

JOSÉ BENJAMIN MACHADO COELHO

**POTENCIAL OSMÓTICO, SOLUTOS ORGÂNICOS E  
COMPORTAMENTO HÍDRICO DO FEIJÃO VIGNA  
CULTIVADO EM SOLOS SALINIZADOS**

RECIFE  
2012

JOSÉ BENJAMIN MACHADO COELHO

**POTENCIAL OSMÓTICO, SOLUTOS ORGÂNICOS E  
COMPORTAMENTO HÍDRICO DO FEIJÃO VIGNA  
CULTIVADO EM SOLOS SALINIZADOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof<sup>a</sup> Maria de Fatima Cavalcanti Barros – D. Sc.

RECIFE

2012

JOSÉ BENJAMIN MACHADO COELHO

**POTENCIAL OSMÓTICO, SOLUTOS ORGÂNICOS E  
COMPORTAMENTO HÍDRICO DO FEIJÃO VIGNA  
CULTIVADO EM SOLOS SALINIZADOS**

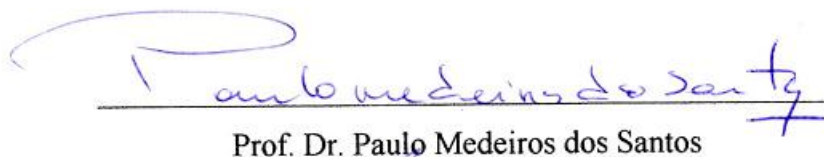
Tese apresentada e aprovada pela Banca examinadora em: 24 de fevereiro de 2012.

ORIENTADOR:

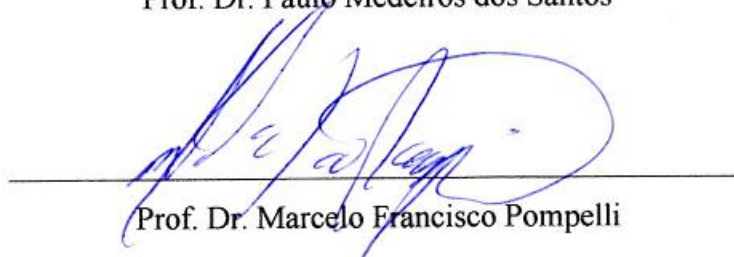


Prof. Dr. Maria de Fatima Cavalcanti Barros

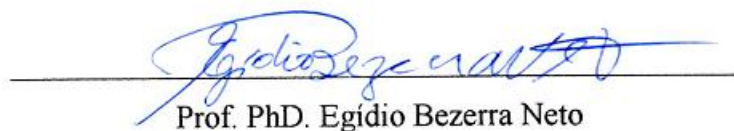
BANCA EXAMINADORA:



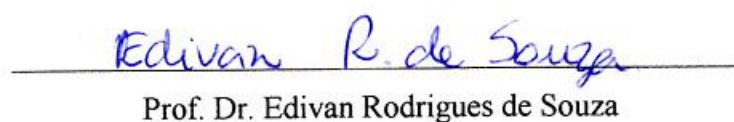
Prof. Dr. Paulo Medeiros dos Santos



Prof. Dr. Marcelo Francisco Pompelli



Prof. PhD. Egidio Bezerra Neto



Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza

*Dedico esta tese aos meus pais **José e Olívia** como forma de gratidão por todo amor, base educacional e incentivo em todos os momentos da minha vida, a minha esposa **Izis** pelo carinho, compreensão e companheirismo, aos meus filhos **Renato e Patrícia**, para que sigam esse exemplo e saibam priorizar o estudo em suas vidas, pois o saber é o verdadeiro e único caminho para o sucesso.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela perseverança e ânimo para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial a Área de Química Agrícola pela agradável convivência e disponibilidade de laboratórios e casa de vegetação.

À orientadora professora Maria de Fatima Cavalcanti Barros, pela orientação, incentivo e valiosas sugestões. Ao co-orientador professor Egídio Bezerra Neto pelas experiências e inestimáveis contribuições repassadas.

Aos professores, membros da banca, pelas valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos professores Marcus Metri Corrêa, Fernando Cartaxo Rolim Neto e João Audifax César de Albuquerque Filho pela preciosa revisão deste trabalho. Ao professor Moacyr Cunha Filho pela credibilidade no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Dr. Wagner Soares Pessoa pela presteza na realização de análises no Laboratório de Química dos Solos.

Aos pós-graduandos Eliza Rosário Gomes de Albuquerque e Márcio José dos Santos pela amizade e contribuição à realização deste trabalho.

Aos estudantes do curso de graduação em Engenharia Agrícola, Rafael Rodrigues de Melo, Bruno Albuquerque Aires, Bruno Ricardo Trindade Santos, Diego Henrique Silva de Souza e Marcos Pinheiro Freire Barbosa e o estudante do curso de Agronomia Ronaldo Alves pela cooperação para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Área de Química Agrícola Francisco Wellington de Oliveira Carneiro e Giovanildo Francisco de Farias pela contribuição nas determinações laboratoriais e em casa de vegetação. Ao Engenheiro Agrônomo Marcelo Cavalcanti pela valiosa contribuição literária. Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Socorro e Josué, pela amizade e presteza. Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) pela disponibilização das sementes de feijão vigna usadas nos experimentos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A salinização de solos é um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e a produtividade das culturas. Para suportar o estresse salino, as plantas têm desenvolvido mecanismos complexos, que contribuem para a adaptação aos estresses osmótico e iônico. O feijão vigna, por ser uma espécie adaptada às condições semiáridas, consegue se desenvolver em ambientes salinizados sem grandes prejuízos. A quantificação do ponto de murcha permanente constitui-se numa importante informação para o manejo da água em solos irrigados. Alguns pesquisadores relatam que o ponto de murcha permanente do solo varia não apenas com a textura do solo, mas também com a espécie vegetal cultivada. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação da UFRPE, em Recife-PE (Brasil), com os objetivos de avaliar os efeitos do estresse salino no crescimento, acúmulos de solutos orgânicos, consumo de água e potencial osmótico foliar, bem como determinar o ponto de murcha permanente fisiológico do feijoeiro vigna. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2 x 4, composto por: duas texturas de solos e quatro níveis de condutividade elétrica do solo (4, 8 e 12 dS m<sup>-1</sup> a 25°C, além da testemunha sem a adição de sais), com cinco repetições, totalizando 40 parcelas por experimento. Como cultura teste foi utilizada o feijão vigna [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)], cultivar *pele de moça*. Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão, através do programa estatístico SAEG. Concluiu-se que o ponto de murcha permanente do feijoeiro vigna é menor no método fisiológico que o determinado na câmara de Richards; o potencial osmótico das folhas do feijoeiro vigna diminui com o aumento da salinidade do solo; a salinidade do solo ocasiona a redução da altura da planta, do número de folhas e da biomassa seca da parte aérea do feijão vigna e, o aumento dos níveis de salinidade no solo proporciona elevação dos teores de prolina e de carboidratos solúveis totais do feijoeiro vigna.

Palavras chave: estresse salino, potencial osmótico, feijão caupi

## SUMMARY

Salinization of soils is one of the abiotic stresses which most limits the growth and crop productivity. To withstand salt stress, plants have developed complex mechanisms which contribute to the adaptation to osmotic and ionic stresses. The cowpea, as a species adapted to semiarid conditions, can develop in saline environments without great loss. The quantification of the permanent wilting point constitutes an important information for water management in irrigated soils. Some researchers report that the soil permanent wilting point soil varies not only with soil texture, but also with the cultivated plant species. Two experiments carried out in a greenhouse at UFRPE, in Recife (Brazil), aiming to evaluate the effect of salt stress on plant growth, accumulation of organic solutes, water use and leaf osmotic potential, and determine the physiological wilting point of cowpea. The statistical design was completely randomized with a factorial 2 x 4, composed of two soil textures and four levels of soil electrical conductivity (4, 8 and 12 dS m<sup>-1</sup> at 25°C, and the control without addition of salt, with five replications, totalizing 40 plots per experiment. Cowpea [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)], cultivar *pele de moça*, was used as test crop. The results were subjected to analysis of variance and regression, using the statistical program SAEG. It was concluded that the permanent wilting point of cowpea was lower by the physiological method than as determined by Richards chamber; the osmotic potential of cowpea leaves decreases with increasing of soil salinity; soil salinity caused a reduction of plant height, leaf number and shoot dry biomass of cowpea and, the increase on soil salinity resulted in higher levels of proline and total soluble carbohydrates of cowpea.

Keywords: salt stress, osmotic potential, cowpea.

## LISTA DE FIGURAS

		Pg.
Figura 1	Prolina (A); Glicina-betaína (B) .....	21
Figura 2	Vista parcial dos experimentos .....	26
Figura 3	Mapa do Estado de Pernambuco com destaque para os municípios de Ibimirim e Parnamirim .....	26
Figura 4	Prensagem de tecido foliar do feijão e coleta do extrato em tubo de Eppendorf (A); extrato centrifugado (B); adição de amostra para leitura em osmômetro de pressão de vapor (C) .	36
Figura 5	Localização das folhas utilizadas para a determinação do potencial osmótico no terço médio das plantas (A) e; ao longo de toda a planta (B) .....	37
Figura 6	Evapotranspiração do feijão vigna (ETc) em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B) aos 7, 14, 21 e 28 dias após a semeadura .....	39
Figura 7	Umidade retida nos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), em função da salinidade dos solos, após a suspensão da rega por 11 e 16 dias, respectivamente .....	41
Figura 8	Folhas de feijoeiro vigna apresentando sintoma de murcha incipiente (A); câmara úmida contendo feijoeiros (B); feijoeiro vigna em estado de murcha permanente (C) .....	43
Figura 9	Umidade da folha do feijoeiro vigna, com e sem estresse hídrico, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B) .....	44
Figura 10	Folhas de feijoeiros vigna submetidos a salinidade do solo, 11 dias após a suspensão da rega .....	45
Figura 11	Relação entre a percentagem de germinação do feijão vigna e a salinidade da solução aplicada (A); relação entre a biomassa fresca da plântula de feijão vigna e a salinidade da solução aplicada, 4 dias após a semeadura (B) .....	46
Figura 12	Placas de Petri contendo sementes de feijão vigna germinadas em soluções salinas .....	47



Figura 13	Relação entre a altura do feijoeiro vigna e a salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	48
Figura 14	Feijoeiros vigna, submetidos à salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 21 dias após a semeadura .....	49
Figura 15	Número de folhas expandidas em feijoeiros vigna em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	50
Figura 16	Biomassa seca da parte aérea de feijoeiros vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	51
Figura 17	Teor de Prolina livre em folhas de feijão vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	52
Figura 18	Relação entre glicina-betaína em folhas de feijoeiros vigna e salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	54
Figura 19	Carboidratos solúveis totais (CST) em folhas de feijoeiros vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura .....	55
Figura 20	Potencial osmótico foliar do feijoeiro vigna, em função da salinidade dos solos, submetidos a estresse salino (A) e estresses salino seguido de estresse hídrico (B) .....	57
Figura 21	Potencial osmótico foliar de feijoeiro vigna, de acordo com o posicionamento da folha na planta, no tratamento testemunha, no solo franco-arenoso, aos 28 dias após a semeadura .....	59
Figura 22	Clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total em folhas de feijão vigna, em função da salinidade do solo franco-arenoso, aos 28 dias após a semeadura .....	60
Figura 23	Folhas de feijoeiro vigna apresentando gradiente de coloração verde em função dos níveis de salinidade do solo, aos 28 dias após semeadura .....	61

**LISTA DE TABELAS**

		Pg.
Tabela 1	Caracterização física dos solos .....	27
Tabela 2	Caracterização química dos extratos de saturação dos solos	28
Tabela 3	Caracterização da fertilidade dos solos .....	28
Tabela 4	Detalhamento dos tratamentos utilizados nos experimentos	29
Tabela 5	Concentração salina e condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada dos solos .....	30
Tabela 6	Ponto de murcha permanente obtido pelo método do extrator de Richards e pelo método fisiológico .....	42

## SUMÁRIO

	Pg.
1. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
2. <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1. Feijão vigna .....	13
2.2. Ponto de murcha permanente .....	14
2.3. Estresse salino .....	17
2.4. Mecanismos de adaptação da planta ao excesso de sais .....	18
2.5. Solutos compatíveis .....	20
2.5.1. Prolina .....	21
2.5.2. Glicina-betaína .....	22
2.5.3. Carboidratos solúveis totais .....	22
2.6. Potencial hídrico .....	23
2.7. Clorofila .....	24
3. <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
3.1. Localização dos experimentos .....	25
3.2. Caracterização dos solos .....	26
3.3. Descrição dos tratamentos .....	28
3.4. Instalação, condução e colheita dos experimentos .....	30
3.5. Avaliações .....	31
3.5.1. Evapotranspiração .....	31
3.5.2. Ponto de murcha permanente fisiológico .....	32
3.5.3. Umidade da folha .....	33
3.5.4. Prolina livre na folha .....	33
3.5.5. Glicina-betaína na folha .....	34
3.5.6. Carboidratos solúveis totais .....	35
3.5.7. Potencial osmótico foliar .....	35
3.5.8. Clorofila .....	38
3.5.9. Biometria .....	38

3.6.	Análise estatística .....	38
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
4.1.	Evapotranspiração .....	39
4.2.	Ponto de murcha permanente fisiológico .....	40
4.3.	Umidade da folha .....	43
4.4.	Germinação de sementes .....	45
4.5.	Altura das plantas .....	47
4.6.	Número de folhas .....	49
4.7.	Biomassa seca da parte aérea .....	50
4.8.	Prolina livre em folhas .....	52
4.9.	Glicina-betaína em folhas .....	53
4.10.	Carboidratos solúveis totais .....	54
4.11.	Potencial osmótico foliar .....	56
4.12.	Clorofila .....	59
5.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	62
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

Em condições naturais as plantas, frequentemente, estão sujeitas a estresses ambientais que afetam o seu desenvolvimento. O semiárido nordestino é caracterizado por baixas e irregulares precipitações pluviométricas e elevada evapotranspiração. Nessas condições, a escassez de água aliada a salinização e sodificação de solos, por processos naturais e, principalmente, decorrentes do manejo inadequado do solo e da água, são os principais estresses existentes. Barros *et al.* (2005) citam que os maiores problemas de salinização são representados por solos anteriormente produtivos que se tornaram salinos devido a irrigação mal planejada.

Algumas espécies de plantas produzem rendimentos aceitáveis sob condições salinas, em virtude de uma melhor adaptação osmótica, o que permite uma maior capacidade de absorção de água, mesmo em potenciais osmóticos muito baixos (Flowers, 2004). Dentre as estratégias de tolerância da planta a estresses salinos e hídricos tem-se o ajustamento osmótico. O feijoeiro vigna é amplamente cultivado em regiões áridas e semiáridas constituindo-se em um dos principais componentes da dieta alimentar dessas populações. No Nordeste brasileiro, a produção e a produtividade dessa cultura são de 429.375 t e 303,5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (EMBRAPA, 2003). Mesmo sendo considerada uma cultura moderadamente tolerante ao estresse salino, pesquisas têm mostrado que o grau de tolerância do feijão vigna ao estresse salino varia entre genótipos (Dantas et al. 2002).

Ben-Gal *et al.* (2009) citam que a salinidade de águas e solos tem sido frequentemente relacionada a condutividade elétrica, por ser um método prático e rápido de determinação. Entretanto, a apresentação e interpretação de respostas da planta à salinidade em termos de potencial osmótico é mais adequada, visto que possibilita diferenciar entre os efeitos tóxicos e osmóticos da salinidade.

O conhecimento dos parâmetros hidro-edáficos é de fundamental importância para um adequado manejo do solo e da água. Frequentemente os parâmetros para o cálculo da água disponível no solo são estimados em laboratório por meio de tensões equivalentes a 0,010 e 0,033 MPa, respectivamente para a capacidade de campo de solos com texturas arenosas e argilosas e, 1,5 MPa para o ponto de murcha permanente (PMP). Entretanto, alguns autores divergem quanto à retenção de água no PMP, afirmando que o mesmo varia

também com a espécie vegetal e com o estágio de desenvolvimento da planta. Na literatura são poucos os trabalhos que relacionam o ponto de murcha permanente determinado pelo método fisiológico em ambientes salinos.

No manejo da irrigação em áreas salinizadas, quando não é considerado o componente osmótico, para o cálculo do potencial total da água no solo, pode ocorrer o murchamento precoce de plantas ou a aplicação de água em excesso, com impactos negativos na produção e no rendimento de culturas. Nessas condições necessita-se adequar a quantidade de água aplicada e a frequência de rega, visando o uso mais eficiente da água.

Este trabalho teve como objetivos avaliar os efeitos do estresse salino no crescimento, acúmulos de solutos orgânicos, consumo de água e potencial osmótico foliar do feijão, bem como determinar o ponto de murcha permanente fisiológico do feijão vigna.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. FEIJÃO VIGNA

O feijão vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como caupi, macassar e feijão-de-corda é uma leguminosa herbácea cultivada principalmente por agricultores familiares, quer como cultura de subsistência ou comercial nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, gerando emprego e renda. Esta leguminosa é um dos principais componentes da dieta alimentar da população nordestina, cujos grãos são de alto valor nutricional, devido ao seu elevado teor proteico (Lima *et al.* 2007).

No ano de 2003 a área plantada com feijão vigna no mundo foi de aproximadamente 9,8 milhões de hectares, com produção de 3,72 milhões de toneladas de grãos secos e rendimento médio de 378,8 kg ha<sup>-1</sup> (FAO, 2007). O continente africano se destaca como grande produtor dessa leguminosa, onde se sobressai a Nigéria como o maior produtor, com 2,1 milhões de toneladas, seguida pelo Niger, com 0,4 milhão (FAO, 2007). Por ser uma espécie bem adaptada às condições semiáridas, o feijão vigna consegue se desenvolver sob condições adversas de seca, salinidade, temperaturas elevadas e alta insolação. Esses fatores de estresse interagem entre si, determinando respostas complexas na planta (Ribeiro, 2002). Ao avaliarem o consumo d'água do feijão vigna, variedade BR17 Gurguéia, no vale do Gurguéia-PI, Bastos *et al.* (2008) verificaram que o estágio fenológico de maior demanda hídrica da cultura foi o reprodutivo com 5,4 mm dia<sup>-1</sup>. Ainda segundo os autores, com irrigação a cada dois dias, os valores de coeficiente da cultura foram de 0,8 no estágio inicial; 0,8 a 1,1 no estágio de crescimento; 1,1 a 1,4 no estágio reprodutivo e 1,4 a 0,3 no estágio final.

O feijão vigna caracteriza-se por apresentar ciclo curto, baixa exigência em água e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade e, através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tem a capacidade para utilizar o nitrogênio fixado por essas bactérias (EMBRAPA, 2003).

Em estudo realizado no vale do Gurguéia-PI, Bastos *et al.* (2008) contabilizaram um consumo de água do feijão vigna, variedade BR 17, de 288,5 mm ciclo<sup>-1</sup>, o que corresponde a 4,1 mm dia<sup>-1</sup>, para um ciclo de 70 dias.

O feijão vigna tolera água salina com condutividade elétrica de até 3,3 dS m<sup>-1</sup> e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo de até 4,9 dS m<sup>-1</sup> (Ayers e Westcot,

1999), sendo considerada como uma espécie moderadamente tolerante à salinidade. Contudo, o grau de tolerância do feijão vigna ao estresse salino varia entre genótipos (Dantas *et al.* 2002).

A cultivar *pele de moça* do feijão vigna foi obtida a partir do cruzamento do genótipo CNCx 405-24F com CNCx 689-128G. De acordo com Benvindo *et al.* (2010) essa cultivar destaca-se pela precocidade, além de possuir potencialidade para o cultivo irrigado.

## 2.2. PONTO DE MURCHA PERMANENTE

A quantificação da água no solo, juntamente com a caracterização do seu estado energético é fundamental na avaliação das condições para o desenvolvimento das plantas e dos seus processos dinâmicos no solo.

O teor de água retido no solo é característica específica de cada solo e depende do conteúdo e mineralogia da fração argila, do teor de matéria orgânica e da porosidade resultante (Reichardt, 1987; Klein e Libardi, 2000). O conteúdo de argila determina, em grande parte, a distribuição dos diâmetros dos poros do solo, delineando assim a superfície de contato entre as partículas sólidas do solo e a água, o que ocasiona a força de retenção, principalmente em potenciais mais negativos, como no ponto de murcha permanente (Reichardt, 1987).

As plantas podem absorver água do solo desde que o potencial hídrico das suas raízes mais finas seja mais negativo que o da solução do solo na proximidade das raízes (Larcher, 2000). Assim, quando a água no solo diminui, o seu potencial hídrico também é reduzido e as plantas passam a absorver a água do solo com maior dificuldade. Em certas situações um potencial hídrico muito baixo pode ser atingido, onde o teor de água no solo é tão baixo, que a planta não consegue mais extrair água do solo e a perda de turgor é irreversível (Paiva e Oliveira, 2006).

A diferença entre a água que se encontra no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente resulta na água disponível para a planta ou água evapotranspirável (Carlesso, 1995). A redução na disponibilidade de água no solo influencia o crescimento das plantas por controlar a abertura dos estômatos, ocasionando



comprometimento no acúmulo de fotoassimilados, o que implica na redução da produtividade (Morais, *et al.* 2007).

O conceito de ponto de murcha permanente (PMP) surgiu no início do século XX em trabalhos de Briggs e Shantz (1912), seguidos por Veihmeyer e Hendrickson (1928), em que o mesmo foi definido como sendo o teor de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele cresce, atinge um murchamento irrecuperável, mesmo quando colocada em uma atmosfera saturada com vapor d'água. O ponto de murcha permanente representa, portanto, o limite inferior da água disponível no solo para o desenvolvimento das plantas (Tolk, 2003).

Ghanbarian-alavijeh e Millán (2009) investigando as relações entre as dimensões das superfícies das partículas minerais do solo e o conteúdo de água retido, verificaram que a dimensão da superfície da partícula foi positivamente relacionada com a umidade do solo no ponto de murcha permanente. Constataram também que o filme de água retido a -1,5 MPa delinea geometricamente a estrutura da interface poro-sólido.

Vários autores relatam que o ponto de murcha permanente é, normalmente, considerado uma característica estática do solo, ao contrário da capacidade de campo, pois em baixos potenciais matriciais o teor de água no solo varia pouco (Romano e Santini, 2002). Entretanto, para outros pesquisadores, o ponto de murcha permanente depende da textura do solo e da capacidade que cada espécie vegetal tem de extrair água até diferentes limites (Bernardo, 2005). Para Tolk (2003), o ponto de murcha permanente é considerado o produto da combinação dos fatores: planta, solo e atmosfera.

A determinação do ponto de murcha permanente em campo é muito difícil, porque o teor de umidade no solo varia com a profundidade, e sempre haverá movimento d'água de outros pontos, para a região do sistema radicular da planta indicadora do ponto de murcha permanente (Bernardo, 2005). Para a determinação do ponto de murcha permanente são usadas, basicamente, duas metodologias: o método físico ou indireto (em laboratório) e o método fisiológico ou direto, usando-se plantas indicadoras.

**MÉTODO DO EXTRATOR DE RICHARDS.** Richards e Fireman (1943) foram os primeiros cientistas a relatarem as técnicas da placa porosa para determinação dos potenciais da água no solo. Na metodologia descrita por Richards e Fireman a extração da água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo devido à aplicação de uma sobrepressão, que no caso do ponto de murcha permanente equivalente a -1,5 MPa (Nascimento, 2009). O extrator de Richards funciona como uma câmara

(hermeticamente fechada), construída para suportar altas pressões, com placa porosa de alta pressão de entrada de ar em seu interior, com poros bastante pequenos, que permitem, dentro de certos limites, o fluxo de água, porém não o de ar (Fumió, 2004). No método do extrator de Richards, em um mesmo equipamento, é possível se determinar simultaneamente o ponto de murcha permanente de várias amostras de solo. Esse método possui a desvantagem de promover a paralisação da drenagem quando ocorre a interrupção do contato entre a amostra e a placa porosa, além da demora na obtenção dos pontos necessários para a elaboração da curva característica (Costa *et al.* 2008).

**MÉTODO FISIOLÓGICO.** A grande variação do conteúdo de água no solo em que ocorre a murcha permanente em plantas foi notada por pesquisadores alemães, desde 1859. Para avaliar o teor de água no solo responsável pela murcha permanente Briggs e Shantz (1912) testaram vários solos e espécies vegetais. Veihmeyere Hendrickson (1928) continuaram o trabalho de Briggs e Shantz, utilizando o girassol (*Helianthus annuus* L.) como a planta indicadora da murcha permanente.

Costa *et al.* (1997) e Costa *et al.* (2009) encontraram valores muito próximos do ponto de murcha permanente determinado pelos métodos do extrator de Richards (-1,5 MPa) e fisiológico. Entretanto, outros estudos que visam a comparação entre essas metodologias para a determinação do ponto de murcha permanente, revelaram diferentes valores, conforme o material genético testado, o solo e as condições ambientais. De acordo com Romano e Santini (2002) o ponto de murcha permanente pode ser afetado por vários fatores, incluindo: espécie vegetal, tipo de solo e estágio fenológico da cultura.

Em trabalho pioneiro, realizado em solos do Nordeste brasileiro, Oliveira e Martins (1966) constataram que o feijão vigna, usado como planta indicadora, apresenta valores de ponto de murcha permanente inferiores a -1,5 MPa. Vieira (1999) utilizando algodão, girassol e feijão vigna como plantas indicadoras do ponto de murcha permanente, concluiu que o método do extrator de Richards vai perdendo a eficiência à medida em que a textura do solo vai se tornando mais fina, razão pela qual, o método fisiológico não deve ser substituído pelo método do extrator de Richards, quando se quer alta precisão.

Ao avaliarem o ponto de murcha permanente de um Neossolo Flúvico, para as culturas do feijão vigna e da mamona, Pereira *et al.* (2005) encontraram valores mais elevados do ponto de murcha permanente determinado pelo método fisiológico que no método do extrator de Richards. Por outro lado, Klein *et al.* (2006) concluíram que o ponto de murcha permanente de um Latossolo Argiloso, para as culturas do milho e girassol, foi

significativamente menor no método fisiológico que o determinado nas câmaras de Richards.

Estudando respostas fisiológicas e morfológicas do arroz em diferentes manejos da água, Davatgara *et al.* (2009) relatam que a tensão de água de -1,5 MPa, considerada para o ponto de murcha permanente, não é adequada para o arroz. Com isso pode-se inferir que o uso de água pelas plantas depende não só da capacidade do solo para fornecê-la, mas também da habilidade das raízes para absorver a solução do solo com a qual está em contato e, de mecanismos fisiológicos que mitigam as suas perdas para a atmosfera (Moreshet *et al.* 1996). Para Procópio *et al.* (2004) o ponto de murcha permanente (PMP) varia não só entre espécies de plantas, mas também há influência do estágio fenológico da planta sobre o PMP.

Atualmente outras metodologias têm sido utilizadas para a determinação do ponto de murcha permanente do solo. Dentre essas, destaca-se o psicrômetro WP4-T, devido à rapidez nas determinações, visto que o ponto de condensação e a temperatura da superfície da amostra são medidos simultaneamente (Klein *et al.* 2010).

O método escolhido para a determinação do ponto de murcha permanente deve levar em consideração a finalidade para o qual ele será utilizado, os recursos disponíveis para fazer as medições e a exatidão necessária (Tolk, 2003).

### 2.3. ESTRESSE SALINO

A salinização de solos é um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e o rendimento das culturas em todo mundo (Vaidyanathan *et al.* 2003). Estima-se que mais de 800 milhões de hectares no planeta são afetados por salinidade e sodicidade (Munns, 2005). No Nordeste brasileiro, irrigações irracionais e drenagens deficientes têm acelerado esse processo (Gheyi, 2000; Barros *et al.* 2005).

Um solo salino apresenta uma condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo igual ou superior a  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ , ou a aproximadamente 40 mM de NaCl (Richards, 1954; Munns e Tester, 2008).

O excesso de sais tem influência no crescimento de plantas, rendimento de grãos e qualidade da semente (Koyro e Eisa, 2008), afetando o metabolismo geral da planta, causando alterações morfológicas e fisiológicas (Larcher, 2000). A salinização do solo reduz a capacidade das plantas de absorver água, e isso faz com que haja, rapidamente,

reduções na taxa de crescimento com um conjunto de alterações metabólicas semelhantes às provocadas pelo estresse hídrico (Munns, 2002). O excesso de sais ocasiona também um desequilíbrio nutricional devido à elevada concentração iônica, principalmente do sódio, limitando a absorção de outros íons, além de efeitos tóxicos devido ao acúmulo de sais no protoplasma (Santana *et al.* 2009). O elevado teor de sais pode provocar ainda um retardamento na síntese ou aceleração na degradação de proteínas (Dantas *et al.* 2003; Taiz e Zeiger, 2004).

As concentrações de sais na solução do solo que limitam o desenvolvimento das plantas variam amplamente entre os genótipos, mas também em função do tipo de sal, do tempo de exposição da planta ao estresse salino e do estágio de desenvolvimento da mesma (Dantas *et al.* 2002). O menor crescimento da planta, em resposta à salinidade, ocorre principalmente nos tecidos jovens, afetando a divisão e a expansão celular nos pontos de crescimento da planta (Santos, 2006).

Trabalhando com a cultivar Epace 10 de feijão vigna, Assis Júnior *et al.* (2007) verificaram que a redução na produtividade ocasionada pela salinidade deveu-se, em parte, às reduções no crescimento vegetativo e na assimilação líquida de carbono, durante as fases de floração e frutificação, associadas aos efeitos osmóticos e ao acúmulo de íons potencialmente tóxicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) nos tecidos foliares.

Testando a tolerância à salinidade da cultivar *Quarentinha* de feijão vigna, Lima *et al.* (2007) verificaram que a matéria seca da parte aérea da planta decresceu linearmente à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação, alcançando uma redução de 66,94% no maior nível salino ( $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) em relação a testemunha ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Na avaliação do crescimento de três cultivares de feijão vigna submetidos a estresses salinos de 2 e  $10 \text{ dS m}^{-1}$ , Patel *et al.* (2010) constataram que houve redução na biomassa seca da parte aérea da planta com o aumento nos níveis de salinidade, da ordem de 33, 39 e 43%, para as cultivares Akshay-102, Gomtivu-89 e Pusa Falguni, respectivamente.

#### 2.4. MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO DA PLANTA AO EXCESSO DE SAIS

Para suportar o estresse salino, as plantas têm desenvolvido mecanismos complexos, que contribuem para a adaptação aos estresses osmótico e iônico, provocados pela salinização dos solos. É necessário destacar que os genótipos com diferentes graus de

tolerância ao estresse salino refletem, provavelmente, as variabilidades nos graus de eficiência dos mecanismos de aclimação ou adaptação ao excesso de sais no solo (Costa *et al.* 2003; Dias e Blanco, 2010). Dentre os mecanismos de adaptação a salinidade, a redução da área foliar e o controle na abertura dos estômatos são estratégias usadas pelas plantas para reduzir as perdas de água por transpiração, resultando em uma menor taxa fotossintética, o que constitui uma das causas do reduzido crescimento das espécies sob condição de estresse salino (Flowers, 2004; Dias e Blanco, 2010).

Um outro mecanismo utilizado pelas plantas em condições de elevada salinidade é o ajustamento osmótico (Taiz e Zeiger, 2004). O ajustamento osmótico pode ser definido como sendo o acúmulo intracelular de solutos osmoticamente ativos em resposta às condições estressantes de baixa disponibilidade de água e de alta salinidade, o que contribui para a continuidade dos processos fisiológicos, ainda que em níveis de atividades menores (Morgan, 1984; Verslues e Bray, 2004).

As folhas são as estruturas da planta mais sensíveis na percepção dos estresses ambientais. As que são capazes de realizar o ajustamento osmótico mantêm a turgidez para potenciais hídricos mais baixos, o que lhes permite continuarem a crescer e facilitar a manutenção da abertura estomática durante mais tempo. Íons inorgânicos são armazenados no vacúolo, de forma a não interferirem no metabolismo do citoplasma, enquanto os solutos orgânicos são compartimentalizados no citosol, de modo a manter o equilíbrio hídrico entre o vacúolo e o citoplasma (Taiz e Zeiger, 2004).

Como o ajuste osmótico é um processo pelo qual o potencial hídrico da folha pode ser diminuído sem que haja decréscimo do turgor ou do volume celular, o mesmo constitui-se, portanto, num aumento líquido no conteúdo de solutos por célula. A maior parte do ajuste osmótico pode ser calculado pelo aumento da concentração de uma variedade de solutos comuns, incluindo açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e íons inorgânicos, especialmente o  $K^+$  (Taiz e Zeiger, 2004).

Existe grande variação entre diferentes espécies de plantas na capacidade de ajustamento osmótico e isso deve ser considerado ao se medir a habilidade da espécie em suportar determinado estresse. Tem sido observada alta capacidade de ajuste osmótico em espécies como o sorgo e o algodão; ajustes mais moderados no girassol, enquanto o trigo e a soja normalmente apresentam baixa capacidade de ajuste (Meneses *et al.* 2006; Souza, 2007).

A maioria das plantas cultivadas pertence ao grupo das glicófitas, que apresentam reduzido desenvolvimento em ambientes salinos. Nas glicófitas, a compartimentalização de íons inorgânicos ocorre no vacúolo e a acumulação de solutos orgânicos compatíveis no citoplasma, o que mantém a estabilidade entre os diversos compartimentos da célula. As glicófitas, quando submetidas à altas concentrações de sais, mostram sinais de inibição do crescimento, descoloração foliar e redução de biomassa, sendo a inibição do crescimento o sintoma mais característico (Munns, 2002).

Nas halófitas, o ajustamento osmótico também ocorre, porém de forma mais eficiente que nas glicófitas (Hasegawa *et al.* 2000). Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são os solutos mais importantes no ajustamento osmótico da *Atriplex nummularia*, e o  $\text{K}^+$  tem sua contribuição bastante reduzida pela salinidade (Silveira *et al.* 2009). O aumento nos valores da suculência foliar e no conteúdo relativo de água induzido pelo NaCl foram relacionados por Martínez *et al.* (2004) como indicativos de ter ocorrido um efetivo ajustamento osmótico em plantas com estresse salino.

## 2.5. SOLUTOS COMPATÍVEIS

O termo *solutos compatíveis* foi proposto inicialmente por Wyn Jones *et al.* (1977) por serem solúveis e não interferirem no metabolismo citoplasmático, mesmo em altas concentrações. Diversas substâncias possuem função osmoprotetora, em que se destacam açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e íons inorgânicos, os quais compartilham a propriedade de permanecerem invariáveis em pH neutro e serem altamente solúveis em água, contribuindo dessa forma para o ajustamento osmótico celular (Hasegawa *et al.* 2000).

Os solutos orgânicos são compostos bastante solúveis, de baixo peso molecular e que não apresentam toxicidade quando em elevadas concentrações no interior das células (Ashraf e Foolad, 2007). Entre os compostos orgânicos, a prolina e compostos quaternários de amônio, entre eles a glicina-betaína (Figura 1) e os poli-hidroxfílicos (carboidratos e poliálcoois) são os solutos orgânicos mais comumente acumulados em plantas em condições de estresse salino (Ashraf e Harris, 2004).

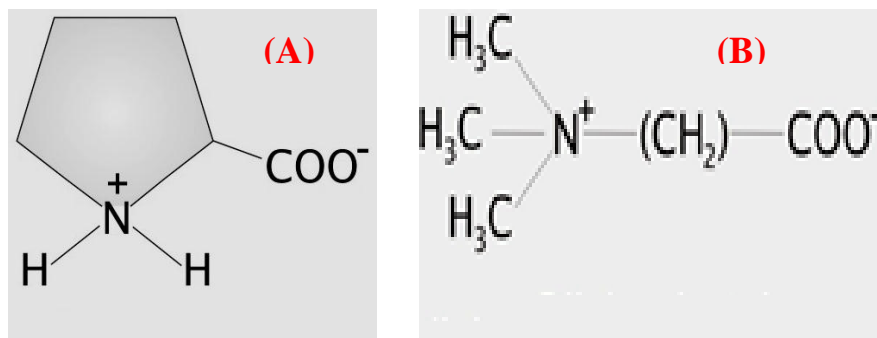


Figura 1 - Prolina (A); Glicina-betaína (B)  
Fonte: Bray *et al.*, (2000).

### 2.5.1. Prolina

A prolina é um iminoácido formado por meio da reação entre a carboxila gama do glutamato e o ATP resultando no composto denominado glutamato-5-fosfato. Dentre os solutos envolvidos no processo de ajustamento osmótico, a prolina tem se destacado na literatura como sendo um soluto compatível que ocorre em plantas em resposta a estresses ambientais. Sua principal função na planta é atuar como agente osmorregulador em diversas espécies vegetais, sendo utilizada como indicador da resposta a estresse salino e hídrico (Wyn Jones e Gorham, 1983). A prolina se acumula em uma variedade de espécies de plantas em resposta a estresses ambientais tais como seca, salinidade, temperaturas extremas, radiação ultravioleta e metais pesados (Siripornadulsil *et al.* 2002; Ashraf e Foolad, 2007). Esse acúmulo está correlacionado à tolerância ao estresse, sendo a concentração deste iminoácido, geralmente encontrada em níveis mais elevados nas plantas tolerantes que nas sensíveis (Ashraf e Foolad, 2007).

Acúmulos de prolina foram encontrados em feijão vigna submetidos a estresse hídrico, sendo esse osmólito considerado um marcador bioquímico do estresse hídrico para os genótipos de ciclo intermediário, diferenciando-os dos genótipos de ciclo tardio (Santos *et al.* 2010). Frequentemente a prolina é acumulada em grande quantidade no feijão vigna apenas sob um estresse salino drástico (Silveira *et al.* 1999).

Praxedes *et al.* (2009) avaliando o efeito da salinidade em dois cultivares de feijão vigna, previamente identificados como tolerante (Pitiúba) e sensível à salinidade (TVu 2331), constataram que o estresse salino inibiu mais o crescimento do cultivar TVu 2331. Testando o acúmulo de prolina em algodão herbáceo, feijão vigna e sorgo, irrigados com

água com condutividade elétrica de até  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ , Souza (2007) verificou que o feijão vigna foi a espécie que mais acumulou prolina, com  $5,66 \mu\text{mol g}^{-1}$  de matéria seca.

Estudo visando avaliar o grau de tolerância de 14 variedades e, ou, linhagens de feijão vigna à salinidade do solo (até  $12 \text{ dS m}^{-1}$ ), identificou os genótipos TE 97-304 G3, IPA 205, Canapu e TE 97-299 G12, como os mais tolerantes ao sal, apresentando bom desenvolvimento quando submetido aos níveis  $3,0$  e  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$  de condutividade elétrica da pasta saturada do solo. Por outro lado, os genótipos IPA 201 e TE 97-299 G12 mostraram tolerância moderada já na salinidade de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  (Dantas *et al.* 2003).

O acúmulo de prolina em plantas sob condições de estresse salino tem sido relatado também em outras culturas, como milho (Turan *et al.* 2009); arroz (Lima *et al.* 2004) e sorgo forrageiro (Oliveira *et al.* 2006).

### **2.5.2. Glicina-betaína**

A glicina-betaína, também conhecida como betaína, é um composto de amina quaternária. Seu acúmulo ocorre nos cloroplastos e sua concentração é correlacionada com o nível de tolerância da planta (Bray *et al.* 2000). Certas plantas acumulam quantidades significativas de glicina-betaína, em resposta à alta salinidade, o frio e a seca. As plantas quando submetidas às condições de estresse salino ou hídrico necessitam diminuir o potencial osmótico intracelular, para tolerar tal condição. Esse osmólito participa como osmoprotetor, estabilizando a estrutura das proteínas e da membrana celular (Sakamoto e Murata, 2000). A literatura tem mostrado que plantas de centeio contêm  $3,2$  e  $15,8 \text{ mg kg}^{-1}$  de betaína, respectivamente em baixa e elevada salinidade, enquanto que plantas de atriplex apresentam  $17,7$  e  $24,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de betaína, respectivamente em baixa e elevada salinidade (Bezerra Neto e Barreto, 2011). Estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2009) concluiu que a glicina-betaína é mais importante quantitativamente do que a prolina para o ajustamento osmótico de folhas de pinhão-manso, tanto na ausência quanto na presença de elevada salinidade.

### **2.5.3. Carboidratos solúveis totais**

Quimicamente os carboidratos são poli-hidroxi aldeídos, poli-hidroxi cetonas ou compostos que por hidrólise produzem esses compostos. Fisiologicamente são compostos



de elevado teor calorífico, servindo como fonte de energia para os organismos em geral. Além da função de reserva energética, merece destaque a função estrutural desempenhada pela celulose, como componente da parede celular dos vegetais (Bezerra Neto e Barreto, 2011).

Estudo objetivando avaliar a resposta de cultivares de feijão vigna (BR 10 Piauí, CE 670, Epace 10, Pitiúba, TVu, Vita 3 e Vita 5) à salinidade, verificou falta de proporcionalidade entre seus níveis de carboidratos solúveis totais e o grau de tolerância à salinidade (Costa *et al.* 2003). Na cultura do sorgo, Lobo *et al.* (2011) observaram maiores concentrações de carboidratos solúveis totais nas plantas submetidas a níveis mais elevados de sais. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira *et al.* (2006), os quais constataram que o teor de carboidratos solúveis totais (CST) foi proporcional ao teor de sal no meio de cultivo e que este varia com o genótipo estudado. Segundo esses autores, o aumento nos teores de CST de 20,2 e 21,3%, observados quando o sorgo foi submetido à salinidade de 10 e 16 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, são indicativos da ocorrência de osmorregulação nessa planta.

## 2.6. POTENCIAL HÍDRICO

O teor de água no solo, ou, mais especificamente o potencial em que a água se encontra no solo exerce controle sobre as condições físicas para o crescimento das plantas. No solo não saturado, a água está submetida a ação dos potenciais: matricial, gravitacional e osmótico (Reichardt, 1987).

Na planta, os componentes mais atuantes do potencial hídrico são o turgor (pressão) e o osmótico (solutos). O potencial de turgor representa a pressão hidrostática da solução. Quando positiva, no interior das células pode ser referida como pressão de turgescência. O valor do potencial de turgor pode ser negativo, no xilema ou entre as paredes das células onde se pode desenvolver pressão hidrostática negativa (Taiz e Zeiger, 2004). Por sua vez, o potencial osmótico, refere-se a presença de sais dissolvidos na solução, os quais reduzem o potencial hídrico da solução, fazendo com que haja diminuição da disponibilidade da água para a planta (Jones, 1992). A redução do potencial osmótico, em reposta ao déficit hídrico pode resultar de uma concentração passiva de solutos devido a desidratação da célula ou a acumulação ativa de solutos, sendo esta última considerada como ajuste osmótico (Patakas *et al.*, 2002).

Na folha, o potencial hídrico caracteriza o seu estado energético, cujos gradientes determinam os fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera. Esse valor indica a diferença entre o estado energético da água no sistema considerado e em um estado de referência (Bergonci *et al.* 2000). No estado padrão de referência, o potencial da água, por convenção, é igual a zero. O estado hídrico vegetal é dinâmico, alterando-se com a disponibilidade de água no solo, com a demanda evaporativa da atmosfera e, também, com os mecanismos de controle da planta (Rodrigues *et al.* 2003).

A determinação do potencial hídrico da planta é frequentemente realizada em folhas. Dentre as diferentes metodologias utilizadas para a determinação do potencial hídrico em plantas, destaca-se a câmara de pressão de Scholander (Scholander *et al.* 1965). Segundo Rodrigues *et al.* (2003) esse método se baseia no princípio de que a pressão hidrostática da seiva xilemática de plantas pode ser avaliada em uma câmara de pressão e daí, correlacionada com o potencial hídrico foliar.

De acordo com Ben-Gal *et al.* (2009) a apresentação e interpretação de respostas da planta à salinidade em termos de potencial osmótico, em comparação à condutividade elétrica, é mais adequada, visto que possibilita diferenciar entre os efeitos tóxicos e osmóticos da salinidade.

## 2.7. CLOROFILA

Taiz e Zeiger (2004) relatam que a concentração de pigmentos fotossintéticos varia conforme a espécie vegetal, cujo teor demonstra a adaptabilidade das plantas a estresses ambientes. Esse teor é influenciado por fatores bióticos e abióticos, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética da planta.

Diversos trabalhos citam alterações no teor de clorofila em folhas de plantas com o aumento da salinidade do solo. Tawfik (2008) observou redução progressiva dos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenóides) no feijão vigna quando o mesmo foi submetido a estresse salino de 50 e 75 mM de NaCl. Testando a tolerância à salinidade em vinte e um cultivares de feijão vigna, Taffouo *et al.* (2009) verificaram que a clorofila total foi significativamente diminuída por soluções salinas (25, 50, 100 e 200 mM de NaCl), especialmente por 200 mM e a magnitude da redução variou de acordo com as cultivares. Praxedes *et al.* (2009) relataram redução no teor de clorofila, em função de

estresse salino (75 mM de NaCl), em duas cultivares de feijão vigna, previamente classificadas como tolerantes ao sal (Pitiúba) e sensível (TVu), notadamente na cultivar TVu. No milho, que é sensível ao sal, Chaum e Kirdmanee (2009) relacionaram o teor de clorofila total e os níveis de salinidade (100, 200, 300 e 400 mM de NaCl) e observaram que a degradação da clorofila em plântulas estressadas foi positivamente correlacionada com o potencial osmótico nos meios de cultura. A redução da clorofila é atribuída a um enfraquecimento do complexo proteína-pigmento, nas cultivares mais sensíveis, devido a indução do sal (Taffouo *et al.* 2009). Por outro lado, Lacerda *et al.* (2006) avaliando o teor de clorofila em folhas de feijão vigna, verificaram aumento em sua concentração, quando cultivado em ambiente salino com 75 mM de NaCl.

Considerando que o teor de clorofila é uma característica fortemente correlacionada com o índice de intensidade da cor verde, Mendonça *et al.* (2010) verificaram aumento de intensidade da cor verde em plantas de eucalipto, quando o mesmo foi submetido à salinidade de 8,33 dS m<sup>-1</sup>. Larcher (2000) relata que plantas afetadas por sais, em geral, são atrofiadas e podem ter folhas de coloração verde escuro que, em muitos casos, são espessas e muito suculentas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação (Figura 2) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada na latitude 08° 00' 57''S e longitude 34° 57' 02''W, em Recife-PE. A temperatura média e a umidade relativa do ar, durante os experimentos, foram de 28,5°C e 70,8%, respectivamente.



Figura 2 - Vista parcial dos experimentos

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Os solos utilizados nos experimentos foram coletados em camadas superficiais (0 a 30 cm) de Neossolos Flúvicos, situados nos municípios de Ibimirim ( $37^{\circ}41'24''$ S de latitude e  $08^{\circ}32'27,6''$ W de longitude) e de Parnamirim ( $08^{\circ}05'26''$ S de latitude e  $39^{\circ}34'42''$ W de longitude) (Figura 3), localizados na zona semiárida do Estado de Pernambuco. Amostras desses solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm.



Figura 3 – Mapa do Estado de Pernambuco com destaque para os municípios de Ibimirim e Parnamirim

A caracterização física dos solos foi realizada de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), sendo determinados a densidade do solo pelo método da proveta, a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, a granulometria pelo método do densímetro de Bouyoucos, a capacidade de campo pelo método do extrator de Richards à -0,010 MPa (solo franco-arenoso) e -0,033 MPa (solo franco-argiloso) e o ponto de murcha permanente pelo método do extrator de Richards à -1,5 MPa, utilizando amostras deformadas (Tabela 1). A porosidade total do solo foi calculada através da equação 1.

$$\text{Eq. 1. Porosidade do solo} \quad Pt = 1 - (ds/dp)$$

Onde: Pt = porosidade do solo; ds = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); dp = densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

Tabela 1 – Caracterização física dos solos

CLASSE TEXTURAL	GRANULOMETRIA			DENSIDADE		POROSIDADE	UMIDADE	
	Areia ..... ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Argila .....	ds .... ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	dp ... ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	Total ( $\text{m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ )	(*) CC ..... ( $\text{g g}^{-1}$ )	(**) PMP .....
Franco-arenosa	782	120	98	1,54	2,45	0,37	0,13	0,02
Franco-argilosa	442	260	298	1,35	2,61	0,48	0,26	0,06

(\*) Capacidade de campo: solo A (-0,01 MPa); solo B (-0,033 MPa); (\*\*) Ponto de murcha permanente (-1,5 MPa); ds = densidade do solo; dp = densidade das partículas.

A pasta saturada foi preparada utilizando-se 500 g de solo, e um período de 16 h para equilíbrio. O extrato saturado foi obtido mediante sucção à vácuo. No extrato da pasta saturada, seguindo a metodologia descrita por Richards (1954) foram determinadas a condutividade elétrica e os cátions solúveis sódio e potássio, por fotometria de chama e, cálcio e magnésio, por espectrometria de absorção atômica (Tabela 2). Calculou-se também os valores da relação de adsorção de sódio (RAS), usando a equação 2.

Eq. 2. Relação de adsorção de sódio (RAS)

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Tabela 2 – Caracterização química dos extratos de saturação dos solos

CLASSE TEXTURAL	CE (dS m <sup>-1</sup> )	CÁTIONS SOLÚVEIS				RAS
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )						
Franco-arenoso	2,2	0,20	1,15	0,71	0,24	0,86
Franco-argiloso	2,4	0,35	1,03	0,86	0,19	1,04

As análises de fertilidade dos solos (Tabela 3) foram realizadas seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

Tabela 3 – Caracterização da fertilidade dos solos

CLASSE TEXTURAL	pH	P (mg dm <sup>-3</sup> )	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
			(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			
Franco-arenoso	7,4	118	3,95	1,58	1,10	0,35
Franco-argiloso	7,0	210	9,30	1,45	1,30	1,46

### 3.3 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

As unidades experimentais foram constituídas de duas plantas contidas em vasos plásticos com capacidade de 3,2 dm<sup>3</sup>, contendo um sistema de drenagem em sua base para permitir o fluxo do lixiviado.

Dois experimentos foram instalados e conduzidos em casa de vegetação. Um para avaliar os efeitos do estresse salino no crescimento, acúmulo de solutos orgânicos,

consumo de água e potencial osmótico foliar do feijão vigna, e outro para determinar o ponto de murcha permanente fisiológico e, o potencial osmótico foliar do feijão vigna sob estresse salino e hídrico. Os experimentos constaram de: duas texturas de solos e quatro níveis de salinização dos solos, correspondentes às condutividades elétricas (CE) de: 4, 8 e 12 dS m<sup>-1</sup> a 25°C, além da testemunha, sem a adição artificial de sais. Com o uso do osmômetro de pressão de vapor determinou-se o potencial osmótico nas soluções salinas correspondentes a cada solução salina (Tabela 4).

Tabela 4 - Detalhamento dos tratamentos utilizados nos experimentos

EXPERIMENTO	CLASSE TEXTURAL	VARIÁVEIS	NÍVEIS DE SALINIDADE			
ESTRESSE SALINO	Franco-arenoso	CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,2	4,0	8,0	12,0
		Ψ <sub>o</sub> (MPa)	-0,012	-0,049	-0,133	-0,215
	Franco-argiloso	CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,4	4,0	8,0	12,0
		Ψ <sub>o</sub> (MPa)	-0,016	-0,049	-0,133	-0,215
ESTRESSE SALINO E HÍDRICO	Franco-arenoso	CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,2	4,0	8,0	12,0
		Ψ <sub>o</sub> (MPa)	-0,012	-0,049	-0,133	-0,215
	Franco-argiloso	CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,4	4,0	8,0	12,0
		Ψ <sub>o</sub> (MPa)	-0,016	-0,049	-0,133	-0,215

A cultura teste utilizada foi o feijão vigna [*Vigna unguiculata* L. (Walp.)], cultivar *pele de moça*, cedida pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 5 repetições, totalizando 40 parcelas para cada experimento.

Os níveis de salinidade utilizados foram adaptados de metodologia descrita por Medeiros (1992) contendo 2/3 de NaCl e 1/3 de CaCl<sub>2</sub>, em estudo para avaliação da água de irrigação em pequenos mananciais do Nordeste brasileiro. Para se obter as condutividades elétricas utilizadas nessa pesquisa, foram realizados ensaios preliminares seguindo o método citado anteriormente. Para o preparo das soluções visando a salinização artificial dos solos, foram utilizados NaCl e CaCl<sub>2</sub>. As condutividades elétricas usadas foram obtidas através das equações de regressão expressas na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentração salina e condutividade elétrica (CE) do extrato da pasta saturada dos solos

CONCENTRAÇÃO SALINA (g kg <sup>-1</sup> )	CE DO EXTRATO DA PASTA SATURADA DO SOLO (dS m <sup>-1</sup> )	
	Solo franco-arenoso	Solo franco-argiloso
0,0	2,22	2,40
0,5	6,36	4,68
1,0	9,75	7,22
2,0	15,96	11,15
Equação	Y = 2,634 + 6,787.x	Y = 2,526 + 4,385.x
R <sup>2</sup>	0,99	0,99

### 3.4 INSTALAÇÃO, CONDUÇÃO E COLHEITA DOS EXPERIMENTOS

Inicialmente foi feito o preenchimento dos vasos colocando-se 2,8 dm<sup>3</sup> de solo, seguido da salinização artificial dos solos, aplicando-se as quantidades de sais previamente calculadas para cada tratamento, conforme equações da Tabela 5.

Em cada vaso foram semeadas seis sementes de feijão vigna. Logo após a germinação, que ocorreu entre 3 e 5 dias após a semeadura, e o estabelecimento das plântulas, foi feito o desbaste deixando-se apenas duas plantas por vaso, o que ocorreu cerca de 7 dias após a germinação. A fim de evitar possíveis tombamentos de plantas, dez dias após a germinação as plantas foram tutoradas com barbante e fio de arame.

A irrigação da cultura foi atendida mediante a aplicação de volumes de água destilada, diariamente para o solo de textura franco-arenosa e a cada dois dias para o solo de textura franco-argilosa, até que houvesse o início da drenagem do lixiviado em cada vaso. Durante toda a condução dos experimentos os líquidos drenados foram reutilizados nas parcelas correspondentes visando as características dos tratamentos. As plantas dos dois experimentos foram irrigadas até os 28 dias após a semeadura, A partir desse momento procedeu-se a suspensão da rega das plantas referentes ao experimento submetido a estresses salino e hídrico (ESH), para determinação do ponto de murcha permanente fisiológico do feijão vigna.

Com o objetivo de corrigir carências nutricionais dos solos, foram aplicados, por vaso, 30 e 50 mL da solução completa de Hoagland e Arnon (Epstein, 2006) para os solos franco-argiloso e franco-arenoso, respectivamente. A referida solução nutritiva foi



preparada com 1/3 de sua força iônica e adicionada à água de irrigação, divididas em duas aplicações com intervalo de sete dias, sendo a primeira realizada três dias após o desbaste.

A colheita das plantas do experimento com estresse salino (ES) ocorreu aos 28 dias após a semeadura, período esse correspondente aos estádios fenológicos inicial e de crescimento do feijão vigna (Bastos *et al.*, 2008), em que as plantas do tratamento testemunha apresentavam 4 folhas definitivas expandidas. Durante a colheita, fez-se inicialmente a separação e pesagem de folhas do terço médio das plantas para determinação do potencial osmótico, prolina e clorofila. O restante da biomassa fresca (folhas e caule) foi pesada e colocada em estufa para secagem a 65°C até a obtenção de massa constante. A quantificação da biomassa seca total da parte aérea da planta foi estimada considerando o valor da umidade do material levado à estufa e da biomassa fresca total da parte aérea.

A colheita das plantas do experimento submetido a estresse salino e hídrico (ESH) foi realizada a partir do estabelecimento do ponto de murcha permanente fisiológico (PMPF) no tratamento testemunha. Quando estabelecido o PMPF, foram colhidas folhas do terço médio das plantas de todos os tratamentos para determinação do potencial osmótico. Foram coletadas também amostras de solo, na profundidade de 0 a 10 cm, visando a determinação do ponto de murcha permanente fisiológico (tratamento testemunha) e da umidade atual (demais tratamentos). Testes preliminares constaram não haver variação de umidade com a profundidade do solo.

A umidade foliar das plantas, em ambos os experimentos, foi determinada através da relação entre a biomassa fresca e a biomassa seca em estufa a 65°C até a obtenção de massa constante.

## 3.5 AVALIAÇÕES

### 3.5.1 Evapotranspiração

A medição dos volumes de água evapotranspirada foi feita aos 7, 14, 21 e 28 dias após a semeadura, nos solos do experimento submetido a estresse salino. No dia anterior à medição, irrigou-se os solos até o início da drenagem dos mesmos. Vinte e quatro horas após, aplicou-se volumes conhecidos de água suficientes para proporcionar nova drenagem

para os recipientes coletores; esperou-se a drenagem cessar e com o auxílio de uma proveta fez-se as medições dos volumes drenados. A diferença de leitura entre os volumes aplicados e drenados correspondeu ao volume de água armazenado no solo de cada parcela. A conversão dos valores de volume de água aplicados em lâmina de água foi realizada considerando a área do vaso com  $188,5 \text{ cm}^2$ .

### 3.5.2 Ponto de murcha permanente fisiológico

Em pré-testes verificou-se que os tratamentos mais salinizados só atingiam a umidade de murcha permanente em prolongado período de tempo, o que ocasionava o amarelecimento e queda de folhas, com limitação na disponibilidade de biomassa foliar para a realização das análises. Diante disso, estabeleceu-se como critério para colheita do experimento, submetido a estresses salino e hídrico (ESH), o momento em que as plantas do tratamento testemunha entrassem em murcha permanente.

Para a obtenção do ponto de murcha permanente fisiológico (PMPF) foi utilizada a metodologia desenvolvida por Briggs e Shantz (1912) e adaptada por Kiehl (1979). Volumes de solo ( $2,8 \text{ dm}^3$ ), em condições de terra fina seca ao ar, foram colocados em vasos plásticos onde, em seguida, foi feita a semeadura do feijão vigna. A salinização artificial do solo foi realizada conforme descrito no item 3.3. Durante a condução da pesquisa, o solo foi mantido em condições de umidade próxima à capacidade de campo até a planta correspondente ao tratamento testemunha apresentar quatro folhas definitivas expandidas. Atingida esta condição, o umedecimento do solo foi suspenso e a superfície do solo coberta com papel alumínio, deixando-se apenas dois orifícios para as passagens das hastes das plantas. Plantas com sintomas de murchamento incipiente foram transferidas para câmara úmida e escura, por períodos de 24h, sucessivas vezes para recuperar a turgescência de suas folhas. Ao restabelecer a sua turgescência as plantas retornavam para a bancada da casa de vegetação. Esse procedimento teve continuidade até a planta atingir a sua murcha máxima e irreversível.

No momento em que foi estabelecido o ponto de murcha permanente no tratamento testemunha, as plantas desse e todos os outros tratamentos foram colhidas. Em seguida, amostras de solo foram coletadas para a determinação da umidade pelo método gravimétrico, sendo esse teor de água do solo considerado o ponto de murcha permanente

fisiológico do tratamento testemunha. O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar na câmara úmida foi feito por meio do uso de um termo-higrógrafo.

### 3.5.3 Umidade da folha

Utilizou-se amostras de folhas, tomando-se a massa do material em estado úmido e em seguida submetendo-as a secagem em estufa à 105°C até as mesmas atingirem a massa constante. O teor de umidade foi determinado com base na relação entre a massa da água contida na folha e a massa da mesma em estado úmido, através da Equação 3. O teor de umidade foliar foi determinado nos dois experimentos.

Eq. 3 – Teor de umidade na folha

$$U = (BMU - BMS) * 100/BMU$$

Considerando que,

U = teor de umidade da folha (dag kg<sup>-1</sup>); BMU = biomassa úmida (g); BMS = biomassa seca em estufa (g).

### 3.5.4 Prolina livre na folha

O teor de prolina no feijão vigna foi determinado nas plantas do experimento submetido a estresse salino (ES) e também nas plantas do tratamento testemunha do experimento submetido a estresses salino seguido de hídrico (ESH), por suspensão da rega, por 11 e 16 dias.

A concentração de prolina foi determinada utilizando-se folhas frescas do terço médio das plantas. A metodologia utilizada para a determinação de prolina livre nas folhas do feijão vigna foi a proposta por Bates *et al.* (1973), modificada por Bezerra Neto e Barreto (2011). Nesse método, amostras com 0,250 g de folhas frescas foram trituradas em ácido sulfossalicílico a 3% em homogeneizador. Em seguida o extrato obtido foi centrifugado por 10 minutos a 1.000 g. Depois se colocou em cada tubo de ensaio rosqueável 1,0 mL do extrato centrifugado, 1,0 mL de ninhidrina ácida e 1,0 mL de ácido acético glacial; em seguida os tubos foram tampados e colocados em banho-maria por uma hora a 100°C e transferidos, em seguida, para banho de gelo. Após esse procedimento,

foram acrescentados 2,0 mL de tolueno e agitados vigorosamente, por 20 segundos, para a separação das fases. O sobrenadante foi aspirado da fase aquosa, para ser feita a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 520 nm. A concentração de prolina foi determinada usando-se a curva padrão, preparada com concentrações conhecidas de prolina: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg L<sup>-1</sup>.

### 3.5.5 Glicina-betaína na folha

A determinação da glicina-betaína foi realizada utilizando-se a biomassa seca obtida a partir da secagem das folhas em estufa a 65°C até a obtenção de massa constante. A metodologia utilizada para a determinação de glicina-betaína nas folhas de feijão vigna foi a proposta por Grieve e Grattan (1983), modificada por Bezerra Neto e Barreto (2011). Amostras com 0,500 g de folhas de feijão vigna (secas e moídas) foram transferidas para frascos de vidro, acrescentado 20 mL de água destilada e colocadas para agitar por 24 horas. Em seguida fez-se a diluição do extrato, pipetando 1 mL do mesmo e acrescentando 1 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 M), mantendo em banho de gelo. Na sequência, homogeneizou-se a mistura e pipetou-se uma alíquota de 500 µL para tubos de centrífuga e manteve-se em banho de gelo por 1 hora. Posteriormente, adicionou-se 200 µL de periodeto de potássio (KI-I<sub>2</sub>) previamente resfriado e agitou-se suavemente em agitador de tubos de ensaio, tipo vortex.

Para preparação da solução de periodeto de potássio pesou-se 20 g de iodeto de potássio, transferiu-se para um béquer contendo cerca de 50 mL de água destilada, acrescentou-se 17,5 g de iodo, dissolveu-se e completou-se o volume para 100 mL com água destilada.

Em seguida, manteve-se os tubos de centrífuga em refrigerador (4°C) por 16 horas, para formação do complexo cristalino de QAC-periodeto. Centrifugou-se por 15 minutos (25.000g a 0°C), manteve-se em banho de gelo e cuidadosamente aspirou-se o sobrenadante, o qual foi desprezado. Na sequência dissolveu-se os cristais do complexo QAC-periodeto em 9 mL de 1,2-dicloroetano e agitou-se vigorosamente em agitador tipo vortex até a completa dissolução. Aguardou-se de 2 horas e fez-se a leitura da absorbância a 365 nm. A concentração de glicina-betaína foi determinada usando-se curva padrão preparada com concentrações conhecidas do referido aminoácido (0, 50, 100, 150 e 200 mg L<sup>-1</sup>).

O teor de glicina-betaína no feijão vigna, foi determinado nas plantas do experimento submetido a estresse salino (ES).

### 3.5.6 Carboidratos solúveis totais

A determinação de carboidratos solúveis totais foi realizada conforme metodologia descrita por Yemm & Wills (1954) modificada por Bezerra Neto e Barreto (2011). Para preparo de extrato em amostras pré-secas foi realizada a pesagem de 0,250 g de amostra pré-seca, a qual foi transferida para um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 20 mL de etanol a 80%. Depois, agitou-se por 30 minutos e fez-se a filtragem em tela de nylon de malha fina. Na sequência, completou-se o volume do filtrado para 50 mL com água destilada, homogeneizou-se e transferiu-se uma alíquota de 10 mL para um tubo de ensaio rosqueável, devidamente identificado. Em seguida, foi preparada uma bandeja de isopor com gelo triturado onde foram colocadas estantes com tubos de ensaio contendo extratos das amostras e das soluções padrões. Depois, pipetou-se para tubos de ensaio, separadamente, 0,2 mL dos extratos das amostras e das soluções padrões, os quais foram mantidos em banho de gelo. Adicionou-se a cada tubo de ensaio, 2,0 mL do reagente antrona, fechou-se hermeticamente os tubos de ensaio e agitou-se suavemente até que a mistura se apresentasse bem homogênea, mantendo os tubos de ensaio em banho de gelo. Cautelosamente transferiu-se os tubos de ensaio para um aparelho de *banho-maria*, regulado a 100°C e manteve-se por aquecimento por 10 minutos para o desenvolvimento da cor (azul esverdeada). Após o desenvolvimento da cor, transferiu-se novamente os tubos de ensaio para banho de gelo e aguardou-se 5 minutos para refrigeração. Em seguida, transferiu-se o conteúdo do tubo de ensaio para uma cubeta espectrofotométrica e fez-se a leitura em espectrofotômetro a 620 nm. Por fim, foram feitos os cálculos e expressos os resultados em termos de percentagem de carboidratos solúveis totais em relação as amostras analisadas.

### 3.5.7 Potencial osmótico foliar

Inicialmente determinou-se a osmolalidade da seiva do tecido foliar do feijoeiro vigna. Para a extração da seiva foliar do feijoeiro vigna folhas do terço médio das plantas foram colocadas dentro de tubo de Eppendorf, previamente perfurado em sua base, o qual

funcionou como um mini-filtro. Com um bastão de vidro fez-se a prensagem do tecido foliar ocasionando a extração da seiva que foi coletada em outro tubo de Eppendorf. Em seguida, o extrato foi centrifugado a 25.000 g durante 10 minutos a 4°C. Uma alíquota de 10 µL do sobrenadante foi utilizada para determinação da osmolalidade do tecido foliar do feijão, usando um osmômetro de pressão de vapor, modelo Wescor 5520 (Figura 4). Os valores de osmolalidade foram expressos em  $\text{mmol kg}^{-1}$ .

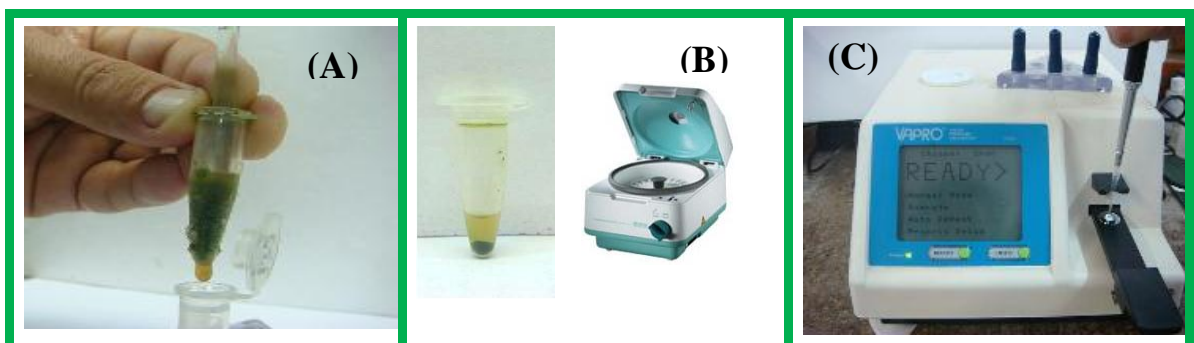


Figura 4 - Prensagem de tecido foliar do feijão e coleta do extrato em tubo de Eppendorf (A); extrato centrifugado (B); adição de amostra para leitura em osmômetro de pressão de vapor (C)

No experimento submetido apenas a estresse salino (ES) essa determinação foi realizada 28 dias após a semeadura, enquanto que no experimento submetido a estresses salino seguido de hídrico (ESH), a determinação foi realizada assim que as plantas do tratamento testemunha entraram em murcha permanente. Objetivando avaliar também a distribuição do potencial osmótico foliar em função da localização da folha na planta fez-se essa determinação nas folhas cotiledonares e secundárias do feijoeiro, correspondendo a seguinte notação: [1] = folhas cotiledonares e [2], [3], [4] e [5] = folhas secundárias, (Figura 5) considerando o sentido da folha mais velha para a mais nova. Essa determinação foi realizada nas plantas do tratamento testemunha em função de maior disponibilidade de folhas.

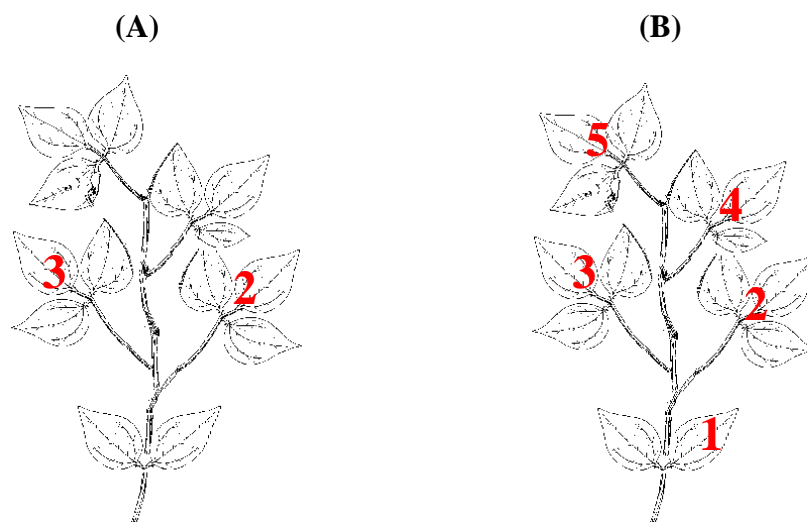


Figura 5 – Localização das folhas utilizadas para a determinação do potencial osmótico no terço médio das plantas (A) e; ao longo de toda a planta (B)

Os valores de potencial osmótico foram obtidos a partir da osmolalidade ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ) da seiva do tecido foliar. Os valores do potencial osmótico gerados pela equação de Van't Hoff (Equação 4) são expressos em atmosferas, os quais foram convertidos em MPa.

Eq. 4 – Potencial osmótico

$$\psi_o = - R \cdot T \cdot C$$

Onde:

$\psi_o$  = Potencial osmótico da seiva do tecido foliar (atm)

R = Constante universal dos gases ( $0,082 \text{ atm} \cdot \text{°K}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

T = Temperatura absoluta da solução ( $\text{°K}$ )

C = Concentração de solutos na solução ( $\text{mol L}^{-1}$ )

Os valores de potencial osmótico obtidos através da equação de Van't Hoff, em atm, foram convertidos para MPa.

### 3.5.8 Clorofila

A determinação do teor de clorofila foi realizada utilizando-se folhas colhidas no terço médio das plantas. Para a análise de clorofilas *a*, *b* e total foi utilizada a metodologia de Arnon (1949), modificada por Bezerra Neto e Barreto (2011). Com uma alíquota de 10 mL do extrato etanólico filtrado, centrifugou-se e fez-se a leitura espectrofotométrica a 663 e 645 nm. Com o auxílio das equações, a seguir, calculou-se as concentrações de clorofila *a*, *b* e total.

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 12,72 \cdot A_{663} - 2,59 \cdot A_{645}$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 22,88 \cdot A_{645} - 4,67 \cdot A_{663}$$

### 3.5.9 Biometria

**TESTE DE GERMINAÇÃO:** utilizou-se placas de petri contendo soluções com condutividades elétricas de 0, 2, 4, 8 e 12 dS m<sup>-1</sup> preparadas conforme metodologia descrita por (Medeiros, 1992), contendo 2/3 de NaCl e 1/3 de CaCl<sub>2</sub>. Em cada placa foram colocadas 10 sementes de feijão vigna sobre papel toalha embebido com a solução salina correspondente. Para cada tratamento foram usadas três repetições e as determinações foram realizadas 4 dias após o semeio.

**ALTURAS DE PLANTAS:** considerou-se a distância vertical entre a superfície do solo e a inserção do caule com a última folha.

**NÚMERO DE FOLHAS:** contagem das folhas expandidas.

**BIOMASSA SECA:** determinada após secagem da biomassa fresca da parte aérea (folhas e caule) em estufa a 65°C até a obtenção de massa constante.

## 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram interpretados por meio de análises de variância e de regressão. O critério para a escolha do modelo foi o maior valor do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), através do programa estatístico SAEG (2007).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Evapotranspiração

Os resultados para o solo franco-arenoso (Figura 6A) mostram que em todos os períodos avaliados houve respostas lineares e decrescentes para a evapotranspiração da cultura, em função dos níveis de salinidade do solo. Aos 28 dias após a semeadura, a maior lâmina evapotranspirada foi verificada no tratamento testemunha (8,01 mm dia<sup>-1</sup>) e a menor (4,34 mm dia<sup>-1</sup>) no tratamento com salinidade do solo igual a 12 dS m<sup>-1</sup>, o que correspondeu a uma redução de 45,8%. Comportamento semelhante foi verificado para o solo franco-argiloso (Figura 6B), cujo maior valor evapotranspirado pelo feijão foi verificado no tratamento testemunha (7,66 mm dia<sup>-1</sup>), enquanto que no tratamento com salinidade do solo igual a 12 dS m<sup>-1</sup>, a ETc foi de 3,02 mm dia<sup>-1</sup>, o que correspondeu a uma redução de 60,5%. As lâminas médias evapotranspiradas foram de 5,1 e 5,3 mm dia<sup>-1</sup>, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente. Segundo EMBRAPA (2003) esses valores variam de 4,3 a 6,4 mm dia<sup>-1</sup>, dependendo da cultivar e das condições climáticas do local.

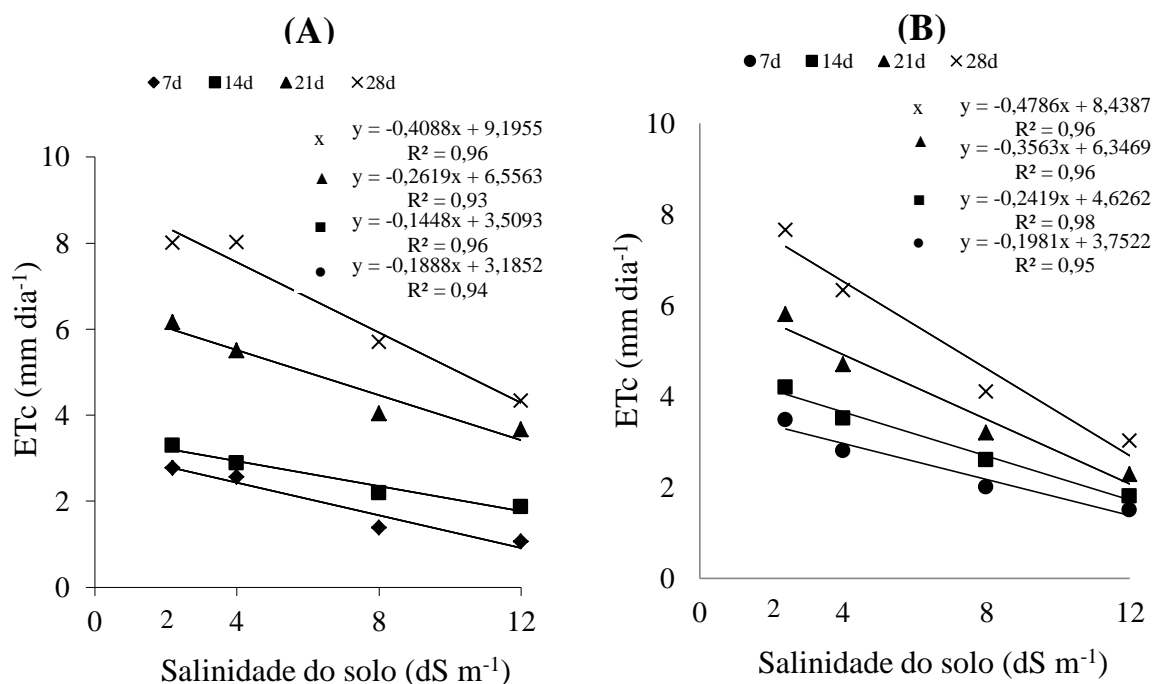


Figura 6 – Evapotranspiração do feijão vigna (ETc) em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B) aos 7, 14, 21 e 28 dias após a semeadura

Analisando-se os dados da Figura 6, sugere-se que a diminuição do consumo de água está relacionada com a ação do componente osmótico que dificulta a absorção de água pela planta. Como consequência, o feijoeiro teve seu crescimento afetado pelos níveis de salinidade do solo apresentando alterações morfológicas (folhas menores e menor número de folhas) que também contribuíram para um menor consumo de água pela planta. Não houve efeito significativo dos solos sobre o consumo de água pela planta.

Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2007) no qual o consumo de água do feijão vigna sofreu redução de 47% no tratamento com salinidade de  $8 \text{ dS m}^{-1}$  em comparação com a testemunha ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Os resultados obtidos na pesquisa sugerem que a quantidade de água aplicada para a irrigação do feijoeiro vigna em áreas salinizadas deve levar em consideração o componente osmótico. Caso contrário, poderá ocasionar elevação nos custos de produção (água, energia, mão-de-obra), além de reduzir a fertilidade do solo por lixiviação excessiva. Tomando como exemplo os dados obtidos no presente experimento (solo franco-arenoso), o volume de água a mais aplicado ao solo, caso não seja considerado o componente osmótico, corresponde a  $36,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  por rega, para irrigar o feijoeiro vigna em solo com condutividade elétrica de  $12 \text{ dS m}^{-1}$  em comparação com o solo do tratamento testemunha ( $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ).

#### **4.2 Ponto de murcha permanente fisiológico**

Após a suspensão da rega por 11 e 16 dias, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente, o ponto de murcha permanente fisiológico do feijão vigna só foi estabelecido no tratamento testemunha. Nos demais tratamentos, devido a adaptação da planta à condição de estresse, o feijoeiro não apresentou sintomas de murcha irreversível nos períodos considerados de estresse hídrico.

Os resultados (Figura 7) mostraram que houve respostas lineares e crescentes das umidades retidas nos solos em função da salinidade dos extratos de saturação dos solos. No solo franco-arenoso (Figura 7A) a menor retenção de água no solo ( $0,015 \text{ g.g}^{-1}$ ) ocorreu no tratamento testemunha ( $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), enquanto que o maior armazenamento de água no solo ( $0,133 \text{ g.g}^{-1}$ ) foi verificado no tratamento com maior salinidade ( $12 \text{ dS m}^{-1}$ ). Comportamento semelhante também foi observado no solo franco-argiloso (Figura 7B). O menor armazenamento de água ( $0,050 \text{ g.g}^{-1}$ ) ocorreu no tratamento com a salinidade do solo de

2,4 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que no tratamento com a maior salinidade do solo (12 dS m<sup>-1</sup>) a umidade retida foi de 0,215 g g<sup>-1</sup>.

Ressaltam-se os elevados teores de umidade do solo obtidos nos solos franco-arenoso e franco-argiloso (0,133 e 0,215 g g<sup>-1</sup>) dos tratamentos com salinidade correspondente a 12 dS m<sup>-1</sup>. Nessa condição de estresse salino e hídrico, o feijoeiro passou a consumir menos água do solo, possivelmente por apresentar maior dificuldade para absorver a água do solo (componente osmótico), além de possuir menos folhas e menor área foliar.

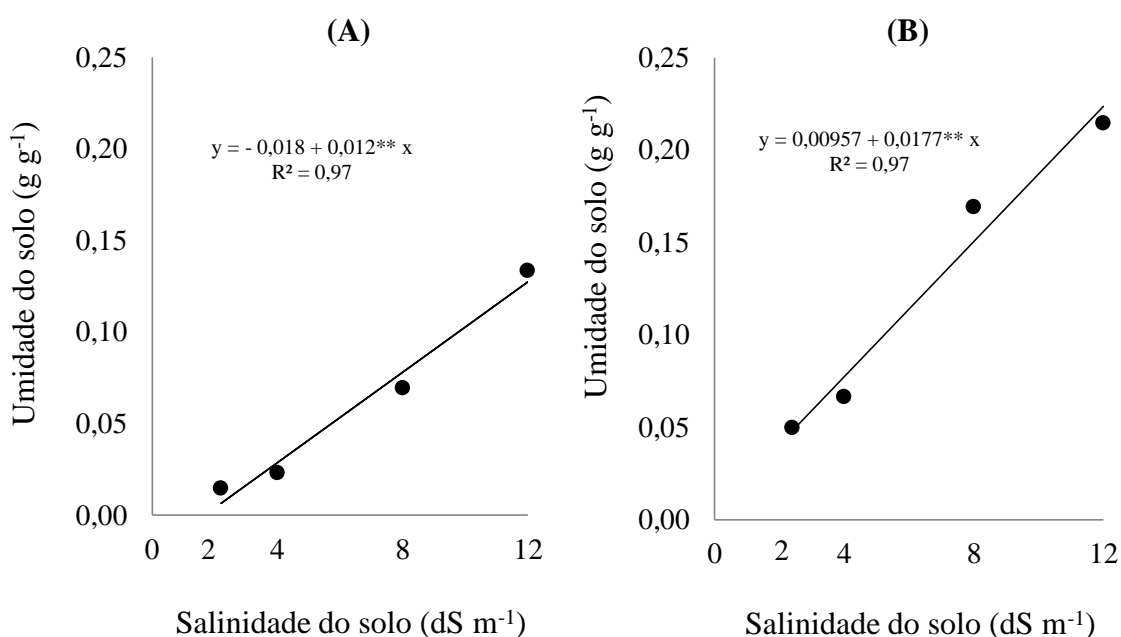


Figura 7 – Umidade retida nos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), em função da salinidade dos solos, após a suspensão da rega por 11 e 16 dias, respectivamente

Os valores de ponto de murcha permanente obtidos pelos métodos do extrator de Richards e fisiológico, usando o feijão vigna como cultura indicadora, encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Ponto de murcha permanente obtido pelo método do extrator de Richards e pelo método fisiológico

MÉTODO	PONTO DE MURCHA PERMANENTE (g g <sup>-1</sup> )	
	Solo Franco-arenoso	Solo Franco-argiloso
Extrator de Richards	0,020	0,059
Fisiológico	0,015	0,050

Os resultados (Tabela 6) mostraram valores maiores do ponto de murcha permanente obtidos pelo método do extrator de Richards em relação ao fisiológico, o qual superou o método direto em 33,3 e 18,0%, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente. Esses resultados evidenciam que o feijão vigna foi capaz de extrair água a potenciais mais baixos que -1,5 MPa, o que contribuiu para o aumento da água disponível no solo para as plantas em relação ao valor obtido no método do extrator de Richards. Isso pode significar maior tolerância do feijão vigna à seca em relação a outras espécies.

Os resultados obtidos são semelhantes aos descritos por Oliveira e Martins (1966); Souza *et al.* (2002); Klein *et al.* (2006) nos quais os valores do ponto de murcha permanente fisiológico foram inferiores aos obtidos pelo método do extrator de Richards. Os diferentes conteúdos hídricos para o ponto de murcha permanente observados por diversos pesquisadores, quando utiliza a metodologia de Richards podem ser atribuídos a simplificação do método, que não considera as diferenças inerentes as plantas quanto a capacidade para extrair água do solo (Oszust *et al.* 2010).

Considerando as texturas dos solos verifica-se um maior armazenamento de água no solo franco-argiloso, o que possibilitou o feijoeiro suportar cinco dias a mais que o cultivado no solo de textura franco-arenosa para entrar em murchamento permanente (tratamento testemunha). Isso deveu-se possivelmente ao maior teor de argila presente no solo franco-argiloso (298 g kg<sup>-1</sup>) em relação ao solo franco-arenoso (98 g kg<sup>-1</sup>).

Na Figura 8 têm-se ilustrado a sequência de etapas para o estabelecimento do ponto de murcha permanente no feijão vigna, desde os sintomas de murcha incipiente ou reversível (Figura 8A), uso da câmara úmida para recuperar turgidez (Figura 8B) e o estabelecimento da murcha irreversível, quando a planta não recupera mais a sua atividade vital, mesmo por novos aportes de água (Figura 8C). Esta condição difere do murchamento

temporário que ocorre sempre que há excesso de transpiração da planta sobre a absorção de água, situação frequente em dias muito quentes e secos.

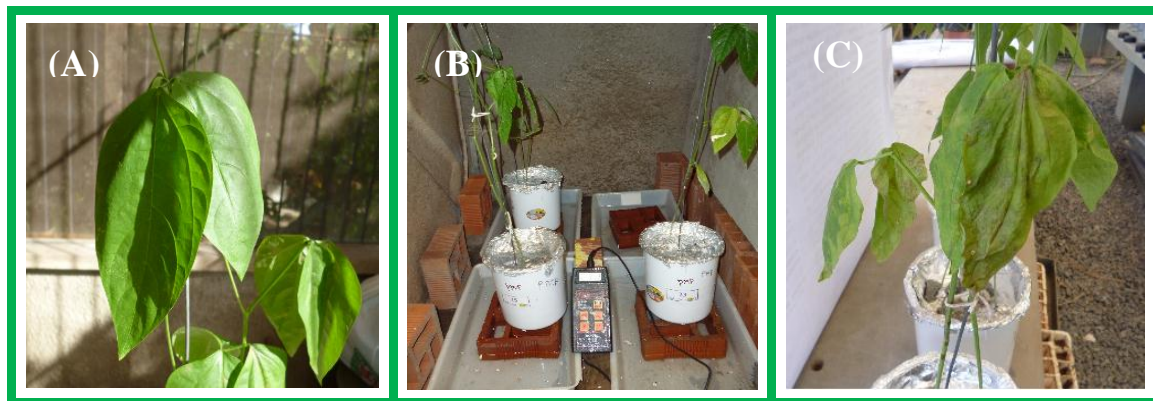


Figura 8 - Folhas de feijoeiro vigna apresentando sintoma de murcha incipiente (A); câmara úmida contendo feijoeiros (B); feijoeiro vigna em estado de murcha permanente (C)

### 4.3 Umidade da folha

As relações entre os teores de umidade na folha do feijoeiro vigna e a salinidade do solo, com e sem estresse hídrico, não evidenciaram relação significativa entre essas variáveis (Figura 9). A manutenção da turgescência foliar, verificada nas plantas submetidas a estresse salino, pode ser um indicativo de um eficiente mecanismo protetor constituído de ajuste osmótico e redução da transpiração.

Resultados semelhantes foram obtidos por Costa *et al.* (2003) os quais verificaram não haver alteração na turgescência foliar do feijão vigna (cultivares TVu, CE 670, Vita 3 e BR 10 Piauí) com o aumento da salinidade (até 75 mM de NaCl). Também na cultura do pinhão-manso, Silva *et al.* (2009) não observaram redução da suculência foliar na presença de sal (até 100 mM de NaCl).

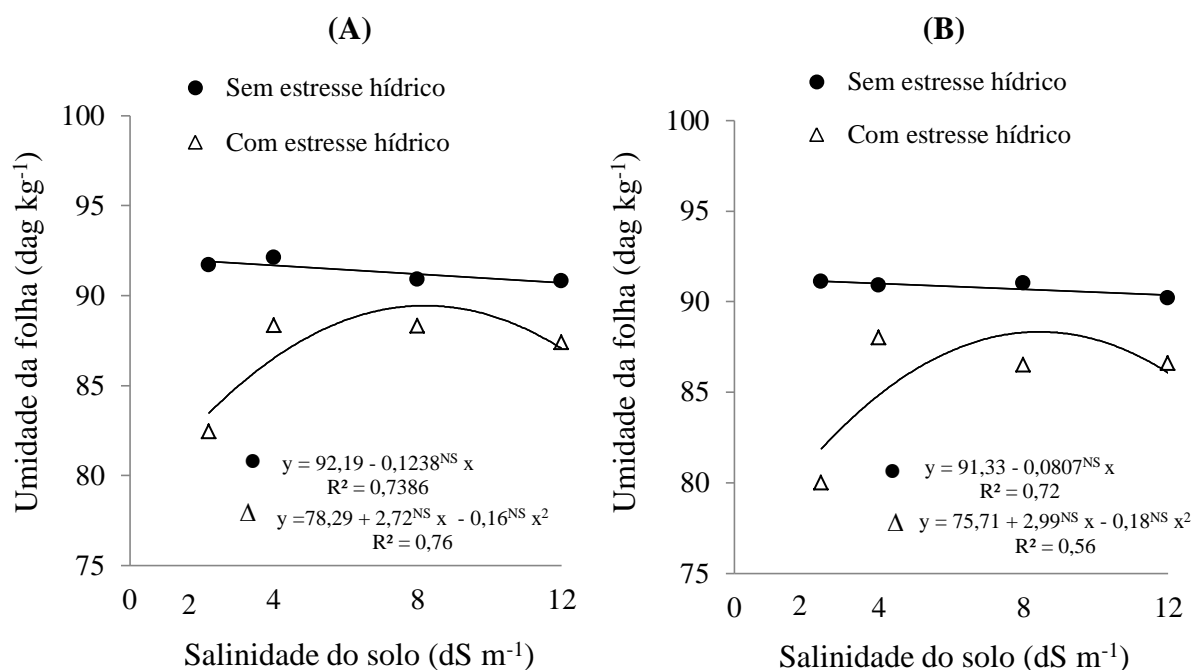


Figura 9 - Umidade da folha do feijoeiro vigna, com e sem estresse hídrico, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B)  
 NS = Resultado não significativo.

Quando se suspendeu a irrigação por onze e dezesseis dias (solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente), para o estabelecimento do ponto de murcha permanente fisiológico, verificou-se forte declínio do teor de umidade nas folhas das plantas do tratamento testemunha, em comparação com os demais tratamentos. Esses resultados evidenciam uma maior tolerância do feijoeiro vigna ao déficit hídrico, quando o mesmo é submetido simultaneamente a estresses salino e hídrico, pela existência dos mecanismos protetores anteriormente citados.

Durante o estabelecimento do ponto de murcha permanente, notadamente as folhas dos feijoeiros vigna (tratamento testemunha) apresentavam aumento da turgescência com a elevação dos níveis de salinidade do solo (Figura 10).

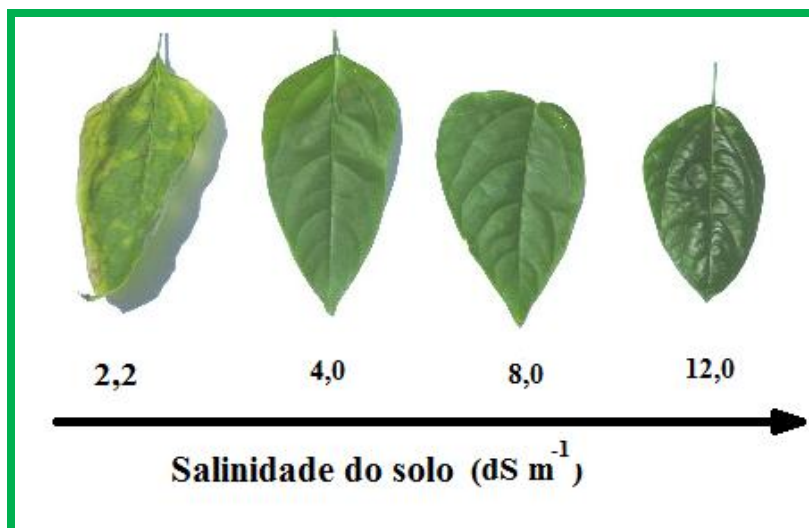


Figura 10 - Folhas de feijoeiros vigna submetidos a salinidade do solo, 11 dias após a suspensão da rega

#### 4.4 Germinação de sementes

Na Figura 11A observa-se que houve efeito da salinidade na germinação de sementes de feijão vigna para o tratamento mais salino ( $12 \text{ dS m}^{-1}$ ) com redução de 16,7% na germinação em relação a testemunha (sem a adição de sais). Verifica-se também que nos demais tratamentos ( $0, 2, 4$  e  $8 \text{ dS m}^{-1}$ ) não houve redução dos níveis de germinação das sementes em função do estresse salino aplicado.

Resultado semelhante foi obtido por Dantas *et al.* (2005). Os autores verificaram que a germinação de sementes das cultivares de feijão vigna: Pitiúba, Epace 10 e Canapu, diminuiu 6,1; 10,7 e 25%, respectivamente, quando submetidas a  $100 \text{ mM}$  de NaCl ( $\sim 10,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) em relação a testemunha (sem a adição de sais).

A análise de regressão da biomassa fresca das plântulas (BFP) do feijão submetidas a níveis de salinidade (Figura 11B) revelou resposta linear e decrescente da BFP com o aumento da salinidade do solo. Ao se comparar a biomassa fresca da plântula no tratamento testemunha (sem a adição de sais) com os tratamentos submetidos a salinidade de  $4, 8$  e  $12 \text{ dS m}^{-1}$ , observa-se reduções de 0,4; 9,6 e 21,8%, respectivamente. Esses retardos no desenvolvimento das plântulas ocorreram devido ao excesso de sais nas proximidades da rizosfera do feijão, com conseqüente limitação na absorção de água pela plântula devido ao baixo potencial osmótico das soluções aplicadas. Com isso, os processos de divisão e alongamento celular são afetados, bem como a redistribuição de

reservas necessárias para o processo de germinação e crescimento (Costa *et al.* 2003). Segundo Dell'Aquila e Spada (1993) em situação de estresse salino a síntese de proteínas é fortemente inibida, causando redução no teor de proteína dos cotilédones, o que pode explicar o efeito da salinidade na germinação. Nesse estudo verificou-se que características associadas ao vigor, como a biomassa do hipocótilo, mostraram-se mais sensíveis que a germinação na resposta do feijoeiro vigna aos sais, o que pode ser considerado como critério em programas de seleção de genótipos tolerantes à salinidade.

Esses resultados estão em conformidade aos obtidos por Santos (2006) nos quais a salinidade pouco inibiu a germinação das sementes de feijão *Phaseolus*, mas reduziu drasticamente o vigor das plântulas.

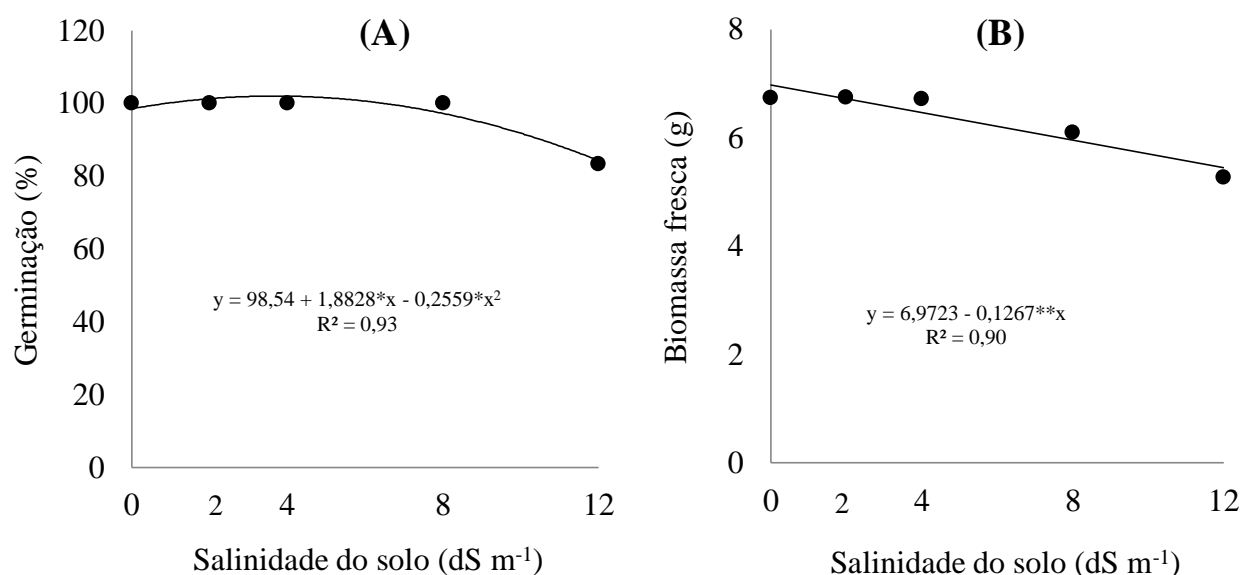


Figura 11 – Relação entre a percentagem de germinação do feijão vigna e a salinidade da solução aplicada (A); relação entre a biomassa fresca da plântula de feijão vigna e a salinidade da solução aplicada, 4 dias após a semeadura (B)

Na Figura 12 visualiza-se menor desenvolvimento de plântulas de feijão vigna com o aumento da salinidade do meio.



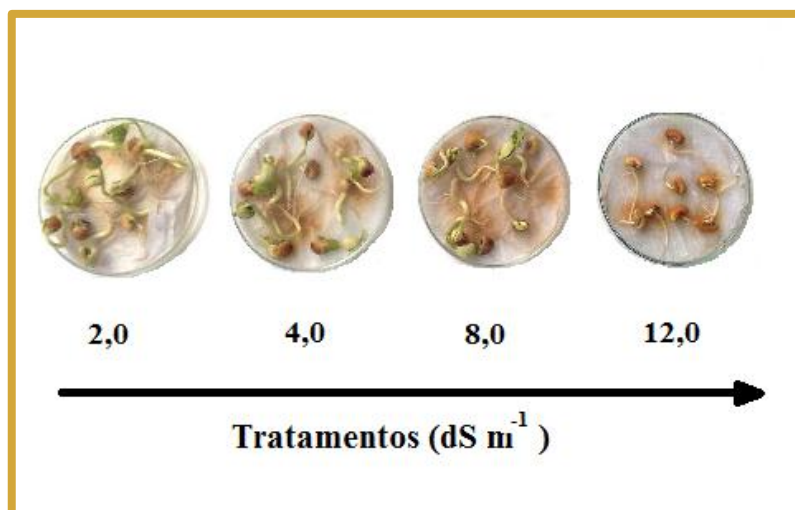


Figura 12 – Placas de Petri contendo sementes de feijão vigna germinadas em soluções salinas

#### 4.5 Altura das plantas

Para o solo franco-arenoso (Figura 13A) verifica-se que a maior altura do feijoeiro foi observada no tratamento testemunha (93,9 cm), enquanto que no tratamento com salinidade do solo igual a 12 dS m<sup>-1</sup>, o feijoeiro apresentou 23,6 cm de altura, que corresponde a uma redução de 74,8%. Comportamento semelhante foi verificado para o solo franco-argiloso (Figura 13B), no qual a altura do feijoeiro no tratamento testemunha (99,8 cm) foi reduzida em 84,0% em relação a altura da planta no tratamento mais salino (12 dS m<sup>-1</sup>). Tanto para o solo franco-arenoso como para o solo franco-argiloso ocorreram respostas lineares decrescentes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos pelo teste da regressão linear, de 0,99.

A redução do crescimento do feijoeiro vigna sob estresse salino pode ser explicada pela diminuição do potencial osmótico da solução do solo, a qual ocasiona maior dificuldade de absorção de água, como também pela possibilidade da ocorrência de toxicidade iônica em função do acúmulo excessivo de determinados íons.

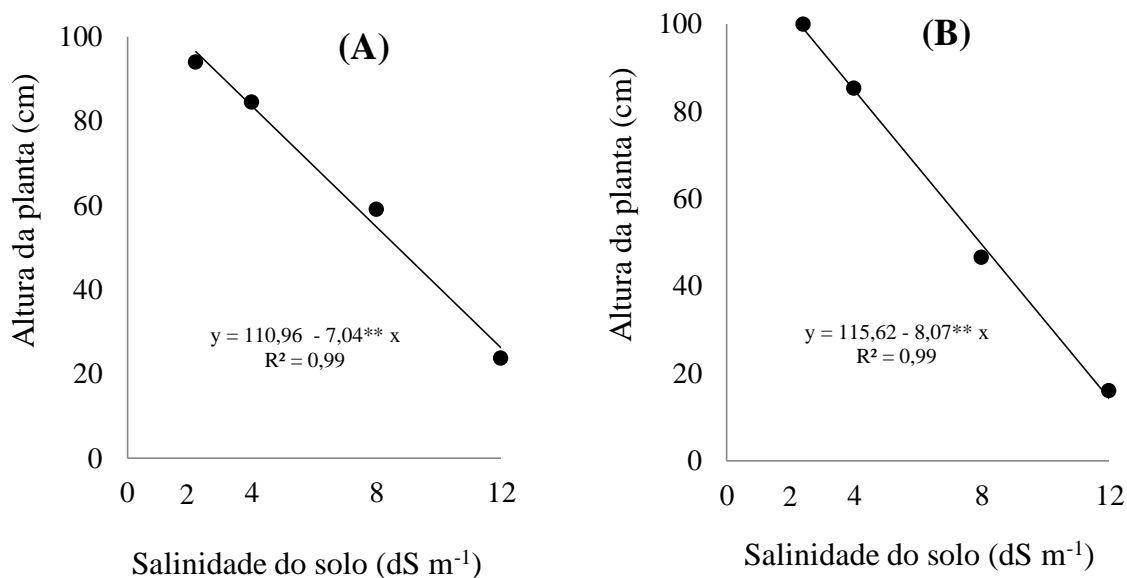


Figura 13 – Relação entre a altura do feijoeiro vigna e a salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura

Esses resultados estão em conformidade com os obtidos por Lima *et al.* (2007) os quais observaram diminuição na altura do feijoeiro vigna em cerca de 42,86% nas plantas irrigadas com água com condutividade elétrica de 5,0 dS m<sup>-1</sup>, em comparação com o tratamento testemunha (0,5 dS m<sup>-1</sup>), após 45 dias da semeadura. Taffouo *et al.* (2009) também constataram reduções nas alturas de feijoeiros vigna (cultivares IT97K-573-1-1; IT97K-573-2-1; IT98K-615-6-1; IT00K-218-22; IT03K-337-6; IT04K-227-2; IT04K-321-2; Mouola GG; Mouola PG) quando foram submetidos à salinidade de 50 mM ( $\cong$  6,5 dS m<sup>-1</sup>), em relação ao tratamento testemunha.

A Figura 14 ilustra feijoeiros vigna submetidos a diferentes níveis de salinidade do solo, aos 21 dias após a semeadura. Observa-se um menor crescimento do feijoeiro com o acréscimo dos sais no solo.

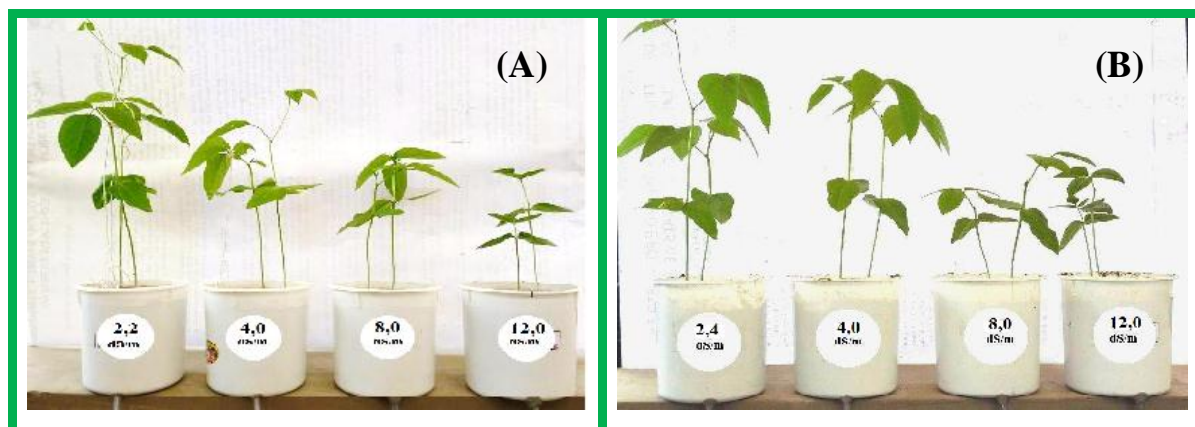


Figura 14 - Feijoeiros vigna, submetidos à salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 21 dias após a semeadura

#### 4.6 Número de folhas

A análise estatística mostrou haver relação negativa entre os níveis de salinidade do solo e a quantidade de folhas da planta, aos 28 dias após a semeadura para ambos os solos. Para o solo franco-arenoso (Figura 15A) as plantas do tratamento testemunha apresentaram 4,2 folhas, enquanto que no tratamento mais salino ( $CE = 12 \text{ dS m}^{-1}$ ) as plantas produziram apenas 2,1 folhas, correspondendo a uma redução de 50%. Comportamento semelhante foi observado para o solo franco-argiloso (Figura 15B), no qual houve uma redução de 59% na quantidade de folhas, quando se comparou o tratamento testemunha com o tratamento mais salino. A redução no número de folhas no feijoeiro vigna pode estar relacionada ao menor crescimento da planta devido a restrição no processo de absorção. Como consequência, há redução do fluxo de água no sentido solo-planta-atmosfera, ocasionando alterações morfológicas e anatômicas na planta. Oliveira da Silva *et al.* (2009) também verificaram redução no número de folhas no feijão vigna (48,7%) à medida que se aumentou o nível salino da água da irrigação, de 0,5 para 5,0  $\text{dS m}^{-1}$ .

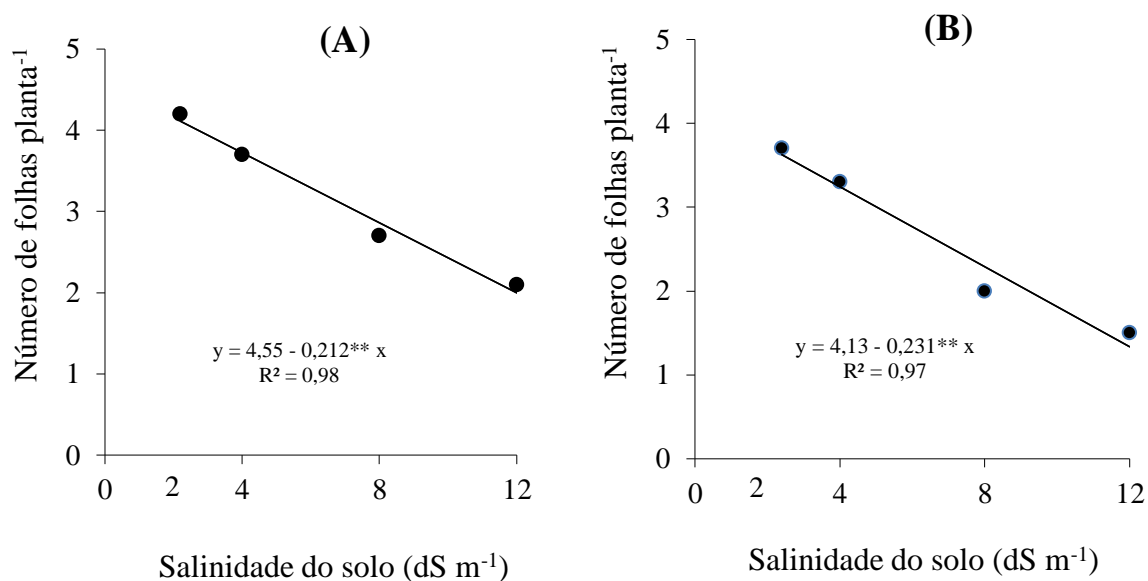


Figura 15 - Número de folhas expandidas em feijoeiros vigna em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura

#### 4.7 Biomassa seca da parte aérea

Os resultados mostraram que para ambos os solos houve respostas lineares dos níveis de salinidade do solo, influenciando de forma negativa a biomassa seca da parte aérea (BSPA) do feijão vigna. Aos 28 dias após a semeadura, as BSPA da planta nos tratamentos mais salinos foram reduzidas em 64,5 e 60,7%, respectivamente (Figuras 16) em relação a BSPA das plantas dos tratamentos testemunha correspondentes (0,96 e 1,05 g).

A redução da biomassa seca da parte aérea da planta verificada com o aumento da salinidade do solo ocorreu, possivelmente, devido ao efeito osmótico dos sais em torno das raízes e do acúmulo de íons potencialmente tóxicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) nos tecidos foliares. Como consequência, a planta passou a exercer um maior controle na abertura dos estômatos para evitar a excessiva perda de água por transpiração. Entretanto, o fechamento dos estômatos afeta a difusão do  $\text{CO}_2$  para dentro das células, com consequente redução na taxa de fotossíntese e crescimento da planta (Larcher, 2000; Souza *et al.* 2011). O menor crescimento do feijoeiro funciona como um mecanismo adaptativo ao ambiente salino, proporcionando condições para que a planta mantenha suas atividades vitais, mesmo que de forma limitada. Os resultados obtidos confirmam Doorenbos e Kassam (1994) os quais

afirmam que a restrição hídrica, por aumento da salinidade do solo, tem efeito direto no crescimento de plantas.

Comportamento semelhante foi observado por Lima *et al.* (2007), ao verificarem redução de 66,94% na biomassa seca da parte aérea do feijão vigna (cultivar *Quarentinha*), quando o mesmo foi irrigado com água com condutividade elétrica de  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ , em comparação com a testemunha ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Tawfik (2008) também verificou redução do crescimento e rendimento do feijão vigna com o aumento das concentrações de NaCl (0, 25, 50 e 75 mM).

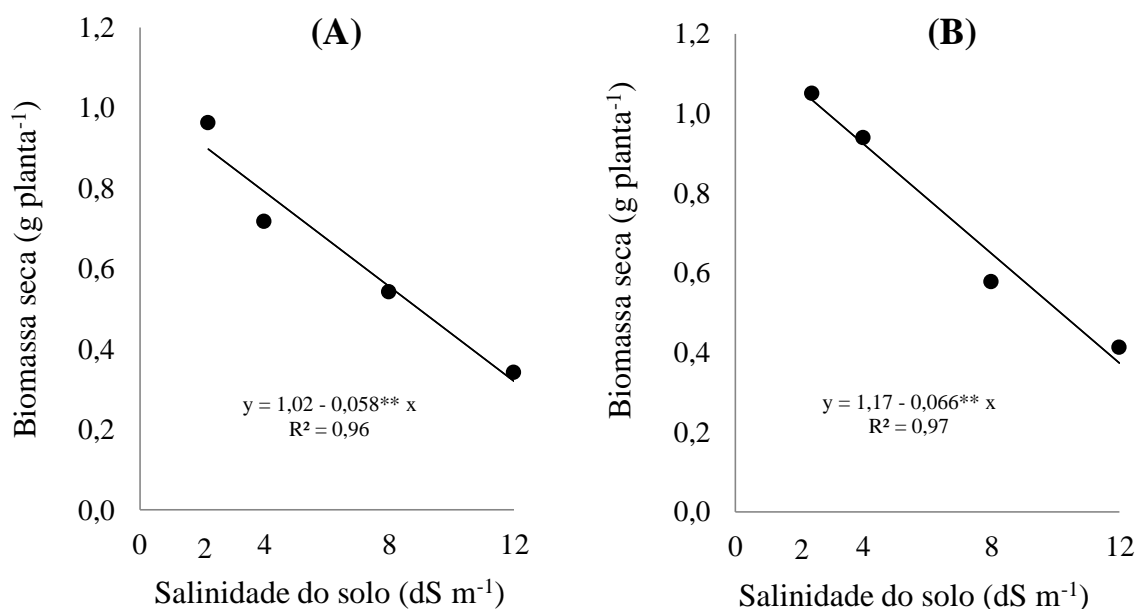


Figura 16 - Biomassa seca da parte aérea de feijoeiros vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura

Considerando as texturas dos solos estudados verifica-se que no tratamento testemunha, embora não significativo estatisticamente, houve um incremento de 9,4% na biomassa seca do feijão cultivado no solo franco-argiloso em relação ao cultivado no solo franco-arenoso.

#### 4.8 Prolina livre em folhas

Verifica-se no solo franco-arenoso (Figura 17A) que o teor de prolina ( $0,871 \text{ mmol g}^{-1}$  de matéria fresca (MF)) no tratamento mais salino superou o teor no tratamento testemunha ( $0,534 \text{ mmol g}^{-1}$  de MF), havendo um incremento de 63,0% no acúmulo desse osmólito, denotando a atuação da prolina no ajustamento osmótico do feijão vigna. Por sua vez, no solo franco-argiloso (Figura 17B) também houve uma resposta linear crescente em função da salinidade do solo. O tratamento mais salino superou a testemunha em 83,8%. Tal comportamento pode representar um importante mecanismo na manutenção da turgidez do feijoeiro vigna, permitindo-lhe suportar o estresse salino durante o desenvolvimento da planta, devido ao acúmulo compartimentalizado desse soluto no citosol. Desta forma, é possível inferir que o acúmulo crescente desse soluto nas folhas das plantas estressadas é importante indício de que o feijão vigna utiliza esse mecanismo para melhorar a sua turgescência foliar.

Quando o feijoeiro foi submetido a salinidade de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  houve acréscimos de apenas 6,7 e 8,0% no teor de prolina em comparação ao tratamento testemunha, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente, o que sugere moderada tolerância a salinidade do feijão vigna. Estudos realizados em feijão vigna para determinação do teor de prolina em folhas tem constatado que existe um teor limiar de sal a partir do qual se desencadeia o acúmulo de prolina na planta.

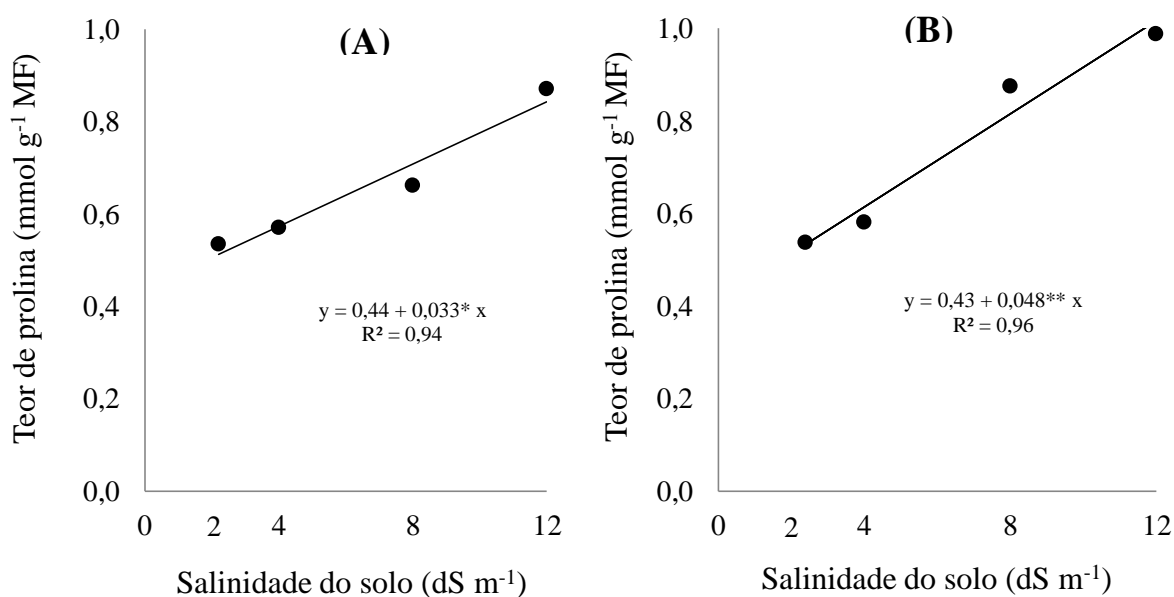


Figura 17 – Teor de Prolina livre em folhas de feijão vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura

Resultados semelhantes foram encontrados por Patel *et al.* (2010) trabalhando com três cultivares de feijão vigna, os quais verificaram pequeno acúmulo de prolina para as condutividades elétricas do extrato de saturação do solo de 2 e 4 dS m<sup>-1</sup>, cujos valores foram de 3,12 e 3,88 mg g<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), respectivamente. Entretanto para a condutividade elétrica de 10 dS m<sup>-1</sup> o teor de prolina no feijão foi de 6,45 mg g<sup>-1</sup> MS. Estudo realizado por Souza *et al.* (2011) no feijão vigna (cultivar Vita 7) também verificou acúmulos significativos de prolina apenas nos tratamentos submetidos a elevadas concentrações salinas (200 mM de NaCl), denotando resposta significativa da planta em concentrações mais elevadas de sais.

No tratamento testemunha quando o feijoeiro vigna foi submetido a estresse salino seguido de estresse hídrico, por 11 e 16 dias para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente, observou-se acréscimos de 147 e 115% no teor de prolina, quando comparado com o teor desse iminoácido nas plantas submetidas apenas a estresse salino. Constata-se, portanto, a habilidade adaptativa do feijoeiro vigna (cultivar *pele de moça*) às condições de estresse salino e hídrico, mantendo o nível de hidratação das células. Isto se deve, provavelmente, a uma diminuição no potencial osmótico da folha, devido ao aumento do teor de solutos compatíveis (incluindo a prolina), visando se ajustar osmoticamente e proteger as plantas da desidratação. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa *et al.* (2006) pesquisando o efeito da desidratação sobre os níveis de prolina em feijão vigna cv. *Manteguiha*. Após 9 dias de supressão hídrica os teores de prolina na planta aumentaram 76,9%, em comparação com as plantas não estressadas.

#### **4.9 Glicina-betaína em folhas**

A relação entre o teor de glicina-betaína e as salinidades dos solos (Figura 18) foi testada e os resultados mostraram não haver relação significativa entre essas duas variáveis. Esses resultados são contraditórios aos obtidos por Tawfik (2008) que verificou aumento no teor de glicina-betaína nas folhas do feijão vigna, com o aumento da salinidade (25, 50 e 75 mM de NaCl), alcançando o valor de aproximadamente 6,2 mg g<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), para a concentração de 75 mM. No pinhão-manso a contribuição desse

osmólito quando submetido à salinidade de 100 mM de NaCl, foi de apenas 4% (Silva *et al.* 2009).

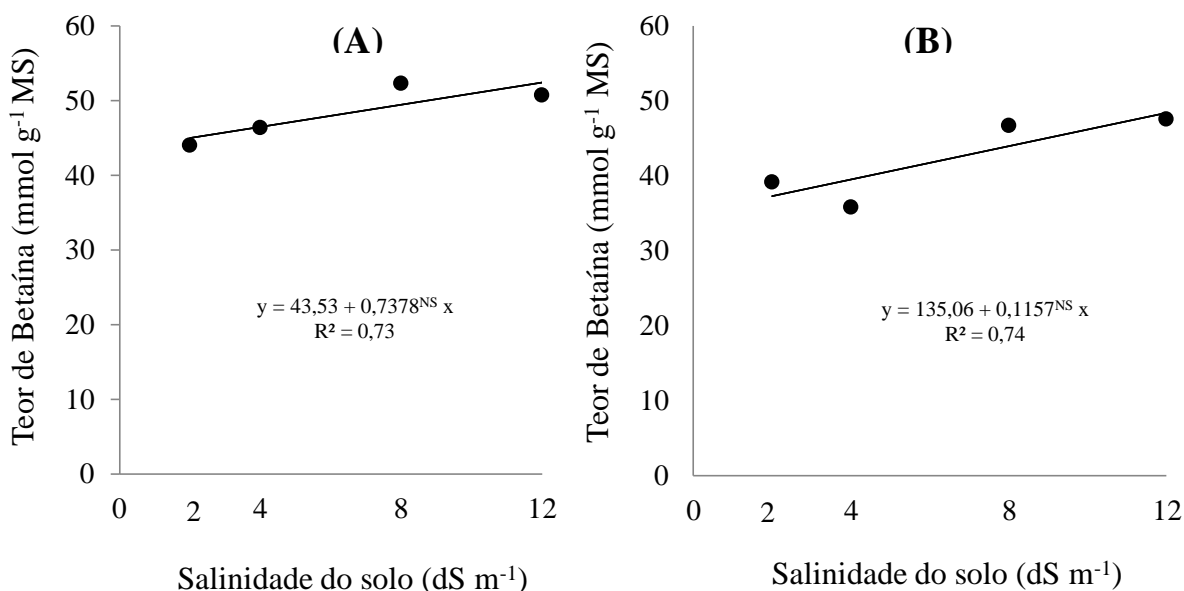


Figura 18 – Relação entre glicina-betaína em folhas de feijoeiros vigna e salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura  
NS = Resultado não significativo.

#### 4.10 Carboidratos solúveis totais

Houve uma resposta linear e crescente para o teor de carboidratos solúveis totais (CST) nas plantas, aos 28 dias após a semeadura, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,87 e 0,82 para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente (Figura 19). Para o solo franco-arenoso (Figura 19A) verifica-se que o maior teor de carboidratos solúveis totais do feijoeiro foi observado no tratamento com maior salinidade do solo (0,111 mg g<sup>-1</sup>), enquanto que no tratamento testemunha o teor de CST foi de 0,081 mg.g<sup>-1</sup>, o que corresponde a um aumento de 37,0%. Comportamento semelhante foi verificado para o solo franco-argiloso (Figura 19B), no qual o teor de CST foi de 0,095 e 0,077 mg g<sup>-1</sup>, para os tratamentos mais salino e testemunha, respectivamente, o que representou um acréscimo de 23,4%.



O acúmulo de CST nas folhas do feijão vigna ocorreu, provavelmente, para evitar a perda de água da célula, indicando possível defesa do vegetal sob condições adversas. Verifica-se, portanto, a contribuição desse composto orgânico no ajustamento osmótico do feijão vigna submetido a estresse salino.

Resultados semelhantes foram obtidos por Tawfik (2008), o qual constatou aumento de aproximadamente 22% nos teores de carboidratos solúveis totais em folhas de feijão vigna, submetidos a salinidade de 75 mM de NaCl, em comparação com a testemunha (sem a adição de sais). Em outro estudo, Silva *et al.* (2003) também verificaram aumento no teor de carboidratos solúveis totais nas folhas de feijão vigna cultivar Pitiúba, após o mesmo ser submetido a salinidade de 75 mM de NaCl e CaCl<sub>2</sub> no estágio de pré-floração.

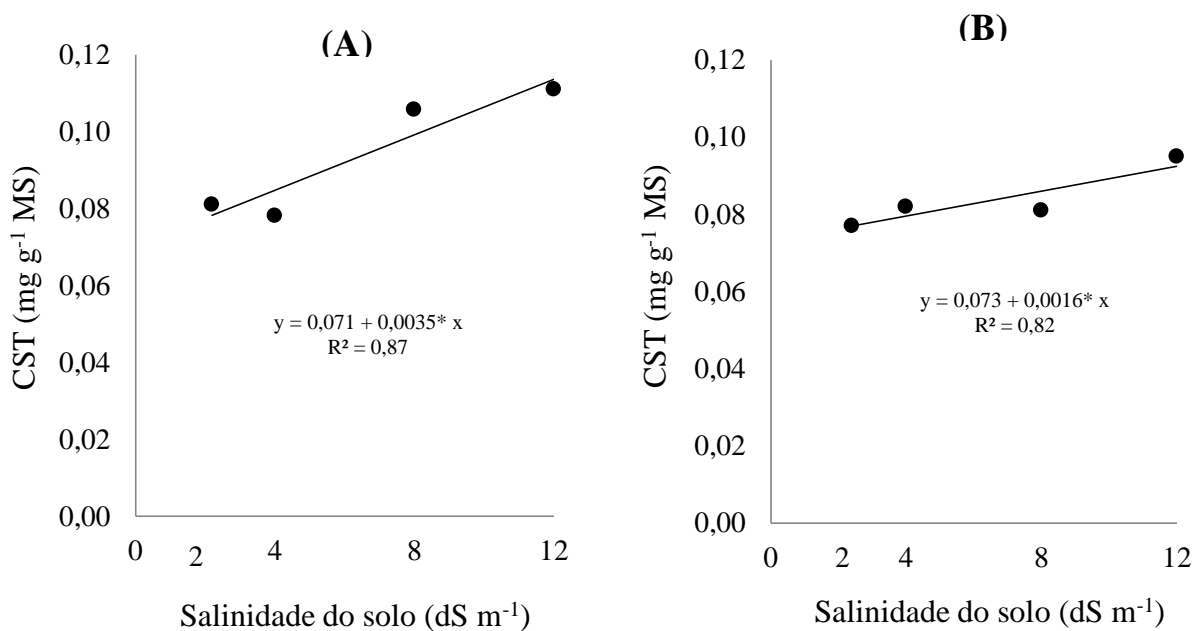


Figura 19 – Carboidratos solúveis totais (CST) em folhas de feijoeiros vigna, em função da salinidade dos solos franco-arenoso (A) e franco-argiloso (B), aos 28 dias após a semeadura

#### 4.11 Potencial osmótico foliar

Os dados mostram que houve uma resposta linear e decrescente do potencial osmótico foliar do feijão vigna, em função da salinidade dos solos (Figura 20A). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de 0,99 e 0,96, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente, mostram uma alta relação entre essas variáveis. No solo franco-arenoso, o maior potencial osmótico (-0,648 MPa) foi observado no tratamento testemunha (2,2 dS m<sup>-1</sup>), enquanto que no tratamento com maior salinidade (12 dS m<sup>-1</sup>) o potencial osmótico foliar do feijão apresentou valor de -1,012 MPa, que corresponde a uma queda de 56,2%. No solo franco-argiloso, o maior potencial osmótico (-0,734 MPa) também foi verificado no tratamento com a menor salinidade do solo, enquanto que no tratamento mais salino o potencial osmótico foliar do feijão apresentou valor de -1,110 MPa, que corresponde a uma redução de 51,3%.

Os valores de potencial osmótico revelaram que no tratamento com maior salinidade ocorreu grande redução no status energético da água na planta. Mesmo com os níveis salinos aplicados e a intensa demanda evaporativa observada no ambiente da casa de vegetação, a cultura foi capaz de manter seus processos metabólicos, mesmo que em níveis menores, através de mecanismos que evitam a perda de água. Sugere-se assim que houve o desenvolvimento de mecanismos de adaptação do feijoeiro vigna aos estresses salino e hídrico, incluindo o acúmulo de solutos nos tecidos foliares, com consequente ajustamento osmótico, permitindo a manutenção dos processos metabólicos nessa condição adversa.

Na Figura 20B é mostrada a relação entre o potencial osmótico foliar e a salinidade do solo, após estresse hídrico, por suspensão da rega por 11 e 16 dias, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente. Para o solo franco-arenoso, a análise dos dados mostrou não haver modelo estatístico para explicar significativamente a redução do potencial osmótico foliar em função da salinidade do solo. No solo franco-arenoso, o maior potencial osmótico (-1,125 MPa) foi verificado no tratamento com menor salinidade do solo, enquanto que no tratamento com maior salinidade (12 dS m<sup>-1</sup>) o potencial osmótico foliar do feijão apresentou valor de -1,233 MPa, o que corresponde a uma redução de 10,9%. No solo franco-argiloso, o melhor ajuste dos dados foi obtido por meio do uso de equação quadrática. O maior potencial osmótico (-1,097 MPa) foi verificado no tratamento testemunha, enquanto que no tratamento com a maior salinidade o potencial osmótico foliar do feijão apresentou valor de -1,164 MPa, que corresponde a uma redução de 6,2%.

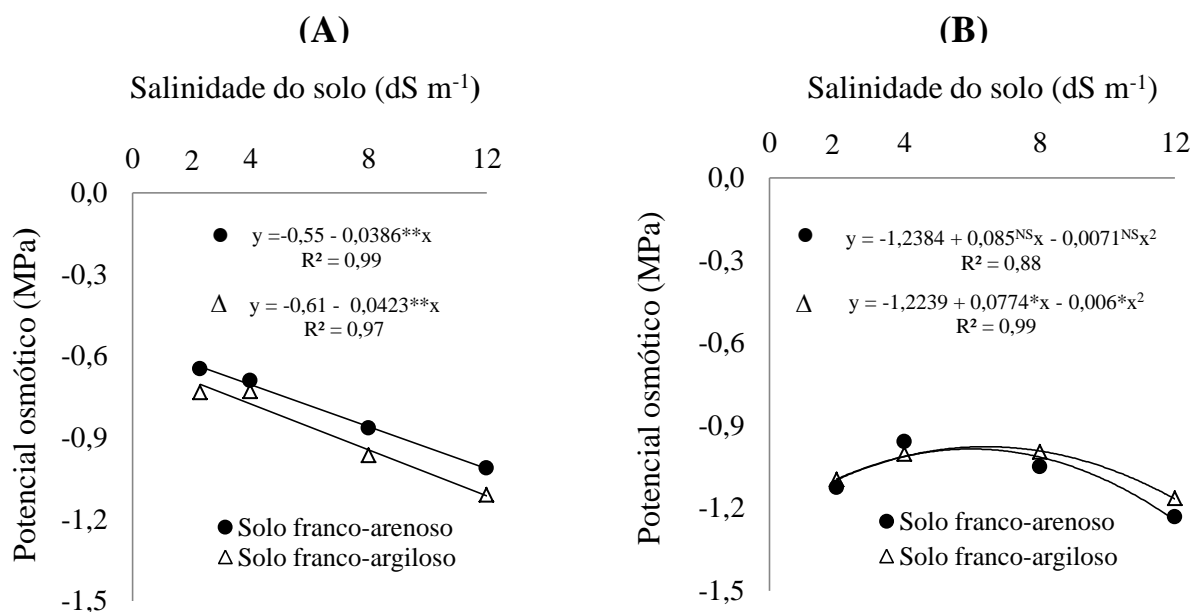


Figura 20 – Potencial osmótico foliar do feijoeiro vigna, em função da salinidade dos solos, submetidos a estresse salino (A) e estresses salino seguido de estresse hídrico (B)  
NS = Resultado não significativo.

Na comparação entre os potenciais osmóticos das folhas do feijoeiro vigna submetidos a condição de estresse salino (Figura 20A) e de estresses salino seguido de estresse hídrico (Figura 20B), observa-se que houve redução do potencial osmótico em todos os tratamentos, com destaque para a testemunha, que decresceu 73,6 e 49,5% em relação ao seu manejo sem estresse hídrico, para os solos franco-arenoso e franco-argiloso, respectivamente.

Durante toda a aplicação dos estresses salino e hídrico no feijão, as folhas das plantas submetidas às salinidades do solo correspondentes a 8 e 12 dS m<sup>-1</sup>, apresentaram-se sempre expandidas, sugerindo ótimos níveis de turgescência.

Esses resultados tem respaldo em trabalho desenvolvido por Souza *et al.* (2011) que observaram diminuição do potencial hídrico em folhas de feijoeiros vigna com o aumento da salinidade (200 mM de NaCl). Hasegawa *et al.* (2000) citam redução do potencial osmótico devido à alta acumulação de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup>. Souza *et al.* (2011) mencionam que os solutos orgânicos, como os carboidratos solúveis totais, também contribuem para a redução do potencial osmótico das folhas de feijão vigna em ambientes salinos submetidos a 200 mM de NaCl.

A salinidade de águas e solos tem sido relacionada à condutividade elétrica, por ser um método prático e rápido. Existe dificuldade de encontrar trabalhos que abordem as relações hídricas no sistema solo-água-planta em ambientes salinos, que expressam os resultados em termos de potencial osmótico (Souza, 2010). Entretanto, o potencial osmótico é uma medida mais sensível do estado hídrico da planta. Estudo desenvolvido por Ben-Gal *et al.* (2009) com o objetivo de avaliar respostas do feijão, milho e melão, à salinidade, verificou na resposta expressa em condutividade elétrica, que os efeitos do estresse de Na e Ca parecem ser de diferentes magnitudes; o crescimento das plantas foi mais sensível para o excesso de Na do que para o excesso de Ca. Entretanto, os efeitos dos dois sais foram indistinguíveis quando a salinidade foi expressa em termos de potencial osmótico da água. Assim, a apresentação e interpretação da resposta à salinidade em termos de potencial osmótico parece ser mais adequado, visando diferenciar entre os efeitos tóxico e osmótico da salinidade.

Quanto a diferença do potencial osmótico em relação ao posicionamento das folhas na planta, observa-se que houve uma redução progressiva do potencial osmótico na planta em função da idade da folha na planta (Figura 21). Quanto mais nova a folha menor foi o seu potencial osmótico. O potencial osmótico (-0,686 MPa) observado na folha mais velha (cotiledonar) foi reduzido em 52% em relação a folha apical [5] (-1,042 MPa). O reduzido potencial osmótico verificado nas folhas mais novas pode ser explicado devido as plantas armazenarem grandes quantidades de potássio nos tecidos meristemáticos (Gomes e Paiva, 2004).

Considerando que a média dos potenciais osmóticos verificados nessa pesquisa foi de -0,854 MPa, o qual se aproxima mais do potencial osmótico da folha [3] (-0,886 MPa), sugere-se o uso do valor obtido no terço médio da planta como o mais representativo do potencial osmótico foliar do feijão vigna.

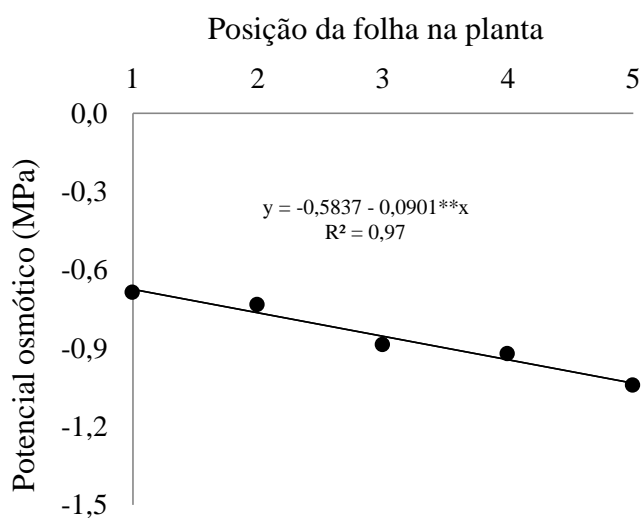


Figura 21 - Potencial osmótico foliar de feijoeiro vigna, de acordo com o posicionamento da folha na planta, no tratamento testemunha, no solo franco-arenoso, aos 28 dias após a semeadura

#### 4.12 Clorofila

Houve uma resposta linear e crescente para o teor de clorofila nas folhas das plantas com o incremento da salinidade do solo, aos 28 dias após a semeadura, principalmente para a clorofila *a* (Figura 22). Na comparação entre os tratamentos com maior e menor salinidade do solo houve acréscimo nos teores de clorofila *a* e *b* de 60,7 e 45,6%, respectivamente. O teor de clorofila total também apresentou uma resposta linear crescente.

Esses resultados podem constituir parte de um processo integrado de aclimação da planta ao estresse salino.

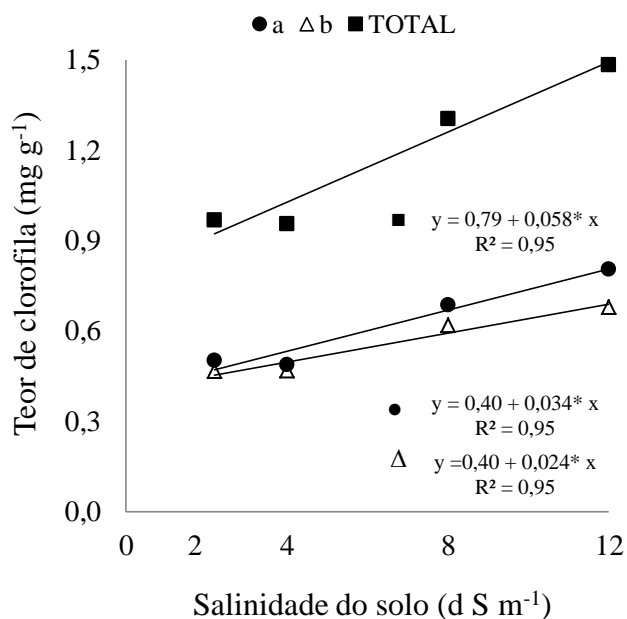


Figura 22 - Clorofila *a*, *b* e total em folhas de feijão vigna, em função da salinidade do solo franco-arenoso, aos 28 dias após a semeadura

Resultados semelhantes foram encontrados por Lacerda *et al.* (2006), nos quais o teor de clorofila no feijão vigna (cultivar Pitiúba) aumentou quando as plantas foram submetidas à salinidade de 75 mM de NaCl ( $\cong 8,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Trabalho realizado por Graciano *et al.* (2011) com a cultura do amendoim (cultivar BR-1) também constatou aumento dos teores de pigmentos fotossintéticos (54%) quando as plantas foram submetidas a salinidade de  $8,5 \text{ dS m}^{-1}$ , em relação a testemunha ( $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Resultados contraditórios foram obtidos por Tawfik (2008) no qual o feijão vigna submetido a estresses salinos de 25, 50 e 75 mM de NaCl, apresentou um progressivo declínio dos pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenóides) aos 30, 60 e 90 dias da semeadura. Trabalho realizado por Lima *et al.* (2004) com a cultura do arroz mostrou que a salinidade ( $> 25 \text{ mM de NaCl}$ ) não afetou a formação de clorofila *a*, *b* e total, de cultivares tolerantes ao sal (BRS Bojurú e IAS 12-9 Formosa), porém reduziu acentuadamente o teor de clorofila na cultivar, BRS Agrisul, sensível ao sal.

Observa-se nas folhas do feijão vigna (Figura 23) um nítido gradiente de coloração verde, com maior intensidade à medida que a planta foi submetida a níveis crescentes de

condutividade elétrica. Mendonça *et al.* (2010) observaram aumento na intensidade da cor verde em folhas de mudas de eucalipto quando submetidas a salinidade de  $5,9 \text{ dS m}^{-1}$ , o que pode ser um indicativo da tolerância dessa espécie à salinidade.

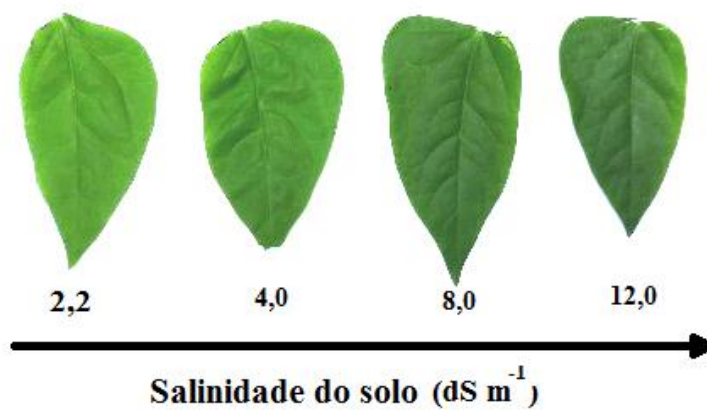


Figura 23 - Folhas de feijoeiro vigna apresentando gradiente de coloração verde em função dos níveis de salinidade do solo, aos 28 dias após semeadura

## 5 CONCLUSÕES

- O ponto de murcha permanente do feijoeiro vigna é menor quando determinado pelo método fisiológico, do que determinado na câmara de Richards.
- O potencial osmótico das folhas do feijoeiro vigna diminui com o aumento da salinidade do solo.
- A salinidade do solo ocasiona redução da altura da planta, do número de folhas e da biomassa seca da parte aérea do feijoeiro vigna.
- O aumento dos níveis de salinidade no solo proporciona elevação dos teores de prolina e de carboidratos solúveis totais do feijoeiro vigna.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.59, p.206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, Limerick, v.166, p.3-16, 2004.

ASSIS JÚNIOR, J. O. et al. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.27, p.702-713, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. FAO. Irrigação e Drenagem.

BARROS, M. de F. C. et al. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Recife, PE, v.9, p.320-326, 2005.

BASTOS, E. A. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguá, Piauí. **Irriga**, Botucatu, SP, v.13, p.182-190, 2008.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, The Hague, v.39, p.205-207, 1973.

BEN-GAL, A. et al. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity? **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.65, p.232-237, 2009.

BENVINDO, R. N. et al. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.23-28, 2010.

BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, p.1531-1540, 2000.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 7 ed. Viçosa, MG, Imprensa universitária, 2005. 611 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises Químicas e Bioquímicas em Plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267 p.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**, Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington DC: Bulletin nº 30, 1912. 83 p. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries. U. S. Gov. Printing Office.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, p.183-188, 1995.

CASAROLI, D.; JONG van LIER, Q. de. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.32, p.59-66, 2008.

CHAUM, S., e KIRDMANEE, C. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. **Pakistan Journal of Botany**, v.41, p.87-98, 2009.

COSTA, A. C. S.; NANI, M. R.; JESKE, E. Determinação da umidade na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente por diferentes metodologias. **Revista Unimar**, Marília, SP, v.19, p.827-844, 1997.

COSTA, C. S. et al. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, p.524-530, 2009.

COSTA, P. H. A. et al. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna unguiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, SP, v.26, p.289-297, 2003.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA-NETO, C. F. Níveis de prolina em folhas de feijão-caupi submetidas ao déficit hídrico. In: I Congresso Nacional de Feijão-Caupi, VI Reunião Nacional de Feijão-Caupi, Teresina, PI, 2006.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S. e KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.515-523, 2008.

DANTAS, B. F.; RIBEIRO, L. de S.; ARAGAO, C. A. Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, PR, v.27, p.144-148, 2005.

DANTAS, J. P. et al. Avaliação de genótipos de feijão-de-corda sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.6, p.425-430, 2002.

DANTAS, J. P. et al. Efeito do estresse salino sobre a germinação e produção de sementes de caupi. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v.24, p.119-130, 2003.

DAVATGARA, N. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. **International Journal of Plant Production**, v.3, p.19-32, 2009.

DELL'AQUILA, A.; SPADA, P. The effect of salinity stress upon protein synthesis of germinating wheat embryos. **Annals of Botany**, Oxford, v.72, p.97-101, 1993.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. **Efeito dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT sal, 2010. 472 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA. **Cultivo de feijão caupi**. 2003. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/graos/feijaocaupi/referencias.htm>. Acesso em: fev/2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas / 2**. Ed. Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta. 2006. 403 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat/>>. Acesso em: fev/ 2011.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.307-319, 2004.

FUMIÓ, B. L. C. **Solos não saturados e drenagem de camadas próximas da superfície de vias e pavimentos**. 2004. 96 p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GHANBARIAN-ALAVIJEH, B.; MILLÁN, H. The relationship between surface fractal dimension and soil water content at permanent wilting point. **Geoderma**, v. 151, p. 224-232, 2009.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira, T. et al. (ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v.16, p.329-345.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 116 p.

GRACIANO, E. S. A. et al. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.15, p.794–800, 2011.

GRIEVE, C. M.; GRATTAN, S. R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, v.70, p.303-307, 1983.

HASEGAWA, P. M. et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.51, p.463–499, 2000.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**. 2nd. ed. Cambridge University Press, 1992. 85 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A. et al. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.40, p.1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, v.30, p.959-964, 2000.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um latossolo vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.10, p.646-650, 2006.

KOYRO, H. W.; EISA, S. S. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. **Plant and Soil**, v.302, p.79-90, 2008.

LACERDA, C. F. et al. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v.18, p.455-465, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LIMA, C. J. G. S. et al. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v.2, p.79–86, 2007.

LIMA, M. G. S. et al. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.63, p.335-340, 2004.

MARTÍNEZ, J. P. et al. Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.161, p.1041-1051, 2004.

- MEDEIROS, J. F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE.** 1992. 173 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- MENDONÇA, A. V. R. et al. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp. submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v.20, p.255-267, 2010.
- MENESES, C. H. S. G. et al. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, PB, v.10, p.1039-1072, 2006.
- MORAIS, R. R. et al. Potencial hídrico foliar de espécies constituintes de sistema agroflorestal sob diferentes períodos de precipitação na amazônia central. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, RS, v.5, p.1023-1025, 2007.
- MORESHET, S. et al. Water transport characteristics of cotton as affected by drip irrigation layout. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.717-22, 1996.
- MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants for his assistance. **Annual Review Plant Physiology**, v.35, p.299–319, 1984.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.25, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytology**, v.167, p.645–663, 2005.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 651–681, 2008.
- NASCIMENTO, P. S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha de manejo da irrigação.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia.
- OLIVEIRA, L. A. A. et al. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, p.31-35, 2006.
- OLIVEIRA, L. B. de; MARTINS, A. M. C. M. Considerações sobre a umidade de 15 atmosferas e a umidade de murcha (método fisiológico), em solos do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.1, p.91-95, 1966.
- OLIVEIRA da SILVA, F. E. et al. Desenvolvimento vegetativo do feijão caupi irrigado com água Salina em casa de vegetação. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v.22, p.156-159, 2009.

OSZUST J. D.; WILSON M. G.; SASAL M. C. Obtención del punto de marchitez permanente para el cálculo de agua útil para trigo y soja em suelos molisol y vertisol, **Actualización técnica. EEA Paraná**, Entre Ríos, AR, p.67-70. 2010.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L.M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104 p.

PATAKAS, A. et al. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. **Plant Science**, v.163, p.361-367, 2002.

PATEL, P. R. et al. Impact of saline water stress on nutrient uptake and growth of cowpea. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v.22, p.43-48, 2010.

PEREIRA, J. R. et al. Ponto de murcha permanente de um Neossolo Flúvico usando novas plantas indicadoras. Embrapa. Campina Grande-PB: 2005. (Comunicado técnico, 241).

PRAXEDES, S.; FERREIRA, T.; GOMES FILHO, E. Acúmulo de prolina e aminoácidos em cultivares de feijão caupi com tolerância diferencial à salinidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v.22, p.211-214, 2009.

PROCÓPIO, S. O. et al. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.22, p.35-41, 2004.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987. 188p.

RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108. p. 2002. Sistemas de produção 2.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RICHARDS, L. A.; FIREMAN, M. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. **Soil Science**, Baltimore, v.56, p.395-404, 1943.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do Potencial Hídrico Foliar em Plantas de Trigo. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2003. 12 p. Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p\\_ci15.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci15.htm). Acesso em: out/ 2011.

ROMANO, I.; SANTINI, A. Water retention and storage: field. In: Dane, J. H.; Topp, C. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002, p. 721-738.

SAEG. **Sistema para análises estatísticas**, Versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes; Universidade Federal de Viçosa, 2007.

SAKAMOTO, A.; MURATA, N. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.51, p.81-88, 2000.

SANTANA, M. J.; SILVEIRA, A. L.; VIEIRA, T. A. Produção do feijoeiro irrigado com diferentes concentrações de água salina. **Global Science and Technology**, v.2, p.45-54, 2009.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração. **Naturalia**, Rio Claro, SP, v.33, p.34-44, 2010.

SANTOS, P. R. **Germinação, vigor e crescimento de duas cultivares de feijoeiro em soluções salinas**. 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plant. **Science**, v.148, p.339-346, 1965.

SILVA, E. N. et al. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-manso submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.44, p.437-445, 2009.

SILVA, J. V. et al. Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl<sub>2</sub>. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.15, p.99-105, 2003.

SILVEIRA, J. et al. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl - salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.66, p.1-8, 2009.

SILVEIRA, J. A. G. et al. Salt-induced decrease in nitrate uptake and assimilation in cowpea plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v.11, p.77-82, 1999.

SIRIPORNADULSIL, S. et al. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. **Plant Cell**, Rockville, v.14, p.2837-2847, 2002.

SOUZA, C. C. et al. Avaliação de métodos de determinação de água disponível em solo cultivado com algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, p.337-341, 2002.

SOUZA, C. H. C. **Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão**. 2007. 73 p. Dissertação (Agronomia- Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUZA, E. R. **Fitorremediação de Neossolo Flúvico sódico salino de Pernambuco com *Atriplex nummularia***. 2010. 75 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo – Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

SOUZA, R. P. et al. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.46, p.587-592, 2011.

TAFFOUO, V. D. et al. Effects of Salinity Stress on Growth, Ions Partitioning and Yield of Some Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Cultivars. **International Journal of Botany**, Faisalabad, v.5, p.135-143, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Tradução: Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 618-619.

TAWFIK, K. M. Evaluating the use of Rhizobacterin on cowpea plants grown under salt stress. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, Faisalabad, v.4, p.26-33, 2008.

TOLK, J. A. Soils, Permanent Wilting Points. **Encyclopedia of water science**. New York, In: Stewart, B. A. 2003. p.927-929.

TURAN et al. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. **African Journal of Agricultural Research**, v.4, p.893-897, 2009.

VAIDYANATHAN, H. *et al.* Scavenging of reactive oxygen species in NaCl stressed rice (*Oryza sativa* L.) - differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. **Plant Science**, v.165, p.1411-1418, 2003.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture at permanent wilting of plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.3, p.355-357, 1928.

VERSLUES P. E.; BRAY, E. A. LWR1 and LWR2 are required for osmoregulation and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, v.136, p.2831-2842, 2004.

VIEIRA, P. R. P.: **Disponibilidade de água para as plantas em três solos de diferentes texturas: Comparação de métodos de determinação**. 1999. 72 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande –PB.

WYN JONES, R. G.; GORHAM, J. Osmoregulation. In: LANGE, D. L. et al. **Encyclopedia of plant physiology: physiological plant ecology**. Berlin: p.35-58, 1983.

WYN JONES, R. G.; STOREY, R.; LEIGH, R. A.; AHMAD, N.; POLLARD, A.A hypothesis on cytoplasmic osmoregulation. In "**Regulation of Cell Membrane Activities in Plants**" (E Marre, O Cifferi eds), Elsevier, Amsterdam, p.121-136, 1977.

YEMM, E. W.; WILLS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.



## Ficha catalográfica

C672p Coelho, José Benjamin Machado  
Potencial osmótico, solutos orgânicos e comportamento hídrico do feijão vigna cultivado em solos salinizados / José Benjamin Machado Coelho – Recife, 2012.  
70 f.: il.

Orientadora: Maria de Fatima Cavalcanti Barros.  
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2012.

Referências.  
1. Estresse salino 2. Potencial osmótico 3. Feijão caupi  
I. Barros, Maria de Fátima Cavalcanti, orientadora II. Título  
CDD 631.4