENBERGER, L.E.; G.M. PRINE, W.R.; OCUMPAUGH, W.W. et al. Registration of 'Mott' dwarf elephantgrass. **Crop Science**, v.29, n.3, p.827-828, 1989.
- STEINER, J.J.; SANTOS, G.G. Adaptive Ecology of *Lotus corniculatus* L. genotypes I. Plant Morphology and RAPD Marker Characterizations. **Crop Science** v.41, n.2, p. 552-563, 2001.
- TCACENCO, F.A.; BOTREL, M.A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 1, 1990, Juiz de Fora. **Anais...** Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1990. p.1-22.
- TECHIO, V.H.; DAVIDE, L.C.; PEDROZO, C.A. et al. Viabilidade do grão de pólen de acessos de capim-elefante, milho e híbridos interespecíficos (capim-elefante x milho). **Acta Scientiarum**, Biological Sciences, v.28, n.1, p.7-12, 2006.
- TECHIO, V.H.; DAVIDE, L.C.; PEREIRA, A.V. Genomic analysis in *Pennisetum purpureum* x *P. glaucum* hybrids. **Caryologia**, v.58, n.1, p.28-33, 2005.
- TECHIO, V.H.; DAVIDE, L.C.; PEREIRA, A.V. Meiosis in elephant grass (*Pennisetum purpureum*), pearl millet (*Pennisetum glaucum*) (Poaceae, Poales) and their interspecific hybrids. **Genetics and Molecular Biology**, v.29 n.2, p.353-362, 2006.
- VALLE, C. B.; SOUZA, F. H. D. Construindo novas cultivares de gramíneas forrageiras para os cerrados brasileiros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, p. 3-7, 1995.

VEIGA, J. B.; MOTT, G. D.; RODRIGUES, L. R. A. et al. Capim-elefante Anão sob pastejo. I. Produção de forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.20, n.8, p.929-936, 1985.

XAVIER, D.F.; BOTREL, M.A.; DAHER, R.F. et al. 1995. **Caracterização morfológica de algumas cultivares de capim-elefante**. Coronel Pacheco: EMBRAPA/CNPGL. 24p. (Documentos, n. 60).

XAVIER, D.F.; DAHER, D.F.; BOTREL, M.A. et al. Poder germinativo de sementes de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.4, p.565-571, 1993.



## 2.0 CAPÍTULO II

### ASSOCIAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Pennisetum* sp.

**Associação entre características morfológicas e produtivas na seleção de clones de**  
*Pennisetum* sp.

**RESUMO** - Os objetivos deste trabalho foram: (a) estudar a associação entre características morfológicas e produtivas em clones de *Pennisetum* sp. e (b) identificar características morfológicas responsáveis pela produtividade em clones de *Pennisetum* sp. O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Itambé, Zona da Mata Seca de Pernambuco. Foram avaliadas as correlações canônicas e análise de trilha a partir da matriz de correlação genotípicas simples entre características morfológicas e produtivas de oito clones de *Pennisetum* sp. (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker México MX 6.31, Mott, HV-241, e Elefante B e IRI-381). As correlações canônicas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado. O primeiro par de fatores canônicos, com correlação de 1,1379, associou plantas com maior teor de MS a plantas com menores IAF, interceptação luminosa e ângulo foliar. O segundo par de fatores canônicos, com correlação de 1,0400, associou plantas com maior produção de MS a plantas com maior densidade de perfilhos basais, altura, e menor número de folhas verdes por perfilho. Os resultados da análise de trilha mostraram que a interceptação luminosa foi determinante na expressão do teor de MS de clones de *Pennisetum* sp., enquanto que a densidade de perfilhos basais e altura da planta foram responsáveis pela produção de MS nestes clones.

**Palavras-chave:** análise de trilha, capim-elefante, correlação canônica, milheto, produção de MS, teor de MS.

**Association between morphological and productive traits in the selection of  
*Pennisetum* sp. clones**

**ABSTRACT** - The objectives at this work were: (a) study the association between morphological and productive traits in *Pennisetum* sp. clones, and (b) identify morphological traits responsible for productivity in *Pennisetum* sp. clones. The experiment was carried out at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the city of Itambé, Forest Dry Zone of Pernambuco. It was evaluated the canonical correlations and path analysis from the matrix of simple genotypic correlation between morphological and productive traits of eight *Pennisetum* sp. Clones (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker Mexico MX 6.31, Mott, HV-241, and Elephant B and IRI-381). The canonical correlations were significant at 1% probability by the chi-square test. The first pair of canonical factors, with correlation of 1.1379, was associated plants with higher dry matter content to plants with lower leaf area index, light interception and leaf angle. The second pair of canonical factors, with correlation of 1.0400, it was associated plants with higher dry matter yield to plants with greater basal tillers density and height, and fewer green leaves per tiller. The results of the path analysis showed that the light interception was decisive in the expression of the dry matter content of *Pennisetum* sp. clones, while the basal tillers density and plant height were responsible for the dry matter yield of these clones.

**Key Words:** path analysis, elephant grass, canonical correlation, millet, dry matter yield, dry matter content.

## 2.1 Introdução

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das gramíneas forrageiras mais utilizadas no Brasil. Ao longo dos anos, vem despertando interesse em pesquisadores e produtores motivados pelo seu porte e alto potencial produtivo, superior a qualquer outra gramínea tropical, quando devidamente cultivado e manejado.

Segundo Kretschmer & Pitman (2001), há cerca de 25 cultivares de capim-elefante e 16 híbridos com milho selecionados e cultivados em todo mundo. O germoplasma da espécie é altamente heterozigoto e apresenta grande variabilidade decorrente, em parte, da protoginia que favorece a polinização cruzada. A implicação deste fato é que genótipos de *Pennisetum* sp. (capim-elefante e seus híbridos com milho) podem apresentar características morfológicas e produtivas distintas.

A produtividade de uma planta cultivada está associada a várias características morfológicas. Segundo Floss (2006), os principais ganhos genéticos em cereais obtidos nos últimos anos estão associados à seleção de plantas com menor estatura, folhas curtas, eretas e colmos espessos. Neste sentido, o estudo das relações entre características morfológicas da planta com as produtivas assume grande importância.

O sucesso de um programa de melhoramento fundamenta-se primordialmente na existência de variabilidade genética, que possibilita ao melhorista a seleção e conseqüentemente, a obtenção de materiais genéticos superiores. O aproveitamento rápido e eficiente dessa variabilidade é essencial e os estudos sobre correlações constituem um dos caminhos para se ganhar tempo e reduzir esforços (Cruz, 2005).

Segundo Daher et al. (2004), a correlação entre duas variáveis pode ser de natureza fenotípica, genotípica ou ambiental, contudo, somente as correlações

genotípicas envolvem uma associação de natureza herdável, de grande interesse para o melhoramento.

A correlação genotípica é causada, principalmente, pela pleiotropia (Vencovsky & Barriga, 1992), sendo por isso utilizada na orientação da estratégia de melhoramento. Se dois caracteres apresentam correlação genotípica significativa, é possível obter ganhos para um deles por meio da seleção indireta. Em alguns casos, a seleção indireta, com base na resposta correlacionada, pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado (Cruz et al., 2004).

Apesar de ser bastante utilizada, a correlação genotípica simples não permite avaliar de maneira mais detalhada as associações entre caracteres, por isso técnicas como correlação canônica e análise de trilha podem ser ferramentas úteis para ajudar na seleção de genótipos com características desejáveis, bem como para entender a expressão de determinada característica na planta forrageira.

A correlação canônica permite avaliar as inter-relações entre dois grupos de características determinados por um número maior de caracteres de importância forrageira. Assim, é possível estudar as relações entre características morfológicas e produtivas de uma determinada planta, por exemplo. Já a análise de trilha admite desdobrar a correlação simples em seus efeitos diretos e indiretos, ou seja, permite analisar se um terceiro caráter está atuando indiretamente na relação.

Além de conhecer a maneira pela qual as características estão associadas, a manipulação de caracteres quantitativos requer a obtenção de parâmetros genéticos, tais como herdabilidade e coeficiente de variação genética. Tal procedimento é deveras importante, pois permite avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento

para obtenção de ganhos genéticos e manutenção de uma base genética adequada (Cruz & Carneiro, 2006).

Este trabalho teve como objetivos: (a) estudar a associação entre características morfológicas e produtivas em clones de *Pennisetum* sp. e (b) identificar características morfológicas responsáveis pela produtividade em clones de *Pennisetum* sp., visando orientar o processo de seleção.

## 2.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Itambé, Zona da Mata Seca de Pernambuco. O município situa-se nas coordenadas geográficas 07°25'00'' de latitude e 35°06'00'' de longitude, numa altitude de 190 metros, com precipitação média anual de 1200 mm e temperatura média anual de 25°C (CPRH, 2003). Os solos-referência para a região de Itambé-PE, segundo Jacomine (2001), classificam-se como Podzólicos Vermelho-Amarelo Tb Distrófico, com horizonte A proeminente de textura média/argilosa, fase floresta tropical sub-caducifólia e relevo suave-ondulado.

Foram avaliados oito genótipos de *Pennisetum* sp. Destes oito, sete são clones de capim-elefante, a saber: cinco de porte baixo (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker México MX 6.31 e Mott) e dois de porte alto (Elefante B, conhecido como Mercker, um dos primeiros genótipos introduzidos no Brasil, e o IRI-381). Além dos clones de capim-elefante, foi avaliado ainda um híbrido de capim-elefante com o milheto (HV-241) de porte médio. Ressalta-se que os clones de capim-elefante de porte alto e o Mott são cultivares recomendadas enquanto os demais clones,

incluindo o híbrido, foram gerados pelo Programa de Melhoramento Genético do capim-elefante do IPA/UFRPE.

O solo da área experimental foi preparado mecanicamente por meio de aração e gradagem. Os genótipos foram implantados em parcelas com área de 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m), com 9 m<sup>2</sup> (3 m x 3 m) de área útil, em quatro blocos, devido a irregularidade do terreno. O plantio ocorreu em sulcos com espaçamento de 1 m, no dia 16 de julho de 2007. Por ocasião do plantio foi realizada adubação potássica e fosfatada numa quantidade/parcela de 16 kg de Cloreto de Potássio e 20 kg de Superfosfato Simples, correspondente a 80 kg de K<sub>2</sub>O e 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, distribuídos uniformemente no sulco.

Foram realizadas quatro colheitas entre setembro de 2007 e maio de 2008, com intervalo de aproximadamente 60 dias. Por ocasião das colheitas foram avaliados os seguintes caracteres:

- a) Índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e ângulo foliar (AF) - Estes caracteres foram estimados de forma indireta utilizando analisador de dossel LI-COR, modelo LAI 2000. Foram feitas três leituras abaixo do dossel posicionando-se o sensor do aparelho a 25, 50 e 75 cm da base da touceira a cada leitura, de maneira que o espaço entre linhas fosse coberto pelas leituras. Estas leituras foram feitas em três pontos na área útil da parcela experimental, sempre no final da tarde.
- b) Densidade de perfilhos basais (DPB) - foi avaliada pela contagem desta classe de perfilhos em três áreas de 0,5 m<sup>2</sup>, delimitados por uma armação de madeira, na área útil da parcela experimental.
- c) N° de folhas verdes/perfilho (NFV) - foram tomados ao acaso dois perfilhos de cada área utilizada na contagem destas estruturas.

- d) Altura da planta (ALT) - foi determinada por meio de uma régua graduada, em centímetros, em três pontos na área útil da parcela e correspondeu a distância do nível do solo à curvatura média das últimas folhas no topo do dossel.
- e) Produção e teor de matéria seca (PMS e MS, respectivamente) - a estimativa foi feita por meio da pesagem da forragem, considerando toda biomassa aérea, em três áreas de 0,5 m<sup>2</sup>, as mesmas utilizadas na contagem dos perfilhos. Em seguida, amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C para determinação do teor de MS.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância, considerando os valores médios das quatro colheitas. Com base na significância do teste F, as médias de cada clone foram comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. Com base nos componentes da variância, foram estimados os seguintes parâmetros genéticos: herdabilidade no sentido amplo, correlação genética e coeficiente de variação ambiental e genético.

Para estudar as inter-relações entre os caracteres morfológicos (IAF, IL, AF, DPB, NFV e ALT) e os produtivos (PMS e MS) foram analisadas as correlações canônicas entre estes dois grupos de caracteres. Foi utilizada a matriz de correlação genotípica entre os caracteres. A hipótese de nulidade:  $H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_n = 0$ , com  $s = \min(p, q)$  a 1% de probabilidade para as correlações canônicas foi testada por meio do teste do qui-quadrado. Todos procedimentos realizados foram descritos por Cruz et al. (2004). A interpretação dos resultados foi feita com base nos coeficientes da matriz estrutural ou



matriz dos fatores canônicos, ou seja, a matriz de correlação entre as variáveis originais e as canônicas, segundo Abreu & Vetter (1978).

Para desdobrar as correlações canônicas e permitir identificar a(s) característica(s) responsável(eis) pela relação foi feita análise de trilha separadamente para cada um dos caracteres produtivos, PMS e MS. O número de variáveis consideradas para cada análise de trilha também esteve na dependência da ocorrência de multicolinearidade fraca, ou seja, número de condição menor que 100 (Cruz et al., 2004). A interpretação do resultado das análises de trilha foi feita conforme recomendações de Singh & Chaudhary (1979).

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional GENES (Cruz, 2006).

### 2.3 Resultados e Discussão

Houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) dos clones sobre todos os caracteres estudados. Isto demonstra a variabilidade existente neste conjunto de clones quanto aos aspectos produtivos e morfológicos. Verifica-se, portanto, quanto aos aspectos produtivos, que os clones Taiwan A-146 2.37, HV-241 e Elefante B apresentaram maior produção de MS (PMS) que os demais. Mas, para o teor de matéria seca (MS) apenas o Taiwan A-146 2.37 foi superior quando comparado aos outros clones.

Quanto aos caracteres morfológicos, o Taiwan A-146 2.114e o Mott apresentaram maior índice de área foliar (IAF) e interceptação luminosa (IL) que os demais clones, exceto o HV-241 para IL. O Taiwan A-146 2.37 foi o que apresentou o menor IAF e IL. O ângulo foliar não foi diferente entre os clones estudados (Tabela 1).

**Tabela 1** - Médias e parâmetros genéticos de caracteres produtivos e morfológicos de clones de *Pennisetum* sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco

Clones	Caracteres produtivos		Caracteres morfológicos					
	PMS	MS	IAF	IL	AF	DPB	NFV	ALT
	kg/ha	%		%	°			Perfilhos/m <sup>2</sup>
Taiwan A-146 2.37	6258,3 <sup>a</sup>	33,4 <sup>a</sup>	1,9 <sup>d</sup>	69,4 <sup>c</sup>	40,8 <sup>a</sup>	69,6 <sup>a</sup>	6,5 <sup>c</sup>	109,3 <sup>c</sup>
Taiwan A-146 2.27	4690,4 <sup>b</sup>	27,0 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	76,4 <sup>b</sup>	51,0 <sup>a</sup>	52,7 <sup>b</sup>	6,9 <sup>b</sup>	97,1 <sup>d</sup>
Taiwan A-146 2.114	4952,2 <sup>b</sup>	23,2 <sup>b</sup>	2,8 <sup>a</sup>	77,9 <sup>a</sup>	47,6 <sup>a</sup>	60,2 <sup>a</sup>	7,1 <sup>b</sup>	91,0 <sup>e</sup>
Mercker MX 6.31	4820,8 <sup>b</sup>	26,7 <sup>b</sup>	2,4 <sup>c</sup>	75,7 <sup>b</sup>	48,1 <sup>a</sup>	46,3 <sup>b</sup>	6,4 <sup>c</sup>	98,6 <sup>d</sup>
HV-241	6873,3 <sup>a</sup>	25,3 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>	77,8 <sup>a</sup>	47,0 <sup>a</sup>	67,8 <sup>a</sup>	6,4 <sup>c</sup>	127,1 <sup>b</sup>
Mott	4465,7 <sup>b</sup>	27,5 <sup>b</sup>	2,8 <sup>a</sup>	77,6 <sup>a</sup>	43,1 <sup>a</sup>	48,3 <sup>b</sup>	7,9 <sup>a</sup>	86,3 <sup>e</sup>
Elefante B	5756,8 <sup>a</sup>	28,5 <sup>b</sup>	2,3 <sup>c</sup>	75,2 <sup>b</sup>	44,1 <sup>a</sup>	47,3 <sup>b</sup>	6,5 <sup>c</sup>	122,3 <sup>b</sup>
IRI-381	5277,6 <sup>b</sup>	26,0 <sup>b</sup>	2,2 <sup>c</sup>	75,0 <sup>b</sup>	44,3 <sup>a</sup>	41,9 <sup>b</sup>	7,1 <sup>b</sup>	139,2 <sup>a</sup>
Parâmetros genéticos								
Média	5386,9	27,2	2,4	75,6	45,7	54,3	6,8	108,9
CV <sub>a</sub> , %	17,3	11,3	5,9	1,8	9,2	12,9	6,4	5,2
CV <sub>g</sub> , %	12,9	9,1	11,7	3,5	5,6	18,0	6,7	17,7
h <sup>2</sup>	69,1	79,6	93,9	93,4	58,2	88,6	81,2	97,7
Razão CV <sub>g</sub> /CV <sub>a</sub>	0,7	0,8	1,9	1,9	0,6	1,4	1,0	3,4

\*CV<sub>a</sub>=coeficiente de variação ambiental, CV<sub>g</sub>=coeficiente de variação genética, h<sup>2</sup>=herdabilidade no sentido amplo.

\*\*PMS=produção de MS, MS= Teor de MS.

\*\*\*IAF=índice de área foliar, IL=interceptação luminosa, AF=ângulo foliar, DPB=densidade de perfilhos basais, NFV=número de folhas verdes por perfilho, ALT=altura da planta.

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical constituem grupo estatisticamente homogêneo (P>0,05) pelo teste de Scott-Knott.

O Taiwan A-146 2.37 e 2.27, além do HV-241, apresentaram maior densidade de perfilhos basais (DPB) que os demais clones. Já o Mott foi o clone que apresentou maior nº de folhas verdes por perfilho (NFV). Em relação a altura, como era de se

esperar, os genótipos apresentaram diferenças marcantes, contudo o HV-241, embora tenha sido classificado como um genótipo de porte médio não apresentou diferenças quanto ao Elefante B, de porte alto. Os clones mais baixos foram o Taiwan A-146 2.114 e o Mott (Tabela 1).

As estimativas do coeficiente de herdabilidade no sentido amplo ( $h^2$ ) evidenciaram bom controle genético na expressão das características e mostra grande potencial para seleção, com boas perspectivas de avanço genético. Contudo o ângulo foliar e a produção de MS apresentaram os menores valores  $h^2$  (58,2 e 69,1%, respectivamente), o que indica maior influência ambiental na expressão destas características (Tabela 1).

Menores estimativas de  $h^2$  foram obtidas por Silva (2006) para produção de MS (39%) e teor de MS de lâminas (54%). Daher et al. (2004) encontraram valores de  $h^2$  que variaram de 33%, para produção de MS, a 84% para altura da planta. Contudo ressalta-se que estimativas de  $h^2$  são próprias ao conjunto de genótipos avaliados e a determinada condição ambiental (Acquaah, 2007).

Os coeficientes de variação genética ( $CV_g$ , Tabela 1), que expressam em percentagem da média geral a quantidade de variação genética existente, apresentaram valores expressivos para a densidade de perfilhos basais (18%), altura da planta (17,7%), IAF (11,7%) e produção de MS (12,9%). Bueno et al. (2001) salientam que a seleção de indivíduos geneticamente superiores para ser eficiente é preciso haver variação genotípica suficiente na população original.

A maioria das características apresentaram razão  $CV_g/CV_a$  superior a unidade (Tabela 1), com destaque para a altura da planta (3,3). Esses resultados revelaram que clones superiores para estas características podem ser obtidos pelo emprego de métodos

simples de seleção. De acordo com Falconer (1987), ganhos por seleção satisfatórios são possíveis quando o índice de variação é superior à unidade, o que demonstra que a maior parte da variabilidade expressa para um determinado caráter é de origem genética.

A hibridação do capim-elefante, notadamente com o milheto, atualmente é a principal ferramenta do melhoramento genético usada para ampliar a base genética e aproveitar a heterose. Neste sentido, o melhoramento do capim-elefante pode seguir duas linhas básicas, a primeira através da obtenção de clones, a qual tem sido mais utilizada, e a segunda através da população. Por ser uma espécie com alto grau de heterozigose, a hibridação do capim-elefante proporciona a obtenção de progênies com grande variabilidade. A variabilidade genética é a base de toda seleção e no caso do capim-elefante, genótipos com características desejáveis selecionados poderão ser facilmente mantidos por meio da propagação vegetativa, facilitando o aproveitamento da heterose híbrida (Pereira et al., 2001).

Em relação a correlação genotípica foi verificado que o teor de MS apresentou alta e significativa correlação com o IAF, a IL e o AF, contudo, para as duas primeiras características, a correlação foi negativa. Já a PMS mostrou correlação significativa e positiva com NPB e ALT, e correlação negativa, mas significativa, com o IAF e NFV. A correlação entre teor de MS e a PMS não foi significativa, indicando que não houve relação entre estas características (Tabela 2).

As correlações canônicas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado, demonstrando que os grupos considerados não são independentes. A correlação canônica do primeiro par canônico e também do segundo par foram elevadas, de magnitude igual a 1 (Tabela 3).

**Tabela 2** - Coeficientes de correlação genotípica de oito clones de *Pennisetum* sp. para características produtivas e morfológicas

Caracteres <sup>+</sup>	MS	IAF	IL	AF	DPB	NFV	ALT
PMS	0,2970	-0,7188*	-0,5040	0,5942	0,7265*	-0,8250*	0,7707*
MS		-0,9043*	-1,1050*	1,0456*	0,3669	-0,2373	0,0731
IAF			0,9076*	-0,6223	-0,1984	0,6679	-0,6271
IL				-0,7643*	-0,3251	0,4453	-0,2432
AF					0,1901	0,2405	0,2938
DPB						-0,4628	-0,0822
NFV							-0,4862

\*significativo pelo teste t (P<0,05).

<sup>+</sup>PMS=produção de MS, MS= Teor de MS, IAF=índice de área foliar, IL=interceptação luminosa, AF=ângulo foliar, DPB=densidade de perfilhos basais, NFP=número de folhas por perfilho, ALT=altura da planta.

A análise dos coeficientes da matriz dos fatores canônicos, ou seja, a matriz de correlação entre as variáveis originais e as canônicas, permite deduzir que:

- i) O primeiro par de fatores canônicos, com correlação de 1,1379, associa plantas com maior teor de MS a plantas com menores IAF, interceptação luminosa e ângulo foliar;
- ii) O segundo par de fatores canônicos, com correlação de 1,0400, associa plantas com maior produção de MS a plantas com maior densidade de perfilhos basais e altura, e menor número de folhas verdes por perfilho.

**Tabela 3** - Coeficientes da matriz dos fatores canônicos entre o grupo I e II em clones de *Pennisetum* sp.

Grupos	Caracteres <sup>+</sup>	Fatores canônicos	
		1º	2º
I – Caracteres produtivos	PMS	0,2415	0,9704
	MS	0,9983	0,0576
II - Caracteres morfológicos	IAF	-0,7695	-0,5027
	IL	-0,9601	-0,2380
	AF	-0,9024	-0,3431
	DPB	0,2892	0,6411
	NFV	-0,1684	-0,7717
	ALT	0,0245	0,7571
Correlação canônica*		1,1379**	1,0400**
$\chi^2$		69	34
Grau de liberdade		12	5

<sup>+</sup>PMS=produção de MS, MS= Teor de MS, IAF=índice de área foliar, IL=interceptação luminosa, AF=ângulo foliar, DPB=densidade de perfilhos basais, NFP=número de folhas por perfilho, ALT=altura da planta.

\* Correlação entre o primeiro e o segundo par canônico.

\*\*altamente significativo (P<0,01) pelo teste do qui-quadrado.

De certa forma, os resultados da correlação canônica confirmaram as correlações genotípicas simples, porém, permitiram agrupar de maneira mais racional as associações. Cruz et al. (2004) comentaram que a grande vantagem dessa técnica é a possibilidade em auxiliar o melhorista no estudo que envolva mais de uma variável dependente, permitindo que os esforços sejam dirigidos para caracteres de alta herdabilidade, de fácil mensuração e de menor complexidade que a produção de MS.

O desdobramento da correlação genotípica entre o teor de MS e o IAF considera que embora a correlação tenha sido negativa e forte, o efeito direto do IAF sobre o teor

de MS foi fraco, mostrando que os efeitos indiretos tiveram maior peso sobre a expressão do teor de MS. Tal fato é evidenciado principalmente para a interceptação luminosa, que apresentou efeito indireto na mesma magnitude e sinal que a correlação genotípica entre teor de MS e IAF (Tabela 4).

A correlação genotípica entre o teor de MS e interceptação luminosa foi forte e negativa, assim como também o efeito direto o que indica que esta correlação explica a verdadeira associação existente entre estes caracteres.

Para o ângulo foliar, se observou correlação genotípica positiva e forte com o teor de MS, mas o efeito direto do ângulo foliar sobre esse caráter é fraco e negativo, o que indica, assim como foi para o índice de área foliar, que os efeitos indiretos tiveram maior peso sobre a expressão do teor de MS. Na perspectiva dos efeitos indiretos se verifica que mais uma vez a interceptação luminosa foi decisiva na expressão do teor de MS, haja vista seu efeito positivo e forte.

A seleção para aumentar o teor de MS do *Pennisetum* sp. pode ser bastante útil ao processo de ensilagem desta gramínea, uma vez que na idade de corte recomendada, entre 50 e 70 dias de crescimento, o teor de MS está entre 80 e 85% (Lavezzo et al., 1989; Carvalho et al., 2007), abaixo do recomendado. Neste sentido, Silva et al. (2008b) verificaram que havia variabilidade para o caráter teor de MS em diferentes progênies de *Pennisetum* sp., obtidas por meio de cruzamentos intra-específicos e interespecíficos com milheto, e também por meio de autofecundação. Merece destaque neste trabalho que cerca de 20% dos híbridos interespecíficos apresentaram teor de MS entre 30 e 33%. Contudo, vale ressaltar que outros caracteres precisam ser levados em conta, tais como teor de carboidratos solúveis, poder tampão e qualidade geral da silagem.

**Tabela 4** - Desdobramento das correlações genóticas de caracteres de *Pennisetum* sp. sob corte em efeitos direto e indireto sobre o teor de MS pela análise de trilha

Características	Efeitos
Índice de área foliar	
Efeito direto sobre o teor de MS	0,3908
Efeito indireto via interceptação luminosa	-1,0359
Efeito indireto via ângulo foliar	-0,2591
Total	-0,9043*
Interceptação luminosa	
Efeito direto sobre o teor de MS	-1,1414
Efeito indireto via índice de área foliar	0,3547
Efeito indireto via ângulo foliar	-0,3183
Total	-1,1050*
Ângulo foliar	
Efeito direto sobre o teor de MS	-0,4164
Efeito indireto via índice de área foliar	0,2432
Efeito indireto via interceptação luminosa	-0,8724
Total	-1,0456*
Coeficiente de determinação	1,3433
Efeito residual	0,0000

\*significativo pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

No presente trabalho, foi evidente o papel decisivo da menor interceptação luminosa sobre a expressão do teor de MS nos clones de *Pennisetum* sp., tanto de forma direta quanto indireta, via IAF e ângulo foliar. Warren Wilson (1963) demonstrou que folhas mais eretas utilizam a luz mais eficientemente e que, numa mesma área de projeção vertical, podem apresentar maior assimilação líquida que folhas mais



horizontais. Isto pode explicar o fato dos clones de *Pennisetum* sp. que, mesmo com menor interceptação e IAF, apresentaram maior teor de MS. Possivelmente maior eficiência de utilização da luz tenha ocorrido pela disposição das folhas de forma mais ereta.

A determinação de ângulo foliar é importante em vários tipos de estudos. Estresses e fatores ambientais induzem mudanças no ângulo foliar. Estas mudanças são importantes haja vista que o ângulo foliar influencia a absorção de luz no dossel e conseqüentemente a fotossíntese (Deckmyn et al., 2000).

Em relação ao desdobramento das características relacionadas ao segundo par canônico, a densidade de perfilhos basais e a altura da planta influenciaram diretamente a produção de MS devido aos seus efeitos direto terem sido na mesma magnitude e sinal das correlações genotípicas. O número de folhas verdes/perfilho teve correlação genotípica forte e negativa com a produção de MS, contudo seu efeito direto foi negligenciável, mostrando que a densidade de perfilhos basais e a altura da planta tiveram maior influência nesta relação (Tabela 5).

Daher et al. (2004) também verificaram que a altura das plantas de capim-elefante exerce influência na PMS principalmente nas situações de clones de alta capacidade de perfilhamento. Contudo, Silva et al. (2008a), embora tenham constatado efeito da altura sobre a produção de MS, verificaram que esta relação foi influenciada indiretamente pelo número de folhas por perfilho, e não pela densidade de perfilhos basais. Os autores explicaram que os clones estudados sofreram estresse hídrico, o que ocasionou em determinados cortes aumento da densidade populacional dos perfilhos, porém sem crescimento, resultando em perfilhos menos pesados, com menor número de fitômeros.

**Tabela 5** - Desdobramento das correlações genóticas de caracteres de *Pennisetum* sp. sob corte em efeitos direto e indireto sobre a produção de MS pela análise de trilha

Caracteres	Efeitos
Densidade de perfilhos basais	
Efeito direto sobre a produção de MS	0,7450
Efeito indireto via número de folhas verdes/perfilho basal	0,0459
Efeito indireto via altura da planta	-0,0644
Total	0,7265*
Número de folhas verdes/perfilho basal	
Efeito direto sobre a produção de MS	-0,0992
Efeito indireto via densidade de perfilhos basais	-0,3448
Efeito indireto via altura da planta	-0,3810
Total	-0,8250*
Altura da planta	
Efeito direto sobre a produção de MS	0,7837
Efeito indireto via densidade de perfilhos basais	-0,0612
Efeito indireto via número de folhas verdes/perfilho basal	0,0482
Total	0,7707*
Coeficiente de determinação	1,2271
Efeito residual	0,0000

\*significativo pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Durante o desenvolvimento da gramínea, o número de folhas verdes por perfilho aumenta enquanto não são iniciados os processos de senescência e morte foliar (Gomide & Gomide, 2000). A partir de então, o número de folhas verdes por perfilho tende a ser constante para determinado genótipo (Gomide et al., 2006).

Associação negativa entre número de folhas verdes e produção de MS pode ser melhor explicada pelo densidade de perfilhos basais. Embora o número de folhas verdes

por perfilho seja constante para um determinado genótipo, os processos de senescência e morte foliar são bastante influenciados pelo ambiente. Numa situação de alto perfilhamento basal, o sombreamento pode afetar o número de folhas verdes devido a maior senescência. Contudo, apesar do menor número de folhas verdes, possivelmente a produção de MS foi compensada pela maior densidade de perfilhos basais.

Os resultados deste trabalho mostraram a importância de estudos com correlação canônica e análise de trilha para o entendimento das relações entre características morfológicas e produtivas. Em programas de melhoramento genético do *Pennisetum* sp., o relacionamento entre características produtivas e morfológicas deve ser levado em conta, pois a mudança numa determinada característica poderá provocar mudanças numa outra, promovendo assim implicações sobre a seleção de genótipos de *Pennisetum* sp.

## 2.4 Conclusões

Quando o objetivo da seleção for aumentar o teor de matéria seca devem ser selecionados clones de *Pennisetum* sp. de baixo índice de área foliar, baixa interceptação luminosa e de menor ângulo foliar. Caso o objetivo seja maior produção de matéria seca, plantas mais altas, com menor número de folhas verdes por perfilho e com maior número de perfilhos basais devem ser preferidas.

A interceptação luminosa foi determinante na expressão do teor de MS de clones de *Pennisetum* sp., enquanto que a densidade de perfilhos basais e altura da planta foram responsáveis pela produção de MS nestes clones.

## 2.5 Referências Bibliográficas

- ABREU, M.A.; VETTER, D.A. Análise de relação entre conjuntos de variáveis na matriz geográfica: correlação Canônica. In: FAISSOL, S. (Ed.) **Tendências atuais na geografia urbano/ regional**: teorização e quantificação. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. p.133-144.
- ACQUAAH, G. **Principles of Plant Genetics and Breeding**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. 569p.
- BUENO, L.C.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas**: princípios e procedimentos. Lavras: Ufla, 2001. 282p.
- CARVALHO, G.G.P.; GARCIA, R.; PIRES, A.J.V. et al. Valor nutritivo e características fermentativas de silagens de capim-elefante com adição de casca de café. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.36, n.6, p. 1875-1881, 2007.
- CPRH. Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. Recife:CPRH, 2003. 214p.
- CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 349p.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**. Viçosa: UFV, 2006. 175p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: UFV, v.2, 2006. 585p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v.1. 480p.
- DAHER, R.F.; PEREIRA, A.V.; PEREIRA, M.G. et al. Análise de trilha de caracteres forrageiros do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Ciência Rural**, v.34, n.5, p.1531-1535, 2004 .
- DECKMYN, G.; NIJS, I.; CEULEMANS, R. A simple method to determine leaf angles of grass species. **Journal Experimental of Botany**, v.51, n.349, p.1467-1470. 2000.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 279p.
- FLOSS, E.L. **Fisiologia de plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do se vê**. 3º ed. ampl.e atual. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006. 751p.

- GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.341-348, 2000.
- GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; PACIULLO, D.S.C. Morfogênese como ferramenta para o manejo de pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, supl. esp., p.554-579, 2006.
- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.
- KRETSCHMER, E.A.; PITMAN, W.D. Germplasm resources of tropical forage grasses. In: SOTOMAYOR-RIOS, A.; PITMAN, W.D. **Tropical forage plant: development and use**. Flórida: CRC Press LLC, 2001. p.27-40.
- LAVEZZO, W.; LAVEZZO, O.E.N.M.; BONASSI, I.A. Valor nutritivo de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), cultivares Mineiro e Vruckona, submetidos ao emurchecimento e diferentes aditivos inibidores da fermentação. **Revista da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.26, n.2, p.249-258, 1989.
- PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B.; FERREIRA, R. P. et al. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p.449-601.
- SILVA, M.A.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Análise de trilha em caracteres produtivos de *Pennisetum* sob corte em Itambé, Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.7, p.1185-1191, 2008a.
- SILVA, M.C.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. et al. Ensaio preliminares sobre autofecundação e cruzamentos no melhoramento do capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.401-410, 2008b.
- SILVA, S.H.B. **Avaliação de Clones de *Pennisetum purpureum* Schum. de Porte Baixo, na Zona da Mata Seca de Pernambuco**. Recife: UFRPE, 2006. 65p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- SINGH, R.K.; CHAUDHARY, B.D. **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. Ludhiana: Kalyani Publishers, 1979. p.223.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Associação entre caracteres. In: VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. p.335-486.
- WARREN WILSON, J. Estimation of foliage denseness and foliage angle by inclined point quadrats. **Australian Journal of Botany**, v.11, n.2, p.95-105, 1963.

### **3.0 CAPÍTULO III**

## **ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM NA SELEÇÃO DE CLONES DE *Pennisetum* sp. PARA A ZONA DA MATA SECA DE PERNAMBUCO**

**Adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem na seleção de clones de  
*Pennisetum* sp. para a Zona da Mata Seca de Pernambuco**

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi estudar a interação genótipo x ambiente sobre a produção de forragem por meio de diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade com vistas a seleção de clones de *Pennisetum* sp. para a Zona da Mata Seca de Pernambuco. O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), no município de Itambé, Zona da Mata Seca de Pernambuco. Foram avaliados oito clones de *Pennisetum* sp. (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Merker México MX 6.31, Mott, HV-241, Elefante B and IRI-381). As metodologias utilizadas para o estudo da adaptabilidade e estabilidade foram as de Eberhart e Russel, Wricke, Lin e Binns e o método baseado em componentes principais/centróide. A produção de forragem foi influenciada ( $P < 0,05$ ) pela interação clones x cortes. A avaliação de clones de *Pennisetum* sp. por meio das diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem permitiu maior caracterização do desempenho produtivo dos clones e forneceu maior segurança à seleção. O método baseado em componentes principais/centróide permitiu maior discriminação dos clones quanto a adaptabilidade. O clone HV-241, híbrido do *Pennisetum* sp. com o milheto, apesar de apresentar adaptabilidade a ambientes favoráveis, foi o que apresentou menor estabilidade produtiva. Os clones de melhor desempenho quanto a adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem foram o Taiwan A-146 2.37 e o Elefante B, no entanto, o primeiro é indicado para ambientes favoráveis e o último, a ambientes desfavoráveis.

**Palavras-chave:** capim-elefante, correlação de Spearman, interação genótipo x ambiente, métodos, milheto.

**Adaptability and stability of the forage yield in the selection of *Pennisetum* sp. clones to the Dry Forest Zone of Pernambuco**

**ABSTRACT** - This work objectified study the genotype x environment interaction on forage yield through different methods of adaptability and stability to selection of *Pennisetum* sp. clones for the Dry Forest Zone of Pernambuco. The experiment was carried out at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the city of Itambé, Forest Dry Zone of Pernambuco. It was evaluated eight clones of *Pennisetum* sp. (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2,114, Merker Mexico MX 6.31, Mott, HV-241, and Elephant B and IRI-381). The methods used to study the adaptability and stability were Eberhart and Russell, Wricke, Lin and Binns and the method based on the main components / centroid. The forage yield was influenced ( $P < 0.05$ ) by the interaction clones x cuts. The evaluation of *Pennisetum* sp. clones through different methods of adaptability and stability of the forage yield has increased characterization of the productive performance of clones and provided greater security to the selection. The method based on the main components / centroid allowed greater discrimination on the adaptability of clones. The clone HV-241, despite to the adaptability of the favorable environments, presented less productive stability. The clones of better performance as the adaptability and stability of the forage yield were the Taiwan-146 2.37 and Elephant B, however, is indicated for the first favorable environments and for the second unfavorable environments.

**Key Words:** elephant grass, Spearman's correlation, genotype x ambient interaction, methods, millet.



### 3.1 Introdução

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma planta forrageira bastante produtiva e encontra-se distribuído pelos diferentes ecossistemas brasileiros, utilizado tanto sob corte quanto sob pastejo. Programas de melhoramento genético têm procurado selecionar clones produtivos e que apresentem ampla adaptação as condições de cultivo. Entretanto, muitas vezes esta seleção é prejudicada pela presença da interação genótipo x ambientes, resultando em comportamento distinto dos genótipos nos diferentes ambientes.

Ramalho et al. (2005) comentaram que em plantas perenes, como o capim-elefante, por exemplo, a avaliação do comportamento das cultivares ou clones é efetuada no desempenho de algumas colheitas. Muitas vezes, as cultivares ou clones interagem com as colheitas, caracterizando um tipo de interação genótipo x ambiente. Neste sentido, Ferreira et al. (2004) salientaram que nas plantas forrageiras as condições ambientais tais como temperatura, umidade relativa e precipitação, variam nas diferentes colheitas realizados ao longo do ano e podem contribuir para a interação genótipos x colheitas.

De acordo com Cruz (2005), estudos a respeito da interação genótipos x ambientes apesar de serem de grande importância para o melhoramento não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo diante das variações ambientais. Para atingir este objetivo análises de adaptabilidade e estabilidade são bastante úteis, pois permitem a identificação de cultivares de comportamentos previsíveis e responsivos as variações ambientais, em condições específicas ou amplas.

Verma et al. (1978) definiram a adaptabilidade como a capacidade dos genótipos apresentarem rendimentos elevados e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com habilidade de responder à melhoria das condições ambientais. O termo estabilidade pode ser definido como a habilidade dos genótipos de se adaptarem a flutuações climáticas ou temporais em um mesmo local, ao longo das colheitas realizadas no ano (Vencovsky & Barriga, 1992). Assim, na seleção de clones de *Pennisetum* sp. (clones de capim-elefante e de seus híbridos com o milheto) se espera que a produção de forragem seja a mais estável possível ao longo dos cortes, apesar da inerente estacionalidade temporal a que todas as forrageiras estão sujeitas.

Muitos métodos são utilizados para avaliar a adaptabilidade e estabilidade, como apresentados por Cruz & Carneiro. (2006). Alguns destes métodos são baseados em análise de regressão, como o de Eberhart & Russell (1966), outros são baseados na análise de variância tal como o de Wricke (1965). Existem também métodos baseados em análise não paramétrica, como o de Lin & Binns (1988).

Daher et al. (2003) enfocaram que estudos de adaptabilidade e estabilidade apesar de indispensáveis para orientar os trabalhos de melhoramento ainda são raros em plantas forrageiras. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a interação genótipo x ambiente sobre a produção de forragem por meio de diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade e, por meio destas metodologias, selecionar clones de *Pennisetum* sp. à Zona da Mata de Pernambuco.

### 3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), no município de Itambé, Zona da Mata Seca do estado. O município situa-se nas coordenadas geográficas 07°25'00'' de latitude e 35°06'00'' de longitude, numa altitude de 190 metros, com precipitação e temperatura média anual de 1200 mm e de 25°C, respectivamente (CPRH, 2003). Os solos-referência para a região de Itambé-PE, segundo Jacomine (2001), classificam-se como Podzólicos Vermelho-Amarelo Tb Distrófico, com horizonte A proeminente de textura média/argilosa, fase floresta tropical sub-caducifólia e relevo suave-ondulado.

Foram avaliados oito genótipos de *Pennisetum* sp. Destes, sete são clones de capim-elefante, a saber: cinco de porte baixo (Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Mercker México MX 6.31 e Mott) e dois de porte alto (Elefante B, conhecido como Mercker, um dos primeiros genótipos introduzidos no Brasil, e o IRI-381). Além dos clones de capim-elefante, foi avaliado ainda um híbrido de capim-elefante com o milheto (HV-241) de porte médio. Ressalta-se que os clones de capim-elefante de porte alto e o Mott são cultivares recomendadas enquanto os demais clones, incluindo o híbrido, foram gerados pelo Programa de Melhoramento Genético do capim-elefante do IPA/UFRPE.

O solo da área experimental foi preparado mecanicamente por meio de aração e gradagem. Os genótipos foram implantados em parcelas de área de 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m), com 9 m<sup>2</sup> (3 m x 3 m) de área útil, em quatro blocos, devido a irregularidade do terreno. O plantio ocorreu em sulcos com espaçamento de 1 m, no dia 16 de julho de 2007. Por

ocasião do plantio foi realizada adubação potássica e fosfatada (80 kg de K<sub>2</sub>O e 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), distribuídos uniformemente no sulco.

Foram realizados cinco cortes entre setembro de 2007 e julho 2008, com intervalo de aproximadamente 60 dias. Por ocasião dos cortes estimou-se a produção de forragem (kg de MS/ha), considerando toda biomassa aérea. A estimativa foi feita por meio da pesagem da forragem em três pontos de 0,5 m<sup>2</sup>, delimitados por uma armação de madeira, na área útil da parcela. Em seguida, amostras foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C para determinação da matéria seca.

A análise de variância foi realizada considerando os tratamentos no esquema de parcela subdividida no tempo, sendo as parcelas representadas pelos clones e as subparcelas pelas colheitas. Foi utilizado o seguinte modelo estatístico, de acordo com Ramalho et al. (2005):  $Y_{ijk} = \mu + B_j + P_i + \varepsilon_{ij} + S_k + \theta_{jk} + PS_{ik} + \delta_{ijk}$ , em que  $Y_{ijk}$ : valor da produção de matéria seca do clone  $i$  ( $i=1, 2...8$ ), no corte  $j$  ( $j=1...4$ ) e no repetição  $k$  ( $k=1...4$ );  $\mu$ : média geral;  $B_j$ : efeito do bloco  $j$ ;  $P_i$ : efeito do clone  $i$ ;  $\varepsilon_{ij}$ : erro aleatório a;  $S_k$ : efeito do corte  $k$ ;  $\theta_{jk}$ : erro aleatório b;  $PS_{ik}$ : efeito da interação da clone  $i$  com o corte  $k$ ; e  $\delta_{ijk}$ : erro aleatório c.

Antes de proceder a análise de variância no modelo estatístico citado, os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade e uniformidade de matrizes de covariância, para assegurar que a pressuposição de variâncias homogêneas e igualmente correlacionadas aos pares foi atendida. Estes procedimentos foram necessários, pois não há casualização das épocas nos diferentes blocos e pode não haver independência das medidas efetuadas ao longo do tempo. Vale salientar que a inclusão de três erros experimentais ao modelo também tem a mesma função, haja vista que o erro aleatório b testa a interação bloco x colheita.

Para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos clones foram utilizados os seguintes métodos:

a) Wricke (1965) – estima o parâmetro de estabilidade denominado ecovalência ( $W_i$ ). É dado por:

$$W_i = r \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..})^2$$

em que  $Y_{ij}$  é a média do genótipo  $i$  no corte  $j$ ;  $\bar{Y}_i$  é a média do genótipo  $i$ ;  $\bar{Y}_j$  é a média do corte  $j$ ;  $\bar{Y}_{..}$  é a média geral;  $n$  é o número de cortes. Serão mais estáveis os genótipos associados aos menores valores de  $W_i$ . O valor relativo de  $W_i$ , em porcentagem, representa a contribuição de cada clone para a interação genótipo x ambiente.

b) Eberhart & Russel (1966) – baseia-se no seguinte modelo de regressão linear:  $Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$ , em que  $Y_{ij}$  é a média do clone  $i$  no corte  $j$ ;  $\beta_{0i}$  equivale à média geral do clone  $i$ ;  $\beta_{1i}$  corresponde ao coeficiente de regressão linear, cuja estimativa representa a resposta do clone  $i$  à variação do corte  $j$ ;  $I_j$  é o índice ambiental codificado;  $\delta_{ij}$  equivale aos desvios da regressão; e  $\varepsilon_{ij}$  corresponde ao erro experimental médio. As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade são a média do clone ( $\beta_{0i}$ ) e o coeficiente de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ). De acordo com esta metodologia, são de adaptabilidade geral os clones com  $\beta_{1i} = 1$ , adaptabilidade específica a ambientes favoráveis aquelas com  $\beta_{1i} > 1$  e adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis aquelas com  $\beta_{1i} < 1$ . A hipótese  $H_0 : \beta_{1i} = 1$  é avaliada pela estatística  $t$ .

O índice ambiental ( $I_j$ ) codificado é dado por:

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_i y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$$

onde: g se refere ao número de genótipos, a equivale ao número de ambientes (colheitas),  $Y_{ij}$  é o total por ambiente (colheita) e  $Y_{..}$  se refere ao total geral.

O parâmetro de estabilidade  $S_{di}^2$  é estimado pelo método da análise de variância, a partir do quadrado médio do desvio da regressão de cada clone ( $QMD_i$ ) e do quadrado médio do resíduo da análise de variância do experimento ( $QMR$ ), onde  $S_{di}^2 = (QMD_i - QMR)/r$ . A estabilidade refere-se à previsibilidade da cultivar em relação ao modelo de regressão linear. São considerados estáveis os clones com desvios de regressão não-significativos e instáveis aquelas com desvios significativos. Para testar a hipótese  $H_0 : S_{di}^2 = 0$  utiliza-se a estatística  $F = QMD_i/QMR$ . Para auxiliar na avaliação da estabilidade dos clones também foi levado em conta o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da equação de regressão.

c) Lin & Binns (1988) – estima o parâmetro  $P_i$ , que é a medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento em um único parâmetro. Neste método definiu-se, como medida para estimar o  $P_i$ , o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Desde que a resposta máxima esteja no limite superior em cada ambiente, o quadrado médio menor, ou seja, o  $P_i$  menor indicará uma superioridade geral da cultivar em questão. Esta medida de superioridade é dada por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

em que  $P_i$  é a estimativa de adaptabilidade e estabilidade do clone  $i$ ;  $X_{ij}$  é a produtividade do clone  $i$  no corte  $j$ ;  $M_j$  é a resposta máxima observada entre todas as cultivares no ambiente do corte  $j$ ;  $n$  é o número de ambientes.

d) Método baseado em componentes principais/centróide (Rocha et al., 2005) – o método consiste da comparação de valores de distância euclidiana entre os genótipos e quatro referências ideais (ideótipos), criados com base nos dados experimentais para representar os genótipos de máxima adaptabilidade geral (ideótipo I), máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (ideótipo II) ou desfavoráveis (ideótipo III) e os genótipos de mínima adaptabilidade (ideótipo IV). Uma vez estabelecidos os valores médios de cada ideótipo utiliza-se a análise de componentes principais envolvendo os genótipos iniciais e quatro outros representativos (ideótipos) que na análise gráfica representaram os quatro centróides em torno dos quais será avaliada a dispersão dos demais.

Para auxiliar na avaliação dos clones foi feita a correlação de Spearman ( $r_s$ ), considerando o ordenamento dos clones de acordo com cada um dos parâmetros dos métodos de adaptabilidade e a estabilidade. Para efeito de ordenamento, adotaram-se os seguintes parâmetros: média, coeficiente de regressão de Ebehart e Russel ( $\beta_{1i}$ ), ecovalência de Wricke ( $W_i$ ), variância dos desvios da regressão ( $S_{di}^2$ ), o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o parâmetro  $P_i$  de Lin e Binns.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa GENES (Cruz, 2006).

### 3.3 Resultados e Discussão

As colheitas realizadas ao longo do experimento foram independentes, assim, não houve limitações quanto ao modelo estatístico utilizado. O efeito de clones sobre a produção de forragem não foi significativo ( $P>0,05$ ), enquanto que houve efeito significativo dos cortes sobre a produção de forragem ( $P<0,05$ ). Contudo a produção de forragem foi influenciada ( $P<0,05$ ) pela interação clones x cortes (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise de variância para o caráter produção de forragem, em oito genótipos de *Pennisetum* sp. e cinco ambientes de corte na Zona da Mata Seca de Pernambuco

Fontes de variação	GL	Quadrados médios
Blocos	3	8546579,2
Clones (Clo)	7	9156012,3 <sup>NS</sup>
Erro a	21	4456719,4
Cortes (Co)	4	185282588,5*
Erro b	12	3671835,3
Interação (Clo x Co)	28	7543618,8*
Erro C	84	3116569,2
Média e coeficientes de variação (CV)		
Média (kg de MS/ha)	-	5236,4
CV(a), %	-	40,3
CV(b), %	-	36,6
CV(c), %	-	33,7

\* significativo a 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

<sup>NS</sup> Não-significativo pelo teste F.



Isto indica que o comportamento relativo dos clones não foi o mesmo em todos os cortes. Neste sentido, a identificação de clones cujo comportamento produtivo apresente superioridade em relação a outro e menor oscilação na produção de forragem nos cortes realizados ao longo do ano assume grande importância. O fato de que o comportamento produtivo dos clones não foi o mesmo de um corte a outro é comprovado diante do desdobramento da interação (Tabela 2).

**Tabela 2** – Produção de forragem (kg de MS/ha/60 dias), índice ambiental e precipitação\* por corte em oito clones de *Pennisetum* sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco

Clones	Cortes				
	1°	2°	3°	4°	5°
	kg de MS/ha/60 dias				
Taiwan A-146 2.37	7759,2Bb	6478,7Cb	9348,0Aa	1447,5Ea	4090,1Da
Taiwan A-146 2.27	6659,4Ab	5988,6Bb	4712,1Cb	1401,4Ea	3775,0Da
Taiwan A-146 2.114	6582,9Bb	8328,6Aa	3545,5Db	1351,7Ea	4865,0Ca
Mercker MX 6.31	6764,3Ab	6450,3Bb	4840,7Cb	1227,7Ea	4292,6Da
HV-241	10968,6Aa	8702,1Ba	6530,2Cb	1292,4Ea	4052,3Da
Mott	5833,3Bb	5913,3Ab	4923,5Cb	1192,8Ea	4532,5Da
Elefante B	6592,1Cb	6635,3Bb	8224,4Aa	1575,5E	4166,1Da
IRI-381	4877,8Db	8703,8Aa	6433,5Cb	1095,3E	7302,3Ba
Médias	7004,7	7150,1	6069,7	1323,0	4634,5
Índice ambiental (I <sub>j</sub> )	1768.3	1913.7	833.3	-3913.4	-601.9
Precipitação (mm)	347,0	134,0	165,0	83,0	184

\*A precipitação corresponde a soma das precipitações diárias ocorridas durante o período de crescimento dos clones em cada corte.

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal constituem grupo estatisticamente homogêneo ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

Neste sentido, observa-se que no 1º corte o clone HV-241 apresentou maior produção que os demais clones. No 2º corte, os clones Taiwan A-146 2.114, HV-241 e IRI-381 mostraram-se superiores. No 3º corte, o Taiwan A-146 2.37 e Elefante B apresentaram maior produção de forragem que os demais clones. No 4º e 5º cortes não houve diferença entre os clones (Tabela 2).

Por outro lado, a produção de forragem no decorrer dos cortes, de maneira geral, foi inferior no 4º corte quando comparada aos demais cortes, porém alguns genótipos apresentaram diminuição da produção já no 3º corte, como por exemplo, o Taiwan A-146 2.114 e o HV-241. O índice ambiental no 4º e 5º corte apresentou magnitude negativa, indicação de ambiente desfavorável a produção de forragem. No 4º corte, possivelmente, a menor precipitação ocorrida no período pode ter contribuído para o índice ambiental negativo. No 5º corte, embora a precipitação tenha sido maior, os genótipos foram muitos afetados por helmintosporiose, o que pode ter contribuído à menor de produção de forragem e índice ambiental negativo (Tabela 2).

Destra forma, a grande oscilação apresentada pelos clones ao longo das colheitas influenciou a interação clone x colheita e, assim, o estudo desta interação por meio das metodologias de adaptabilidade e estabilidade deverá contribuir para uma análise mais detalhada do comportamento dos clones. Neste sentido, pela metodologia de Eberhart e Russell (Tabela 3), verifica-se que todos os clones, exceto o HV-241, apresentaram ampla adaptabilidade, haja vista que o parâmetro  $\beta_{li}$  foi não significativo pelo teste t, ou seja,  $\beta_{li} = 1$ . O clone HV-241 apresentou  $\beta_{li} > 1$  e, portanto, mostrou-se mais adaptado a ambientes favoráveis.

Quatro clones, Taiwan A-146 2.37, HV-241, Elefante B e IRI-381 apresentaram produção de forragem média maior que a média geral, que foi de 5236,4 kg de

MS/ha/60dias. Destes três clones, apenas o Elefante B mostrou-se estável, ou seja, com boa previsibilidade produtiva ( $S^2_d = 0$ , pelo teste F). Outro clone que apresentou baixa estabilidade foi o Taiwan A-146 2,114. O cultivar Mott mostrou ampla adaptabilidade e boa previsibilidade (Tabela 3).

**Tabela 3** - Estimativa de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade obtidos por diferentes métodos para o caráter produção de forragem (kg de MS/ha/60 dias) em clones de *Pennisetum* sp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco

Clones	Eberhart e Russell				Wricke	Lin e Binns	
	Média	$\beta_{li}$	$S^2_d/1000$	$r^2$	$W_i$	$P_i/1000$	$\%G^+$
Taiwan A-146 2.37	5824,7	1,1 <sup>NS</sup>	2432,6*	74,1	19,6	2558,6	60,2
Taiwan A-146 2.27	4507,3	0,8 <sup>NS</sup>	-654,7 <sup>NS</sup>	95,4	2,6	5990,6	78,8
Taiwan A-146 2.114	4934,7	1,0 <sup>NS</sup>	1584,3*	74,1	14,3	5903,4	59,2
Mercker MX 6.31	4715,1	0,9 <sup>NS</sup>	-713,1 <sup>NS</sup>	96,9	1,6	5225,0	78,5
HV-241	6309,1	1,5*	1699,5*	86,4	24,5	1858,3	43,4
Mott	4479,1	0,8 <sup>NS</sup>	-794,2 <sup>NS</sup>	97,5	2,6	6155,3	78,1
Elefante B	5438,7	1,0 <sup>NS</sup>	795,2 <sup>NS</sup>	81,0	9,8	3453,1	66,4
IRI-381	5682,5	0,9 <sup>NS</sup>	3476,1**	61,2	25,1	4582,3	39,3

<sup>NS</sup> Não significativo.

\* e \*\* Significativo em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste t ( $H_0: \beta_{li} = 1,0$ ) e pelo teste F ( $H_0: S^2_d = 0$ ).

<sup>+</sup>Porcentagem atribuída aos desvios genéticos.

É importante destacar que dentre os clones que apresentaram baixa estabilidade, o Taiwan A-146 2,37, Taiwan A-146 2,114 e IRI-381 tiveram os menores  $r^2$  (coeficiente de determinação). Contudo, no HV-241, apesar da baixa estabilidade, o  $r^2$  pode ser considerado alto.

Considerando-se o conceito de estabilidade preconizado pela metodologia da ecovalência, dada pelo parâmetro  $W_i$ , admite-se como genótipo mais estável o clone Mercker MX 6,31 que contribuiu com apenas 1,6% para a interação. Outros dois clones também tiveram baixa participação na interação, o Taiwan A-146 2.27 e o cultivar Mott. Os clones HV-241 e IRI-381 foram os que apresentaram maiores participação na interação ( $W_i > 20\%$ ) e podem ser classificados como de baixa estabilidade. Este resultado está em consonância com aquele obtido pela metodologia de Eberhart e Russell e também é confirmado pela alta e significativa correlação entre o  $r^2$  e o parâmetro  $W_i$  (Tabela 4).

**Tabela 4** - Correlações de Spearman entre os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade dos diferentes métodos utilizados

Variáveis	$\beta_{1i}$	$S^2_d$	$r^2$	$W_i$	$P_i$
Média	0,8333*	0,8571*	-0,6190	0,8333*	-0,9524*
$\beta_{1i}$		0,5714	-0,4286	0,5238	-0,8333*
$S^2_d$			-0,8810*	0,9524*	-0,6905
$r^2$				-0,8095*	0,4286
$W_i$					-0,6429

\*significativo pelo teste t a 5% de probabilidade.

A ecovalência possibilitou estimar o que Lin et al, (1986) classificaram como estabilidade no sentido agrônomo, isto é, a cultivar é estável se sua resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio nos diferentes experimentos. Contudo, apesar da facilidade de interpretação deste método, não há possibilidade de se saber, por

exemplo, se dois genótipos com a mesma ecovalência têm o mesmo padrão de comportamento ao longo dos ambientes.

Pelo método de Lin e Binns (Tabela 3), os clones HV-241 e o Taiwan A-146 2,37, seguidos do Elefante B, apresentaram baixos valores de  $P_i$ , o que os classifica como materiais com ampla adaptação ambiental. Convém observar que esses três clones também foram os mais produtivos, pois quanto menor o  $P_i$ , menor será também o desvio em torno da produtividade máxima de cada ambiente.

O valor de  $P_i$  pode ser ainda desdobrado em duas partes: a primeira, atribuída ao desvio genético em relação ao máximo, isto é, uma soma de quadrados de genótipos; e a segunda, correspondente à parte da interação genótipo x ambiente. A primeira parte não é prejudicial ao trabalho do melhorista, pois não implica, necessariamente, alteração na classificação dos materiais; a segunda parte, entretanto, pode afetar a classificação dos materiais. Logo, o ideal é um material que apresente o menor  $P_i$  possível e que a maior parte desse valor seja atribuída ao desvio genético. Neste sentido, o HV- 241, o Taiwan A-146 2,37, Taiwan A-146 2,114 e o IRI-381 apresentaram menor contribuição genética aos valores de  $P_i$ , o que indica forte influência ambiental sobre a estimativa  $P_i$  e impõe certa restrição sobre sua recomendação devido a baixa previsibilidade. Ressalta-se que estes resultados estão coerentes com método de Eberhart e Russell no que se refere aos baixos  $r^2$  (<80%) e ao valor de  $W$ , contudo, não há correlação entre estes parâmetros com o  $P_i$  (Tabela 4).

Segundo Cruz et al, (2006), o parâmetro  $P_i$  é uma medida relativa de um cultivar hipotético de adaptabilidade geral, cujo coeficiente de regressão é igual, ou próximo a unidade, ou seja, quantifica a adaptabilidade da mesma forma que o método de Eberhart e Russell. Em razão da estatística deste método ser o quadrado médio da distância em

relação a resposta máxima em cada local, ela tem a propriedade de variância e, assim, pondera de maneira eficiente os desvios do comportamento dos cultivares ao longo dos ambientes dos cortes, ou seja, considera também a estabilidade de comportamento. Neste sentido, no presente trabalho a correlação entre os valores máximos de cada cultivar em cada ambiente de corte e o índice ambiental ( $I_j$ ) foi de 0,9633 e o coeficiente de regressão igual a 1, o que torna válida a interpretação dos valores de  $P_i$  obtidos como medida de adaptabilidade e de estabilidade de comportamento.

Verifica-se alta correlação positiva entre a média de produção de forragem e os parâmetros  $\beta_{1i}$  e  $W_i$ , e correlação negativa entre a média e  $P_i$  (Tabela 4). De acordo com a expressão que estima o  $P_i$ , quanto menor o seu valor, menor será também o desvio em torno da produtividade máxima em cada ambiente. Se for levado em conta que este desvio pode ser avaliado como estabilidade, maior estabilidade estará obrigatoriamente associada a maior produtividade (Lin & Binns, 1988).

Neste sentido, pelo método de Lin e Binns, os clones HV-241 e o Taiwan A-146 2.37 foram classificados como os mais produtivos, com ampla adaptação e estáveis, Porém, no método de Eberhart e Russell e de Wricke estes clones foram classificados como de baixa estabilidade.

Alliprandini et al, (1998) comentaram que a distinção entre os conceitos estabilidade e adaptação permite descrever com maior clareza a performance de genótipos. Assim, segundo Ferreira et al, (2004), a discordância entre os métodos Eberhart e Russell e o de Lin e Binns se deve ao conceito de adaptabilidade das duas metodologias: o primeiro se baseia num coeficiente de regressão linear da produção do clone em função do índice ambiental, enquanto que o segundo consiste numa comparação com a maior média em cada ambiente. De acordo com esta última

metodologia, os clones cuja expressão do caráter, em cada ambiente, estiverem mais próximas da máxima expressão obtida em cada corte, obterá um Pi de baixa magnitude, sendo considerado de alta estabilidade e adaptabilidade.

Segundo Lin et al, (1986), os métodos de estabilidade envolvem três conceitos: 1º) o genótipo será considerado estável se sua variância entre ambientes for pequena, 2º) o genótipo será considerado estável se sua resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todos os materiais genéticos avaliados no teste e 3º) o genótipo será estável se o quadrado médio dos desvios da regressão que avalia a estabilidade for pequeno.

O primeiro conceito refere-se à estabilidade no sentido biológico, enquanto o segundo e terceiro conceitos refere-se à estabilidade no sentido agrônômico. Estes dois tipos de estabilidade foram definidos por Becker (1981). Estabilidade no sentido biológico caracteriza um genótipo com desempenho constante com a variação do ambiente. Esse comportamento não é desejável porque o genótipo não acompanha a melhoria ambiental e normalmente a estabilidade tem alto grau de associação com baixa produtividade. A estabilidade no sentido agrônômico ocorre quando o material genético mostra interações mínimas com o ambiente, ou seja, o material genético acompanha o desempenho médio dos materiais testados nos ambientes. Metodologias com esse conceito têm sido preferidas, pois possibilitam a identificação de genótipos estáveis e com potencial de se manter entre os melhores em todos os ambientes.

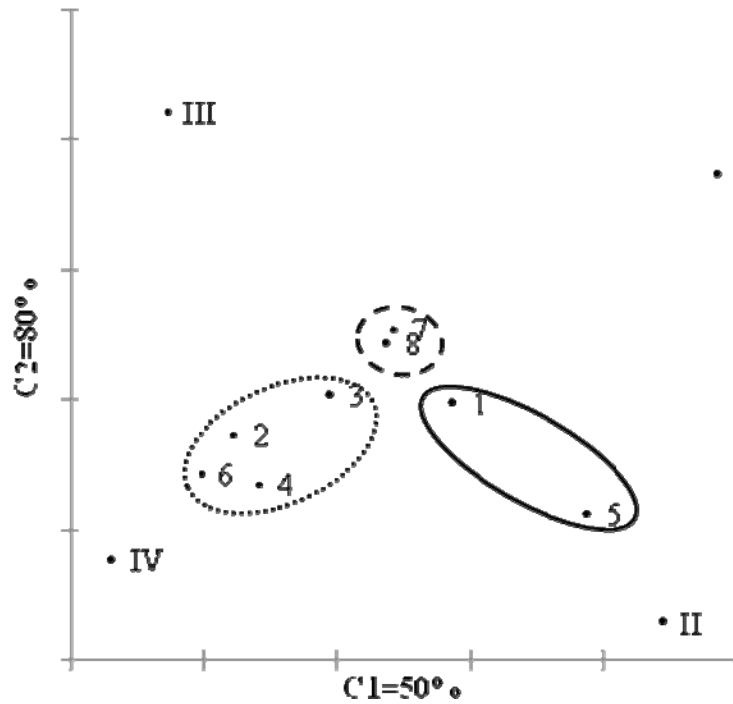
Assim, o método de Wricke estima a estabilidade no sentido biológico, enquanto os métodos de Eberhart e Russell e o de Lin e Binns estimaram a estabilidade no sentido agrônômico. Contudo, o uso do conceito tipo 3 de estabilidade, baseado no desvio da regressão, é criticado por Lin et al, (1986). Segundo esses autores o desvio serve para

indicar se os dados se ajustam ou não à equação de regressão linear e, portanto, não indicariam uma maior ou menor estabilidade do genótipo. A presença de desvio de regressão significativo ou de um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) pequeno deve ser interpretada como um indicativo de que o modelo de regressão adotado não é o mais apropriado para o conjunto de dados testados e que alternativas devem ser investigadas. Se isto for levado em conta, verifica-se que para os clones Taiwan A-146 2.37, Taiwan A-146 2.114 e IRI-381 o modelo de Eberhart e Russell não é o mais indicado dado o baixo valor do  $r^2$ . Enquanto que o HV-241 pode ser considerado como o de menor estabilidade, pois apresentou  $S^2_d \neq 0$ , alto  $r^2$  e baixa porcentagem atribuída aos desvios genéticos pelo método de Lin e Binns.

Pelo método baseado em componentes principais/centróide, a obtenção dos autovalores, partindo dos dados originais incluídos aos ideótipos, mostrou que apenas dois componentes principais foram suficientes para explicar 80% da variação total contida nos dados originais.

Desta forma, na dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais se observa que os clones Taiwan A-146 2.37 e HV-241 foram classificados como de adaptabilidade a ambientes favoráveis. Os clones Elefante B e IRI-381 mostraram adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. Já os clones Taiwan A-146 2.27, Taiwan-146 2.114, Mercker MX 6.31 e Mott apresentaram baixa ou menor adaptabilidade quando comparado aos demais. Nenhum clone foi classificado como de ampla adaptação (Figura 1).





**Figura 1** - Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais que envolvem a produção de forragem (kg de MS/ha/60 dias) em oito clones de *Pennisetum* sp., (1-Taiwan A-146 2.37, 2- Taiwan A-146 2.27, 3- Taiwan-146 2.114, 4- Merker México MX 6.31, 5- HV-241, 6- Mott, 7- Elefante B e 8- IRI-381) e quatro centróides (os quatros pontos numerados com algarismos romanos representam os centróides): I - adaptabilidade geral, II - adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (linha sólida), III - adaptabilidade específica a ambiente desfavoráveis (tracejado longo), IV - baixa adaptabilidade (tracejado curto).

Neste sentido, o método baseado em componentes principais ou centróide permitiu maior discriminação dos clones quanto a adaptabilidade. Ressalta-se o fato do clone HV-241 ter apresentado adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, de maneira similar ao método de Eberhart e Russell.

### 3.4 Conclusões

A avaliação de clones de *Pennisetum* sp. por meio das diferentes metodologias de adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem permitiu melhor caracterização do desempenho produtivo e forneceu maior segurança à seleção.

O método baseado em componentes principais/centróide permitiu maior discriminação dos clones em relação a adaptabilidade.

O clone HV-241, híbrido do capim-elefante, com o milheto, apesar de apresentar adaptabilidade a ambientes favoráveis, foi o que apresentou menor estabilidade produtiva.

Os clones de melhor desempenho quanto a adaptabilidade e estabilidade da produção de forragem foram o Taiwan A-146 2.37 e o Elefante B, no entanto, o primeiro é indicado para ambientes favoráveis e o último, a ambientes desfavoráveis.

### 3.5 Referências Bibliográficas

- ALLIPRANDINI, L.F.; TOLEDO, J.F.F.; FONSECA Jr., N. Análise de adaptação e estabilidade de genótipos de soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.9, p.1321-1328, 1998.
- BECKER, H.C. Correlation among some statistical measures of phenotypic stability. **Euphytica**, v.30, n.4, p.835-40, 1981.
- CPRH, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**, Recife: CPRH, 2003. 214p.
- CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**, Viçosa: UFV, 2005. 349p.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Análise multivariada e simulação**, Viçosa: UFV, 2006. 175p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed., Viçosa: UFV, 2006, v.2. 585p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, Viçosa: UFV, 2004, v.1. 480p.
- DAHER, R.F.; PEREIRA, M.G.; AMARAL Jr. et al. Estabilidade da produção forrageira em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Ciência Agrotecnologia**, v.27, n.4, p.788-797, 2003.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.1, n.5, p.36-40, 1966.
- FERREIRA, R.P.; BOTREL, M.A.; RUGGIERI, A.C. et al, Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. **Ciência Rural**, v.34, n.1 p.265-269, 2004.
- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001, **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.19-46.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.1, p.193-198, 1988.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEVKOVITCH, L.P. Stability analysis: where do we stand, **Crop Science**, v.26, n.5, p.894-900, 1986.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**, 2 ed, Lavras: UFLA, 2005. 322p.

ROCHA, R.B.; MURO-ABAD, J.I.; ARAUJO, E.F. et al. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p.255-266, 2005.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Associação entre caracteres, In: VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**, Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. p.335-486.

VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, n.2, p.89-91, 1978.

WRICKE, G. Zur Berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, v,52, n.2, p,127-138, 1965.