



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG**

**INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA – IO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA**

EFEITOS DA DENSIDADE DE PLANTIO NA SOBREVIVÊNCIA,  
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DA HALÓFITA  
*SARCOCORNIA AMBIGUA* (MICHX.) ALONSO & CRESPO

EDUARDO MARQUES IZEPPÍ

Dissertação apresentada no programa de  
Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade  
Federal do Rio Grande – FURG, como requisito  
parcial a obtenção do título de Mestre

Orientador: Dr. César S. B. Costa

RIO GRANDE, MAIO DE 2011

## ÍNDICE

RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Produção de mudas.....	7
3.2. Plantio e desenho experimental.....	8
3.3. Colheita das plantas.....	10
3.4. Dados meteorológicos, sedimento e composição do efluente de irrigação.....	11
3.5. Análise dos dados.....	12
4. RESULTADOS.....	18
4.1. Dados meteorológicos e do sedimento do canteiro.....	18
4.2. Tamanho inicial das mudas.....	21
4.3. Mortalidade de mudas.....	22
4.3.1. Mortalidade inicial de mudas.....	22
4.3.2. Mortalidade final de mudas.....	24
4.4. Herbivoria de larvas minadora sobre as plantas.....	26
4.5. Crescimento e produção de biomassa de <i>S. ambigua</i> .....	28
5. DISCUSÃO.....	42
5.1. Mortalidade de mudas.....	42
5.2. Produção de biomassa.....	46
5.3. Efeito do espaçamento – Densidade de cultivo no crescimento e biomassa individual.....	48
5.4. Impacto do espaçamento no rendimento da produção por área.....	51
5.5. Efeito do tamanho de mudas no crescimento e biomassa individual.....	53
5.6. Efeito da variação ambiental no crescimento e biomassa individual.....	54
5.7. Herbivoria por insetos.....	56
6. CONCLUSÕES.....	58
7. REFERÊNCIAS.....	60

## RESUMO

*Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo é uma halófito perene nativa de manguezais e marismas da costa atlântica da América do Sul. Esta espécie tem um grande potencial como uma nova cultivar irrigada com água do mar e/ou efluentes salinos da carcinocultura. De forma a avaliar os efeitos da densidade de plantio na mortalidade, crescimento e produção de biomassa de *S. ambigua* irrigada com efluente salino da carcinocultura, mudas produzidas de sementes foram plantadas em quatro diferentes espaçamentos (10, 20, 30 e 40 cm entre plantas) em blocos casualizados com três repetições (canteiros). Mudas classificadas como pequenas ( $\approx 4$  cm) e grandes ( $\approx 13$  cm) foram plantadas alternadamente em cada fileira de plantio. O teor de umidade e a condutividade elétrica do sedimento dos canteiros foi monitorados e as plantas coletadas após 150 dias de cultivo. A mortalidade final das plantas nos canteiros foi de 19,3%, estando relacionada a variação espacial do teor de umidade do sedimento do canteiro (menor em canteiro mais úmido) e ao tamanho inicial das mudas (menor para mudas grandes). As plantas apresentaram maiores médias de biomassa seca total quando cresceram nos dois maiores espaçamentos de 40 e 30 cm ( $30,9 \pm 5,1$  g;  $24,4 \pm 3,6$  g) do que nos dois menores espaçamentos de 10 e 20 cm ( $12,8 \pm 1,2$  g;  $14,7 \pm 2,1$  g). O mesmo padrão de resposta foi observado para o comprimento da ramificações do caule e para os diferentes componentes vegetativos e reprodutivos da biomassa aérea. A produção média por área de *S. ambigua* foi de  $8,2 \pm 1,6$  t/ha (biomassa fresca) e uma maior produção foi alcançada no espaçamento de 10 cm ( $10,3 \pm 5,0$  t/ha). Plantas originadas de mudas grandes apresentaram desempenho 3 a 4 vezes maior em todos os parâmetros de crescimento em relação as mudas pequenas. Foi evidenciado que plantas *S. ambigua* são sujeitas a infestação por larvas minadoras de microlepidópteros, bem como a persistência na saturação do sedimento inibe o crescimento das plantas.

## ABSTRACT

*Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo is a perennial halophyte and native of mangroves and salt marshes occurring along Atlantic coast of South America. It has a great biotechnological potential as a crop that can be irrigated with salt-water and/or saline effluent from shrimp farms. In order to evaluate crop density effects on mortality, growth and biomass production of *S. ambigua* plants, irrigated with saline effluent of shrimp farms, seedlings were planted at 4 spacings (10, 20, 30 e 40 cm apart) in a randomised complete block design with three replicates (plots). Seedlings were also classified into small ( $\approx 4$  cm) and large ( $\approx 13$  cm) size classes and placed consecutively in each planting row. Soil humidity and electrical conductivity of plots were monitoring and plants were harvested at ground level after 150 days of cultivation. Overall final plant mortality was 19.3%, being related to soil humidity variation among plots (low into very humid plot) and seedling size classes (low for large seedlings). Large averages of total dry biomass ( $\pm$  standart error) were found for plants growing at wider spacings of 40 and 30 cm ( $30.9 \pm 5.1$  g;  $24.4 \pm 3.6$  g) than at narrower spacings of 10 and 20 cm ( $12.8 \pm 1.2$  g;  $14.7 \pm 2.1$  g). Similar responses were observed to branch length and different vegetative and reproductive components of biomass. *S. ambigua* yield was an average of  $8.2 \pm 1.6$  t/ha (fresh weight) and the largest production was found at 10 cm spacing ( $10.3 \pm 5.0$  t/ha). Plants from large size seedlings had a 3 to 4 folds better performance for all growth parameters than plants from small seedlings. It was also found that *S. ambigua* plants are vulnerable to leaf miner larvae of microlepidoptera (“micromoths”), as well as persistent soil saturation can inhibit plant growth.

## 1. INTRODUÇÃO

Do total de água no planeta, apenas 1% é de água doce, sendo o restante água marinha (98%) e salobra (1%). Atualmente a agricultura, a indústria e os usos domésticos são responsáveis pelo consumo da metade da água doce disponível na terra. Com o crescente aumento da população mundial, água doce de boa qualidade está rapidamente tornando-se um recurso limitado e de alto custo (Rozema 2008). Além disso, 43% das terras emersas do planeta são semi-áridas e cerca de 130 milhões de hectares apresentam problemas de salinização do solo. Toda esta extensão de solos salinizados poderia ser potencialmente cultivada com plantas tolerantes a solos salinizados ou a irrigação com águas salinas (Glenn *et al.* 1998).

Halófitas são plantas superiores vasculares (angiospermas) que conseguem sobreviver e completar seu ciclo de vida em ambientes onde a concentração de sal é em torno de 20 mM NaCl ( $\approx 1,8$  dS/m  $\approx 1,2$  ups  $\approx 1,2$  g NaCl/L) ou mais, correspondendo aproximadamente 1% da flora mundial (Flowers & Colmer 2008). A tolerância destas plantas a salinidade é devido a uma série de mecanismos fisiológicos, anatômicos e morfológicos de controle de entrada, compartimentação e excreção do cloreto de sódio (Crawford 1989, Miyamoto *et al.* 1996).

Em todo o mundo, espécies de halófitas estão sendo incorporadas como cultivares, tanto para alimentação de rebanhos, como para consumo humano. A *Chenopodiaceae Salicornia bigelovii* é a mais promissora espécie halófitas para o cultivo em agricultura com água salgada, sendo bastante tolerante a salinidade e podendo ser cultivada com água marinha. Suas sementes contêm altos níveis de óleo (cerca de 30%), sendo cerca de 75% de ácido graxo Omega 6 – linoleico com propriedades bioativas (Glenn *et al.* 1998). Halófitas podem ser usadas para produção de óleos comestíveis e

suplementos alimentares (Glenn & O`Leary 1985, Glenn *et al.* 1999, Weber *et al.* 2007), forragem para alimentação animal (Masters *et al.* 2007), produção de biodiesel (Hodges *et al.* 1993) e fixação de carbono atmosférico (Glenn *et al.* 1992, 1998). O cultivo de halófitas pode ser combinado com o cultivo de camarões e peixes marinhos, uma vez que os nutrientes oriundos dos efluentes destes cultivos podem servir para irrigar e fertilizar estas plantas. Este uso do efluente reduz os contaminantes descartados no meio (Brown *et al.* 1999, Costa 2006, Porto *et al.* 2006).

Em relação a produtividade, as plantas halófitas podem crescer irrigadas com águas salobras/salgadas (acima de 16 dS/m) com taxas de produção de biomassa comparáveis com as de plantas forrageiras irrigadas com água doce. Alfafa e sorgo podem chegar a produções de respectivamente 20 e 12 t/ha/ano (Glenn *et al.* 1998), enquanto halófitas como *S. bigelovii* podem produzir cerca de 18 t/ha de biomassa fresca e 2 t/ha de sementes em 200 dias de cultivo (Glenn *et al.* 1999). Estudos recentes com as halófitas *Kosteletzkyia virginica* e *S. bigelovii* têm demonstrado que é possível através de programas de melhoramento genético tradicionais aumentar a produção de biomassa e sementes em períodos curtos de tempo de 2 a 5 anos (He *et al.* 2003, Zerai *et al.* 2010). Devido a plasticidade genotípica nas plantas halófitas é possível alcançar as características agrônômicas necessárias para o cultivo comercial destas espécies.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são determinados pela combinação de fatores abióticos e bióticos. Para as plantas halófitas nos seus ambientes naturais, fatores abióticos como umidade, salinidade, inundação por marés, soterramento por sedimento entre outros, costumam ser os responsáveis por inibir o crescimento das plantas e levando muitas vezes a altas taxas de mortalidades, principalmente nos estágios iniciais de estabelecimento, quando as plantas são pequenas

e possuem as raízes frágeis (Davy *et al.* 2000; 2001). Os efeitos dos fatores abióticos sobre a fisiologia e dinâmica populacional de uma planta halófitas devem ser conhecidos para uma melhor definição das condições ideais de cultivo e maximização da produtividade. Adicionalmente, devido a natureza sésil destas plantas, a ocupação e competição pelo espaço são determinantes para obtenção dos recursos essenciais a vida destes organismos, tais como luz, água e nutrientes (Adam 1990).

A competição afeta as plantas nos ambientes naturais e em monoculturas, não só suprimindo o crescimento pelo esvaziamento dos recursos, mas também pode ocasionar mortalidades dos menores indivíduos, através do chamado efeito “densidade dependente de autodesbastamento” – “self-thinning” (Grace & Tilman 1990). Uma definição de competição é “uma interação entre indivíduos por recursos limitados que levam a redução da sobrevivência, e/ou crescimento dos indivíduos afetados” (Grace & Tilman 1990). O declínio da produção de biomassa pelos indivíduos devido a competição pode ser simétrico ou assimétrico, e fatores como a germinação precoce ou maior tamanho inicial dos indivíduos podem levar a vantagens na obtenção de recursos primários que podem ser mantidas até a vida adulta (Yoda *et al.* 1957, Mead 1970, Law & Watkinson 1989, Silvertown & Lovett 1993). Um cultivo comercial deve buscar minimizar tanto a redução da biomassa, como o crescimento assimétrico dos indivíduos induzidos pela competição. Adicionalmente, a competição pode ser interespecífica (relacionada a comunidade de plantas), onde o grau de competição está relacionado a composição específica, a densidade e a distribuição das plantas (Law & Watkinson 1989), ou pode ser intraespecífica (relacionada a própria cultura) onde o grau de competição está relacionado a espécie ou cultivar, espaçamento entre sulcos e densidade de plantio (Yoda *et al.* 1958, Mead 1970, Zanine & Santos 2004).

Os efeitos da competição sobre as halófitas ainda são pouco compreendidos. Vários autores apontam para a redução competitiva tanto da biomassa aérea como da área foliar individual em populações sob altas densidades (Ellison 1987<sup>a</sup>, 1987<sup>b</sup>, Broome *et al.* 1986, Malcolm *et al.* 1988). Entretanto não existe acordo quanto ao papel da densidade na mortalidade e nem na definição do principal recurso contestado na competição entre halófitas, podendo ser nutriente ou luz (Ellison 1987<sup>a</sup>, 1987<sup>b</sup>, Wang *et al.* 2005).

No Brasil possuímos uma planta halófito nativa denominada *Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo (família Chenopodiaceae), anteriormente descrita como *Salicornia gaudichaudiana* Moq. (Alonso & Crespo 2008), que possui um grande potencial biotecnológico como uma nova cultivar e está relacionada taxonomicamente com a halófito de maior sucesso comercial *S. bigelovii*. Esta espécie, *S. ambigua*, é uma planta perene, pioneira na ocupação de planos de lamas entremarés, que apresenta ampla distribuição nos manguezais e marismas da costa atlântica da América do Sul (Costa & Davy 1992, Costa *et al.* 2006<sup>a</sup>, Alonso & Crespo 2008). Por ter ciclo de vida perene *S. ambigua* é capaz de sobreviver por vários anos (Costa 2006, Costa & Neves 2006) propagando-se através de sementes ou por crescimento vegetativo, uma vez que os caules são capazes de rebrotamento após a poda (Costa & Neves 2006). O plantio de cada safra é um custo operacional de difícil redução nesta espécie e são necessários cuidados contra a dessecação para evitar grandes mortalidades nos períodos de germinação e estabelecimento (enraizamento) das plantas (Neves & Costa 2001, Leite *et al.* 2007).

A domesticação desta espécie nativa pode representar independência e liderança biotecnológica, pois a maioria dos demais cultivos comerciais desenvolvidos no mundo

é com *S. bigelovii* (Glenn *et al.* 1998, Costa 2006, Zerai *et al.* 2010). O primeiro cultivo no Brasil de *S. ambigua* irrigada com efluente de carcinocultura marinha foi realizado em Aracati (CE) (Costa *et al.* 2006<sup>b</sup>), sendo obtida uma boa produtividade por safra (5 meses; 8,9 toneladas t/ha) de biomassa fresca. Outro cultivo irrigado com efluente salino de carcinocultura, só que em clima temperado, foi realizado na cidade de Rio Grande (RS), durante o verão de 2008 e *S. ambigua* apresentou ao final de 100 dias de cultivo uma produção total de 23,4 t/ha de biomassa fresca (Greis 2009).

Apesar dos resultados positivos na produção de *S. ambigua* nenhum estudo foi realizado com esta espécie visando avaliar interações competitivas em cultivo monoespecífico e como o espaçamento entre indivíduos/densidade de plantio pode afetar o crescimento individual e a produção por unidade de área. A verificação da existência e intensidade destas relações densidade dependentes são indispensáveis para maximizar a produtividade de qualquer cultivar, dentro das condições de solo e fertilidade onde são cultivados (Mead 1970, Grace & Tilman 1990, Abdal 2009, Weiner & Freckleton 2010).

## **2. Objetivo**

Esta dissertação visou quantificar a sobrevivência de mudas, o crescimento, produção e a alocação de biomassa para componentes aéreos vegetativos e reprodutivos da halófita *Sarcocornia ambigua* em diferentes densidade de plantio e condições de umidade do terreno de cultivo. Estes padrões foram avaliados em cultivo com efluentes salinos de viveiro de produção de camarão *Litopenaeus vannamei* no município de Rio Grande (RS).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Produção de mudas

Plantas de *S. ambigua* com sementes foram coletadas durante o outono de 2008 no município de Rio Grande, RS, em marismas do estuário da Lagoa dos Patos (Figura 1A). No laboratório de Ecologia Vegetal Costeira (Instituto de oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande-Furg) as plantas foram secas em temperatura ambiente por uma semana. As sementes foram separadas e estocadas, a seco (5°C) em geladeira.

Para produção de mudas, as sementes foram lavadas com hipoclorito 5% por 10 minutos (para prevenção da infestação por fungos), colocadas sobre papel-filtro umedecido com água destilada em placas de Petri autoclavadas e mantidas em incubadoras (Figura 1B) de germinação com termoperíodo de 12 horas a 30°C (com luz) e 12h a 20°C (sem luz), conforme protocolos de germinação de Neves e Costa (2001) e Leite *et al.* (2007). As plântulas germinadas com idade entre 7 e 14 dias (Figura 1C) foram transferidas para meio semisólido de cultura de tecido (Agar Agar) (Figura 1D) e mantidas em incubadora por uma semana para o desenvolvimento da radícula, reduzindo assim o risco de morte por dessecação. Após este período, as plântulas foram transferidas para bandejas semeadeiras (Figura 1E), contendo uma mistura de composto orgânico vegetal e areia quartzosa (proporção 1:1). As bandejas foram mantidas por 60 dias em estufa da UNIHALO (Unidade de pesquisa e germoplasma de Halófitas; IO-Furg), irrigadas e posteriormente as plântulas com idades entre 74 e 81 dias foram transplantadas para os canteiros de cultivo.

### 3.2. Plantio e desenho experimental

As mudas de *S. ambigua* foram plantadas em fevereiro de 2010, em três canteiros construídos na Estação Marinha de Aquacultura (EMA) da FURG, no balneário Cassino, Rio Grande (RS). Cada canteiro de cultivo possuía uma área de 29,16 m<sup>2</sup> (3,6 x 8,1 m). E estes foram irrigados por bombeamento com efluente salino dos viveiros de camarões *L. vannamei*. O efluente constituiu a principal fonte de água e nutrientes suplementadas ao cultivo de *S. ambigua* (Costa *et al.* 2006<sup>b</sup>; Greis 2009). As plantas foram irrigadas por gravidade (declividade de 0,05 m m<sup>-1</sup>) através de sulcos cavados em zig-zag desde a entrada do efluente na parte superior até um valo de captação-saída, na parte inferior (Figura 2), que funcionou como um "ladrão" durante períodos de chuvas.

O delineamento experimental foi de quatro espaçamentos de plantio (10, 20, 30 e 40 cm entre plantas) em blocos casualizados com três repetições (canteiros). Em cada canteiro, todas as linhas de plantio foram separadas 30 cm entre si. Os diferentes níveis do tratamento espaçamento eram compostos por duas linhas de plantio adjacentes, que foram aleatorizadas dentro de cada bloco (canteiro). Adicionalmente, para evitar efeitos de borda (Yoda *et al.* 1957; Goldberg 1987) como a inibição competitiva assimétrica entre linhas adjacentes com diferentes espaçamentos, cada duas linhas de um mesmo espaçamento foram separadas de linhas de outro espaçamento por bordas plantadas com mudas espaçadas 50 cm entre si (Figura 3). Conseqüentemente, cada par de linhas de um mesmo espaçamento foi separado de outro por bordas vegetadas semelhantes. Devido a disponibilidade e homogeneidade de tamanho foram utilizadas como plantas de linhas de borda mudas originadas por propagação vegetativa, obtidas por estarquia de *S. ambigua*. As mudas vegetativas utilizadas para as bordas (Figura 1F) foram obtidas

das ramificações prostradas e com raízes de plantas cultivadas na EMA-Furg, com 3-5 meses de idade. As mudas vegetativas utilizadas nas bordas entre os espaçamentos não demonstraram diferença significativa entre canteiros quanto a altura inicial ( $F = 6,75$ ;  $p < 0,05$ ) e o número de ramificações ( $F = 0,73$ ;  $p > 0,05$ ). As mudas das bordas tiveram uma média de  $13,8 \pm 0,4$  cm de altura inicial e um número médio inicial de ramificações  $9,54 \pm 0,5$ .

Cada canteiro possuía 13 linhas de plantio, 8 linhas para o tratamento de espaçamentos e 5 linhas para bordas (Figura 2 e 4). Ao final da primeira semana do experimento todas as mudas que não sobreviveram foram substituídas por equivalentes da mesma classe. O delineamento de blocos casualizados considera a variabilidade ambiental dentro da área experimental como um tratamento a parte no desenho experimental (Ramalho *et al.* 2000), permitindo avaliar este efeito espacial no desenvolvimento e mortalidade das plantas. No caso do experimento com *S. ambigua*, os blocos (canteiros) foram dispostos ao longo de um campo arenoso com diferentes graus de umidade (proximidade com o lençol freático). Três amostras de sedimento superficial foram coletados nos canteiros e analisadas quanto a granulométrica por peneiramento. O sedimento apresentou uma predominância de areia fina muito-fina (78,1-84,7%), baixos teores de silte-argila (finos total = 2,4-5,3%) e matéria orgânica (6,8-10,2%). O sedimento pode ser caracterizado como Neossolo Quatzarênico Órtico, isto é, solo novo, pouco desenvolvido com alto teor arenoso e bem drenado, característico da planície costeira do Rio Grande do Sul (Streck *et al.* 2008).

Devido ao lento crescimento inicial das mudas e a grande variabilidade no desenvolvimento em estufa antes do plantio as mudas foram divididas em duas classes de tamanho. O desenho experimental também considerou este efeito do tamanho inicial

das mudas nos canteiros de plantio como um tratamento, através do plantio alternado de mudas das classes de tamanho pequenas e grandes dentro de cada linha do tratamento espaçamento. As mudas de *S. ambigua* consideradas pequenas e grandes apresentaram alturas iniciais ( $F = 928,28$ ;  $p < 0,001$ ) e número inicial de ramificações ( $F = 298,30$ ;  $p < 0,001$ ) significativamente diferentes (Tabela 1). A altura média ( $\pm$  erro-padrão) das mudas pequenas foi de  $4,0 \pm 0,1$  cm e das mudas grandes de  $13,2 \pm 0,3$  cm. O número médio de ramificações das mudas pequenas foi de  $0,26 \pm 0,1$  e das mudas grandes de  $6,4 \pm 0,3$ .

Cada parcela de cada espaçamento entre plantas (10, 20, 30 e 40 cm) possuía uma área de cultivo de  $4,32 \text{ m}^2$  ( $3,6 \times 1,2$  m). Para o menor espaçamento, 10 cm, o número total de mudas plantadas em cada canteiro foi de 72, equivalendo a uma densidade inicial de  $16,7$  plantas/ $\text{m}^2$ . No espaçamento de 20 cm foi de 36 mudas, equivalendo a uma densidade inicial de  $8,3$  plantas/ $\text{m}^2$ . No espaçamento de 30 cm o total de mudas plantadas foi de 24 equivalendo a aproximadamente  $5,6$  plantas/ $\text{m}^2$ . E no espaçamento de 40 cm o total de mudas plantadas em cada canteiro foi de 18 equivalendo a uma densidade de  $4,2$  plantas/ $\text{m}^2$ . Foram usadas para as bordas em cada canteiro um total de 35 mudas.

O controle das plantas invasoras (espécies de campos e dunas) foi realizado com o auxílio de enxadas e arranque manual dentro dos canteiros. Foi observada principalmente a presença da espécie *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (Poacea).

### **3.3. Colheita das plantas**

As plantas foram cultivadas por 150 dias até frutificação e todas as plantas sobreviventes foram colhidas em 30 de junho de 2010, através do corte do caule logo

acima da superfície do sedimento, acondicionadas individualmente em sacos plásticos e identificadas. Os sacos plásticos foram acondicionados em um freezer (-10°C) até a triagem. Para cada planta foi medido seu peso fresco em balança de precisão ( $\pm 0,01$  g), a altura (cm; comprimento do caule principal), e a expansão lateral (cm; comprimento da maior ramificação). A biomassa aérea de todas as plantas foi separada em três componentes: segmentos vegetativos clorofilados, segmentos vegetativos lignificados e segmentos reprodutivos. Os componentes foram secos (60°C por 48 horas) e pesados em balança de precisão ( $\pm 0,01$  g).

### **3.4. Dados meteorológicos, de sedimento e da composição do efluente de irrigação**

Dados meteorológicos diários de precipitação e temperatura do ar (mínima e máxima) foram obtidos na Estação Meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no campus carreiro da FURG, em Rio Grande (RS), distante 15 km do local de cultivo.

O efluente utilizado para irrigação diária do canteiro foi proveniente de um viveiro de cultivo intensivo de camarões *L. vannamei* com uma estocagem inicial de 200 camarões m<sup>-2</sup>, alimentados com ração Active da marca GUABI, com 38 % de proteína bruta em pelete de 1,6 mm de diâmetro. O efluente foi bombeado através de uma bomba de 3/4 HP do viveiro de camarão até o canteiro de plantio de *S. ambigua*. A irrigação efetuada para cada canteiro foi de 450 litros por bombeamento (30 litros por minuto durante 15 minutos), diariamente para cada canteiro. Durante o cultivo a água do viveiro foi monitorada diariamente, sendo observado os valores médios de pH (8,56  $\pm$  0,8), oxigênio dissolvido (6,82  $\pm$  1,3 mg O<sub>2</sub>/L), salinidade (31,0  $\pm$  2,4 g NaCl/L), nitrogênio amoniacal (0,21  $\pm$  0,1 N-AT mg/L), nitrito (1,15  $\pm$  0,7 N-NO<sub>2</sub> mg/L), nitrato (2,65  $\pm$  1,3 N-NO<sub>3</sub> mg/L) e Fosfato (1,17  $\pm$  0,2 P-PO<sub>4</sub> mg/L).

Em treze datas diferentes ao longo do período de cultivo foram coletadas em treze datas diferentes amostras de sedimento superficial (0-10 cm) em cada canteiro e utilizadas para estimar a condutividade elétrica (CE) e o porcentual de umidade do sedimento no cultivo. Em cada data de coleta foram obtidas quatro amostras de sedimento aleatórias em cada canteiro. O sedimento foi coletado nas elevações entre sulcos sempre antes da irrigação diária, quando a maioria dos sulcos encontrava-se drenado. O teor de umidade do sedimento foi quantificado por pesagens sucessivas das amostras antes e depois de secagem em estufa a 60°C por 48 horas e expresso como porcentagem. A condutividade elétrica do sedimento foi medida utilizando um condutivímetro WTW mod. 315i no sobrenadante após 30 minutos de mistura de 20 g de sedimento seco com 40 ml de água destilada, sendo expressa em dS/m.

### **3.5. Análise dos Dados**

Para as variáveis quantificadas de biometria e biomassa foram realizados os testes de Normalidade Kolmogorov-Smirnov e de Homocedasticidade (Cochran C., Hartley e Bartlett), ambos a 5% de significância, como requisito para as análises estatísticas paramétricas (Zar 1984). As variáveis medidas sofreram transformações matemáticas, quando necessário, para satisfazer os requisitos de normalidade e homocedasticidade. As variáveis altura inicial e número de ramificações iniciais foram transformadas através das funções matemáticas raiz quadrada ( $x$ ) e raiz quadrada ( $x+1$ ). A biomassa fresca total e seca total, dos segmentos vegetativos clorofilados e dos segmentos vegetativos lignificados, foram transformadas pela função  $\log_{10}(x)$ . A variável alocação reprodutiva foi transformada pela função  $\log_{10}(x+1)$ . A variável biomassa do segmento reprodutivo demonstrou discordância da homocedasticidade marginalmente

significativa ( $p = 0,04$ ) após transformação  $\log_{10} (x+1)$ . Na ausência de uma melhor aproximação, esta variável logarítmica formada foi utilizada nas análises estatísticas.

Diferenças nos teores de umidade e na condutividade do solo entre os canteiros e datas de amostragem foram testadas através de Análise de Variância bifatorial (Zar 1984).

Diferenças na mortalidade de plantas na primeira semana após o plantio e ao final do cultivo entre os canteiros, os espaçamentos e diferentes tamanhos de mudas foram testadas através do teste Chi-quadrado ( $X^2$ ) a 5% de significância (Siegel 1955). Foram efetuadas Análises de Chi-quadrado ( $X^2$ ) separadas para mortalidade entre canteiros das plantas de bordas. Adicionalmente, transcorrido o primeiro mês de cultivo observou-se herbivoria nas plantas de *S. ambigua* por larvas minadoras de microlepidópteros (espécie não identificada). As plantas foram tratadas com uma aplicação de inseticida genérico Malathion 500 CE©, na concentração de 3,0 ml/L com o objetivo de interromper a infestação. Um possível efeito da infestação sobre a mortalidade final também foi testado através de teste Chi-quadrado ( $X^2$ ) da frequência de morte entre plantas infestadas e não infestadas.

Variações no tamanho inicial das mudas (altura e número de ramificações) entre os canteiros foram verificadas através de Análise de Variância bifatorial (tamanho original x canteiros) (Zar 1984).

O desenvolvimento de *S. ambigua* após o cultivo foi comparado entre diferentes fatores fixos experimentais através de Análise de Variância trifatorial. Estas análises foram feitas para as medidas de tamanho final do cultivo (altura final e expansão lateral), biomassas fresca, seca total e seus componentes (clorofilada, lignificada e

reprodutiva). Cada ANOVA considerou como fatores fixos o espaçamento de cultivo (10, 20, 30 e 40 cm), o canteiro (A, B e C; os blocos de cultivo) e o tamanho original da muda (pequeno e grande). Foram incluídos os fatores interações de segunda ordem entre espaçamento, canteiro de cultivo e tamanho das mudas. Interações significantes entre espaçamentos x canteiros e espaçamento x tamanho de mudas podem evidenciar, respectivamente, diferenças de intensidade de competição entre condições ambientais de cultivo (grau de umidade do sedimento) e entre mudas de diferentes tamanhos. A interação significativa canteiro x tamanho de mudas pode indicar uma diferenciação de capacidade de utilização de sedimento mais secos ou úmidos por mudas de diferentes tamanhos. Interações de terceira ordem não foram incluídas no desenho experimental das ANOVAs devido a complexidade de interpretação. O desenvolvimento das plantas das bordas foi analisado separadamente através de ANOVA unifatorial (Zar 1984), sendo o único fator considerado o canteiro de cultivo.



(A)



(B)



(C)



(D)

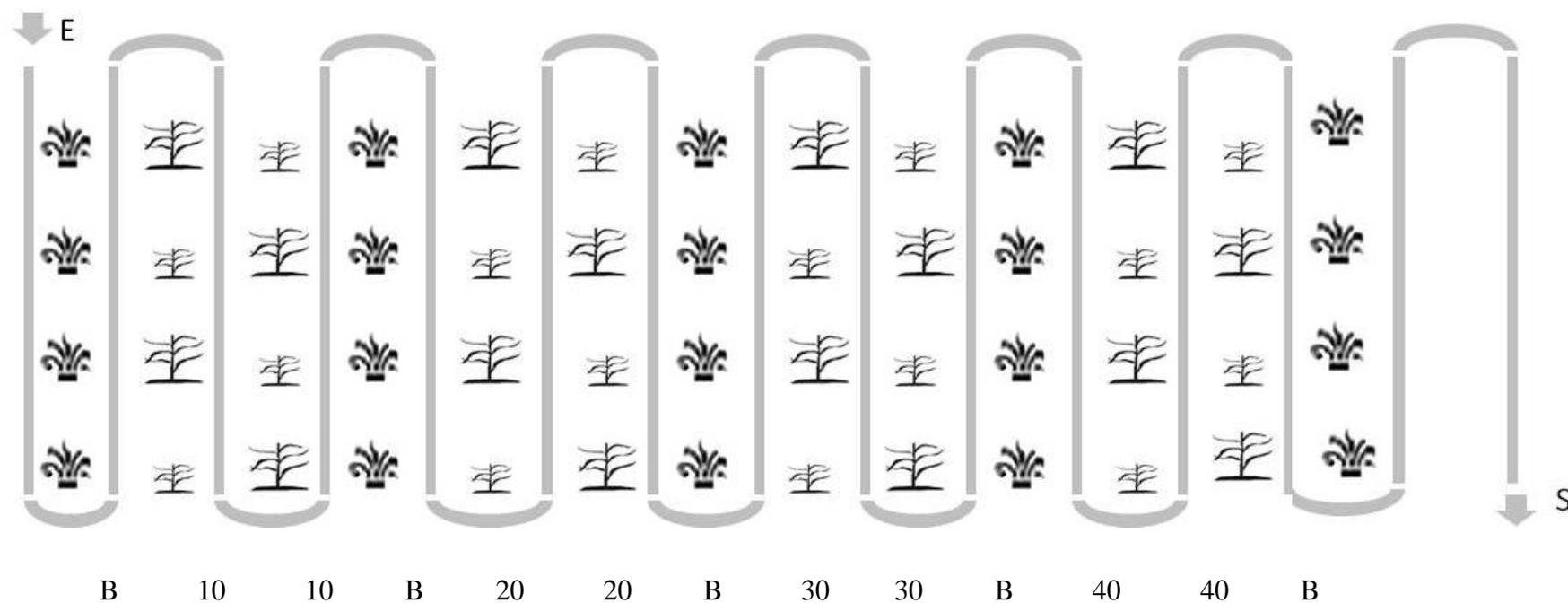


(E)

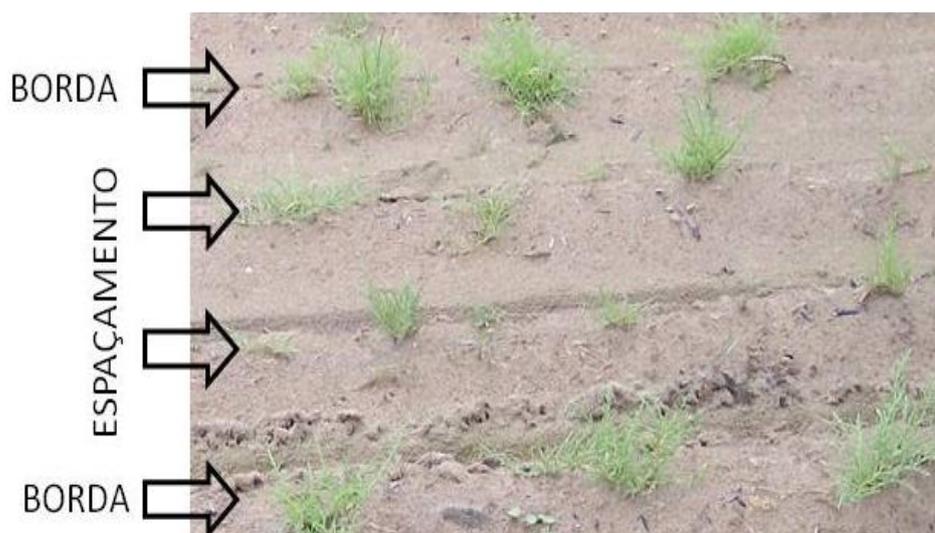


(F)

**Figura 1:** Fotografias da população natural de *S. ambigua* da ilha da Pólvora onde foram obtidas as sementes para o cultivo (A); sementes germinando em placas de Petri na incubadora com fotoperíodo (B); plântulas germinadas mostrando a radícula e os cotilédones (C); plântulas no gel semisólido de Agar-Agar (D); plântulas em bandeja semeadeira com composto orgânico (E); e plântulas obtidas vegetativamente a partir de estaquia em bandeja semeadeira com composto orgânico (F).



**Figura 2:** Esquema de um canteiro de cultivo de *Sarcocornia ambigua* mostrando a distribuição dos espaçamentos (10, 20, 30 e 40 cm) e das bordas (B). As plantas foram divididas em duas classes de tamanho (pequenas e grandes) plantadas alternadamente em cada linha. As linhas de borda com plantas espaçadas a 50 cm separavam plantas alvo do teste espaçamento. A irrigação segue da entrada (E) do efluente na parte superior em percurso em zig-zig até a saída (S) na parte inferior do canteiro.



**Figura 3:** Detalhe de um Canteiro de cultivo de *Sarcocornia ambigua* mostrando a disposição das plantas de avaliação dos espaçamentos e as plantas de bordas.



**Figura 4:** Canteiro de cultivo de *Sarcocornia ambigua* construído na Estação Marinha de Aquacultura (EMA) da FURG, Cassino, Rio Grande (RS), mostrando a irrigação em zig-zag, com efluente de cultivo de camarão.

## 4. RESULTADOS

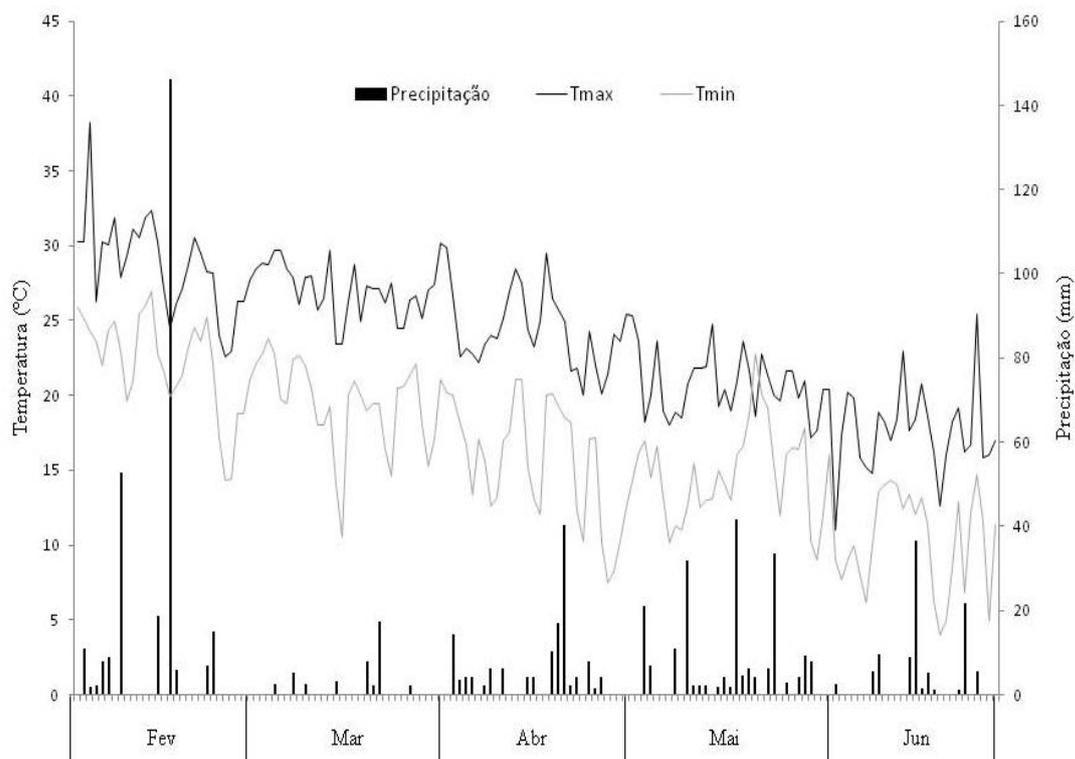
### 4.1. Dados Meteorológicos e do Sedimento do Canteiro

Entre fevereiro e junho de 2010, período de cultivo de *S. ambigua*, a temperatura atmosférica mínima noturna variou entre 6,0 °C e 26,9 °C ( $16,4 \pm 5,2^{\circ}\text{C}$ ; média  $\pm$  desvio padrão) e a temperatura máxima do dia variou entre 11°C e 32,8°C ( $23,71 \pm 4,7$ ; média  $\pm$  desvio padrão) (Figura 5).

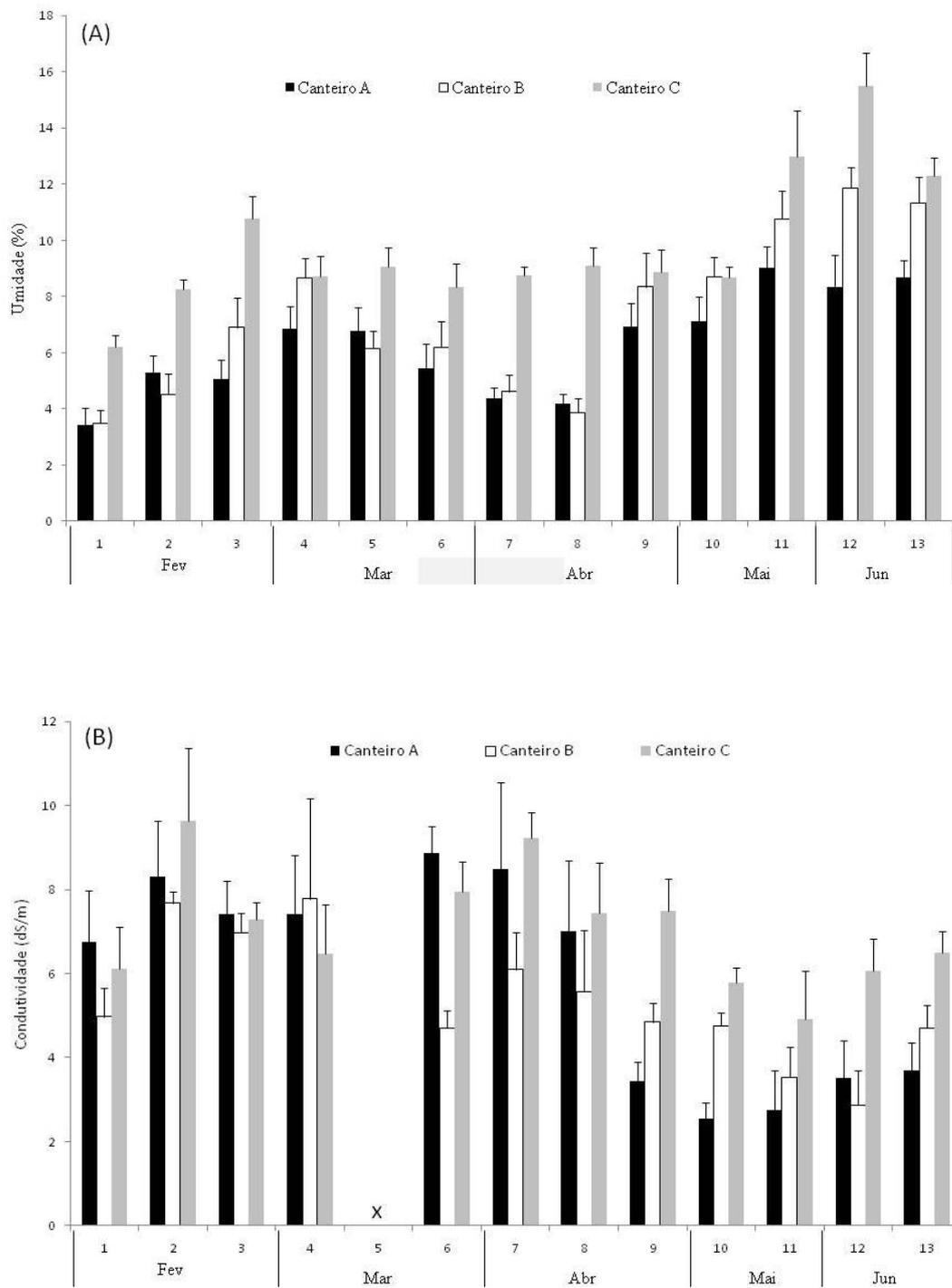
A precipitação diária variou de 0 a 146 mm (Figura 5) e durante os 150 dias de cultivo ocorreu um total de 756 mm. O mês de fevereiro foi o mais chuvoso, com taxa de precipitação de 277 mm, sendo que no dia de 16 de fevereiro ocorreu uma precipitação excepcional de 146 mm. Nos meses de março, abril, maio e junho, as taxas de precipitação foram, respectivamente, de 43 mm, 135 mm, 204 mm e 93 mm, observando-se chuvas mais regulares nos últimos três meses (Figura 5).

As amostragens de sedimento realizadas antes da irrigação diária demonstraram uma diferença significativa do teor médio de umidade entre os três canteiros ( $F = 58,2$ ;  $p < 0,001$ ) (Figura 6A). Em termos das médias globais dos canteiros o teste de contraste de médias de Tukey demonstrou que o maior teor de umidade foi encontrado no canteiro C ( $9,8 \pm 0,4\%$ ; média  $\pm$  erro-padrão) e os canteiros A e B apresentaram teores médios de umidade semelhantes de, respectivamente,  $6,3 \pm 0,3\%$  e  $7,3 \pm 0,4\%$ . Quanto à variação temporal da umidade do solo (figura 6A), teores médios abaixo de 5% foram observados em fevereiro e abril, particularmente nos canteiros B e C. Picos de umidade maiores de 10% foram observados na última semana de fevereiro e em maio e junho. Estas diferenças temporais demonstraram-se significantes ( $F = 20,1$ ;  $p < 0,001$ ).

A condutividade elétrica do sedimento, indicadora do grau de salinidade apresentou, diferenças significativas entre os três canteiros ( $F = 10,1$ ;  $p < 0,05$ ) (Figura 6B). A maior condutividade média no sedimento foi encontrada no canteiro C ( $7,1 \pm 0,3$  dS/m). Nos canteiros A e B, a condutividade foi, respectivamente, de  $5,8 \pm 0,4$  dS/m e  $5,4 \pm 0,3$  dS/m). Como o teor de umidade do solo, a condutividade variou temporalmente ( $F = 7,8$ ;  $p < 0,001$ ). Médias de condutividade elétrica acima de 8 dS/m ocorreram de fevereiro até abril e condutividades médias abaixo de 5 dS/m ocorreram no período das chuvas regulares de maio a junho, particularmente nos canteiros A e B mais altos (Figura 6B). Maiores condutividades neste último período no canteiro C es-



**Figura 5:** Precipitação diária e temperaturas atmosféricas máximas e mínimas no município de Rio Grande (RS) entre fevereiro e junho de 2010 (Fonte: Estação Meteorológica INMET - Universidade Federal de Rio Grande – FURG).



**Figura 6:** Valores médios ( $\pm$  erro-padrão) dos teores de umidade (A) e condutividade elétrica (B) no sedimento superficial (0-10 cm) nos três canteiros (A, B e C) durante o período de cultivo de *Sarcocornia ambigua*. O símbolo 'x' indica amostras perdidas durante triagem.

tiveram frequentemente associadas a situação de solo saturado com a elevação do nível de água no canal de despesca vizinho ao canteiro.

#### 4.2. Tamanho inicial das mudas

A altura média inicial das mudas nas linhas de espaçamento diferiu entre os canteiros ( $F = 3,4$ ;  $p < 0,05$ ). Isto ocorreu devido a maior média de  $9,3 \pm 0,4$  cm no canteiro B em relação as médias de  $8,5 \pm 0,5$  cm no canteiro A e  $8,3 \pm 0,4$  cm no canteiro C, ou seja, uma diferença de apenas 9 a 12% na altura inicial. A ramificação média inicial das mudas nas linhas de espaçamento não diferiu entre os canteiros ( $F_c = 1,3$ ;  $p > 0,05$ ) sendo de  $3,5 \pm 0,4$  no canteiro A,  $3,1 \pm 0,3$  no canteiro B e  $3,8 \pm 0,4$  no canteiro C (Tabela 1).

**Tabela 1:** Análises de Variâncias da altura inicial e do número de ramificações nos caules das mudas de *Sarcocornia ambigua* entre classes de tamanho de mudas e canteiros de cultivo.

	Altura inicial				Ramificação inicial			
	gl	SQ	F	p	gl	SQ	F	p
Tamanho	1	304,58	928,28	***	1	298,39	548,38	***
Canteiro	2	1,1	3,37	*	2	1,26	2,32	ns
Tamanho x Canteiro	2	0,3	0,4	ns	2	0,9	1,66	ns
Erro	440	0,32			440	0,54		

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

\*\*\*  $p < 0,001$

ns: não significativa ( $p > 0,05$ )

### 4.3. Mortalidade de mudas

#### 4.3.1. Mortalidade inicial de mudas

Ao final da primeira semana de cultivo foi observada uma mortalidade inicial nos canteiros de 11,4 % das mudas de *S. ambigua*. Entre as classes de tamanho de mudas ocorreram diferenças significativas ( $X^2 = 7,1$ ;  $p < 0,01$ ), devido a uma maior mortalidade das mudas pequenas (16,3%) em relação as mudas grandes (6,9%). Também ocorreu diferença significativa na mortalidade inicial entre os três canteiros ( $X^2 = 13,2$ ;  $p < 0,01$ ), sendo maior no canteiro A (20,1%) do que nos canteiros B (7,6%) e C (6,9%). Esta mortalidade diferenciada foi determinada principalmente pela morte de mudas pequenas, distinta entre os canteiros ( $X^2 = 6,3$ ;  $p < 0,05$ ). A mortalidade das mudas grandes não demonstrou diferença ( $X^2 = 4,9$ ;  $p > 0,05$ ) entre os canteiros (Tabela 2).

A mortalidade não diferiu significativamente entre os espaçamentos de plantio ( $X^2 = 6,0$ ;  $p > 0,05$ ). Analisando a resposta de cada tratamento, o espaçamento de 40 foi o único que apresentou diferença estatística de mortalidade entre os canteiros ( $X^2 = 6,9$ ;  $p < 0,05$ ), que foi bastante intensa no canteiro A (47,3%) em relação aos canteiros B (10%) e C (0%) (Tabela 3). Entretanto, este resultado não parece estar relacionado com a distância entre as plantas (menor mortalidade global de 5,7% em 30 cm e maior de 20% em 40 cm) e sim as condições ambientais do canteiro. Os quatro níveis de espaçamento demonstraram diferença significativa somente no canteiro A ( $X^2 = 10,9$ ;  $p < 0,05$ ) novamente devido a alta mortalidade do espaçamento de 40 cm. A porcentagem de mortes das plantas das bordas foi baixa e não variou significativamente entre os canteiros ( $X^2 = 3,2$ ;  $p > 0,05$ ), sendo de 9,3% no Canteiro A, 2,2% no Canteiro B e 2,7% no Canteiro C.

**Tabela 2:** Mortalidade inicial (após a primeira semana) de plantio em porcentagem de mudas de *Sarcocornia ambigua* pequenas e grande em três canteiros em Rio Grande (RS) ( $X^2 = \text{chi-quadrado}$ ).

Tamanho	Canteiro			X <sup>2</sup> Cant	Global
	A	B	C		
pequeno	23,5	14,8	10,6	6,3*	16,3
grande	17,1	1,1	3,1	6,4*	6,9
X <sup>2</sup> Tam	0,3 ns	9,4**	2,8 ns	-	7,1**
Global	20,1	7,6	6,9	13,2**	11,4

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,001$

\*\*\*  $p < 0,00;$

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

**Tabela 3:** Mortalidade inicial após a primeira semana de plantio em porcentagem de mudas de *Sarcocornia ambigua* nos espaçamentos de 10, 20, 30 e 40 cm cultivadas em três canteiros em Rio Grande (RS) ( $X^2 = \text{chi-quadrado}$ ).

Espaço	Canteiro			X <sup>2</sup> Cant	Global
	A	B	C		
10	17,9	6,2	9,8	3,9 ns	11,0
20	18,4	9,7	6,2	0,4 ns	11,7
30	5,0	7,1	4,5	3,6 ns	5,71
40	47,3	10,0	0,0	6,9*	20,0
X <sup>2</sup> Dens	10,89*	0,7 ns	3,3 ns	-	6,0 ns

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,001$

\*\*\*  $p < 0,00;$

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

### 4.3.2. Mortalidade final de mudas

Ao final dos 150 dias de cultivo foi observada uma mortalidade final de 19,3% das plantas de *S. ambigua*. Importante destacar que esta análise exclui as plantas mortas na primeira semana, que foram repostas. Como para a mortalidade na primeira semana, ocorreu diferença significativa na mortalidade final entre os três canteiros ( $X^2 = 27,5$ ;  $p < 0,001$ ), sendo maiores nos canteiros A (29,9%) e B (21,7%), e menor no canteiro C (4,5%) (Tabela 4). A diferença entre os canteiros foi marcada para plantas obtidas de mudas pequenas ( $X^2 = 9,7$ ;  $p < 0,01$ ) para os quais altas mortalidades ocorreram nos canteiros A (48,5%) e B (30,8%) e no canteiro C foi baixa (7,5%). A mortalidade foi diferenciada entre classes de tamanho das mudas ( $X^2 = 18,6$ ;  $p < 0,001$ ) e plantas oriundas de mudas pequenas apresentaram uma porcentagem global (29,3%) três vezes maior de mortalidade do que plantas obtidas de mudas grandes (10%) (Tabela 4).

A mortalidade final das plantas variou entre espaçamentos, sendo menor em 30 cm (7,1%) e maior em 40 cm (24,0%). Apenas no canteiro B foi detectada uma diferença significativa ( $F = 18,8$ ;  $p < 0,001$ ) entre as altas mortalidades nas linhas com pequenos espaçamentos (10 e 20 cm; 17,1 – 33,3% de mortes) e baixas nos grandes espaçamentos (30 e 40 cm; 5,0-7,1%) (Tabela 5).

Como para mortalidade inicial, não ocorreram diferenças significativas na mortalidade final de mudas das bordas entre os canteiros ( $X^2 = 3,6$ ;  $p > 0,05$ ) sendo de 2,3% no Canteiro A, 2,2% no Canteiro B e 2,7% no Canteiro C.

**Tabela 4:** Mortalidade final de plantio em porcentagem de mudas pequenas e grandes de *Sarcocornia ambigua* cultivadas em três canteiros em Rio Grande (RS) ( $X^2$  = chi-quadrado).

Tamanho	Canteiro			X <sup>2</sup> Cant	Global
	A	B	C		
pequeno	48,5	30,8	7,5	9,7**	29,3
grande	13,1	13,5	1,5	9,7**	10,0
X <sup>2</sup> Tam	12,3***	4,5*	2,6 ns	-	18,6***
Global	29,9	21,7	4,5	27,5***	19,3

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

\*\*\*  $p < 0,001$

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

**Tabela 5:** Mortalidade final de plantio em porcentagem de mudas de *Sarcocornia ambigua* nos espaçamentos de 10, 20, 30 e 40 cm cultivadas em três canteiros em Rio Grande (RS) ( $X^2$  = chi-quadrado).

Espaço	Canteiro			X <sup>2</sup> Cant	Global
	A	B	C		
10	28,3	33,3	6,5	1,8 ns	24,0
20	29,0	17,1	6,2	1,1 ns	18,0
30	15,0	7,1	0	4,4 ns	7,1
40	53,0	5,0	0	5,4 ns	20,0
X <sup>2</sup> Dens	6,6 ns	18,8***	4,3 ns	-	9,2*

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

\*\*\*  $p < 0,001$

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

#### 4.4. Herbivoria de larvas minadoras sobre as plantas

Ocorreu herbivoria por larvas minadoras de microlepidópteros em 30% das plantas cultivadas e foi observada uma diferença significativa na frequência de infestação entre os três canteiros ( $X^2 = 22,1$ ;  $p < 0,001$ ), sendo maior a porcentagem de plantas atacadas nos canteiros B (46,9%) e C (35,3%), e pequena no canteiro A (13,9%). Porém não ocorreu diferença significativa na infestação de larvas minadoras entre as plantas oriundas das diferentes classes de tamanho de mudas ( $X^2 = 1,3$ ;  $p > 0,05$ ) (Tabela 6).

A infestação de larvas minadoras diferiu significativamente entre os espaçamentos ( $X^2 = 36,1$ ;  $p < 0,001$ ) sendo que os espaçamentos menores, 10 cm (19,4%) e 20 cm (27,7%) tiveram porcentagem de infestação menores do que os espaçamentos maiores, 30 cm (51%) e 40 cm (49%). Todos os canteiros apresentaram diferenças significativas na infestação entre os espaçamentos de cultivo. Todos os espaçamentos também apresentaram diferenças significativas de infestação de larvas minadoras entre os canteiros, seguindo o padrão já mencionado para mudas de tamanhos diferentes, com maiores valores no canteiro B e nos espaçamentos de 30 cm e 40 cm (Tabela 7).

Também ocorreu diferença significativa de infestação de larvas minadoras entre os canteiros para as plantas das bordas ( $X^2 = 9,2$ ;  $p < 0,05$ ) sendo duas vezes maior a ocorrência no Canteiro B (66,6%) do que nos canteiros C (30,1%) e A (23,2%).

**Tabela 6:** Ocorrência porcentual de larvas minadoras de microlepidópteros em mudas de *Sarcocornia ambigua* pequenas e grandes cultivadas em três canteiros em Rio Grande (RS). ( $X^2$  = chi-quadrado)

Tamanho	Canteiro			$X^2$ Cant	Global
	A	B	C		
pequeno	11,7	37,0	36,4	0,8 ns	28,8
grande	10,5	46,1	36,9	0,8 ns	31,7
$X^2$ Tam	0 ns	1,7 ns	0 ns		1,3 ns
Global	11,1	41,7	36,6	22,1***	30,3

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,001$

\*\*\*  $p < 0,00$ ;

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

**Tabela 7:** Ocorrência porcentual de larvas minadoras de microlepidópteros em mudas de *Sarcocornia ambigua* nos espaçamentos 10, 20, 30 e 40 cm cultivadas em três canteiros em Rio Grande (RS) ( $X^2$  = chi-quadrado).

Espaçamento	Canteiro			$X^2$ Cant	Global
	A	B	C		
10	13,4	19,7	27,8	20,4***	20,1
20	0	58,5	18,7	9,8**	27,0
30	0	75,0	68,2	37,1***	51,4
40	36,8	50,0	62,5	10,7**	49,1
$X^2$ Dens	17,3***	47,2***	13,7*		36,1***

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,001$

\*\*\*  $p < 0,00$ ;

ns: não significativa ( $p < 0,05$ )

#### 4.5. Crescimento de *S. ambigua* e produção de biomassa

Após 150 dias de cultivo as plantas de *S. ambigua* não apresentaram diferença significativa na altura entre os espaçamentos de plantio ( $F = 2,52$ ;  $p > 0,05$ ), sendo que as médias deste parâmetro variaram de  $18,4 \pm 0,8$  cm no espaçamento 20 cm a  $20,9 \pm 0,9$  cm no espaçamento 30 cm (Figura 7A). Entre os canteiros não ocorreu diferença significativa para a altura final ( $F = 2,43$ ;  $p > 0,05$ ) (Figura 7B), porém as plantas oriundas de mudas grandes ( $21,1 \pm 0,5$  cm) demonstraram altura final significativamente maior ( $F = 14,59$ ;  $p < 0,001$ ) do que as plantas oriundas de mudas pequenas ( $18,2 \pm 0,6$  cm) (Tabela 8) (Figura 7C). As plantas das bordas apresentaram uma altura final semelhante às plantas de mudas grandes e não diferiram significativamente entre os canteiros ( $F = 2,60$ ;  $p > 0,05$ ), variando de  $19,0 \pm 0,7$  cm no canteiro B a  $21,4 \pm 1,0$  cm no canteiro A.

A expansão lateral final (comprimento da maior ramificação) das plantas foi significativamente diferente entre os espaçamentos ( $F = 4,91$ ;  $p < 0,001$ ). O teste de comparação entre médias de Tukey encontrou diferença dos menores espaçamentos 10 cm ( $47,5 \pm 2,4$  cm) e 20 cm ( $43,7 \pm 2,4$  cm), em relação aos maiores espaçamentos 30 cm ( $53,4 \pm 2,4$  cm) e 40 cm ( $56,6 \pm 3,2$  cm) (Figura 7D). Entre os canteiros de cultivo ocorreu diferença significativa da expansão lateral ( $F = 17,21$ ;  $p < 0,001$ ), sendo os três canteiros diferentes entre si e com ramificações medindo  $59,4 \pm 2,1$  cm no canteiro A,  $50,2 \pm 1,8$  cm no canteiro B e  $38,5 \pm 1,6$  cm no canteiro C (Figura 7E). Adicionalmente, a expansão lateral das plantas oriundas de mudas pequenas ( $39,2 \pm 1,6$  cm) e das mudas grandes ( $55,5 \pm 1,4$  cm) (Figura 7F) apresentaram diferença significativa ( $F = 49,88$ ;  $p < 0,001$ ) (Tabela 8). As plantas das bordas diferiram significativamente entre os canteiros ( $F = 11,66$ ;  $p < 0,001$ ), sendo a expansão lateral do canteiro A ( $68,0 \pm 2,4$  cm) maior do que

dos canteiros B ( $54,8 \pm 1,8$  cm) e C ( $54,4 \pm 2,8$  cm), que não diferiram entre si (teste de Tukey).

Tanto para o parâmetro altura final como para expansão lateral foi detectada uma interação significativa ( $p < 0,001$ ) entre os tratamentos Espaçamento x Canteiro, que pode ser relacionada a uma menor altura final e expansão lateral das plantas do canteiro B no espaçamento 20 cm, quando da comparação desta parcela com as contendo plantas espaçadas 10 cm e com plantas espaçadas 30 cm. Adicionalmente, foi detectada interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre Canteiro x Tamanho de muda para a altura final. Esta interação parece estar relacionada a uma maior altura final das plantas originadas de mudas pequenas no canteiro B (Tabela 8).

**Tabela 8:** Análise de Variância para altura final e expansão lateral (maior comprimento de ramificação) de plantas de *Sarcocornia ambigua* originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em quatro espaçamentos e em três canteiros de cultivo.

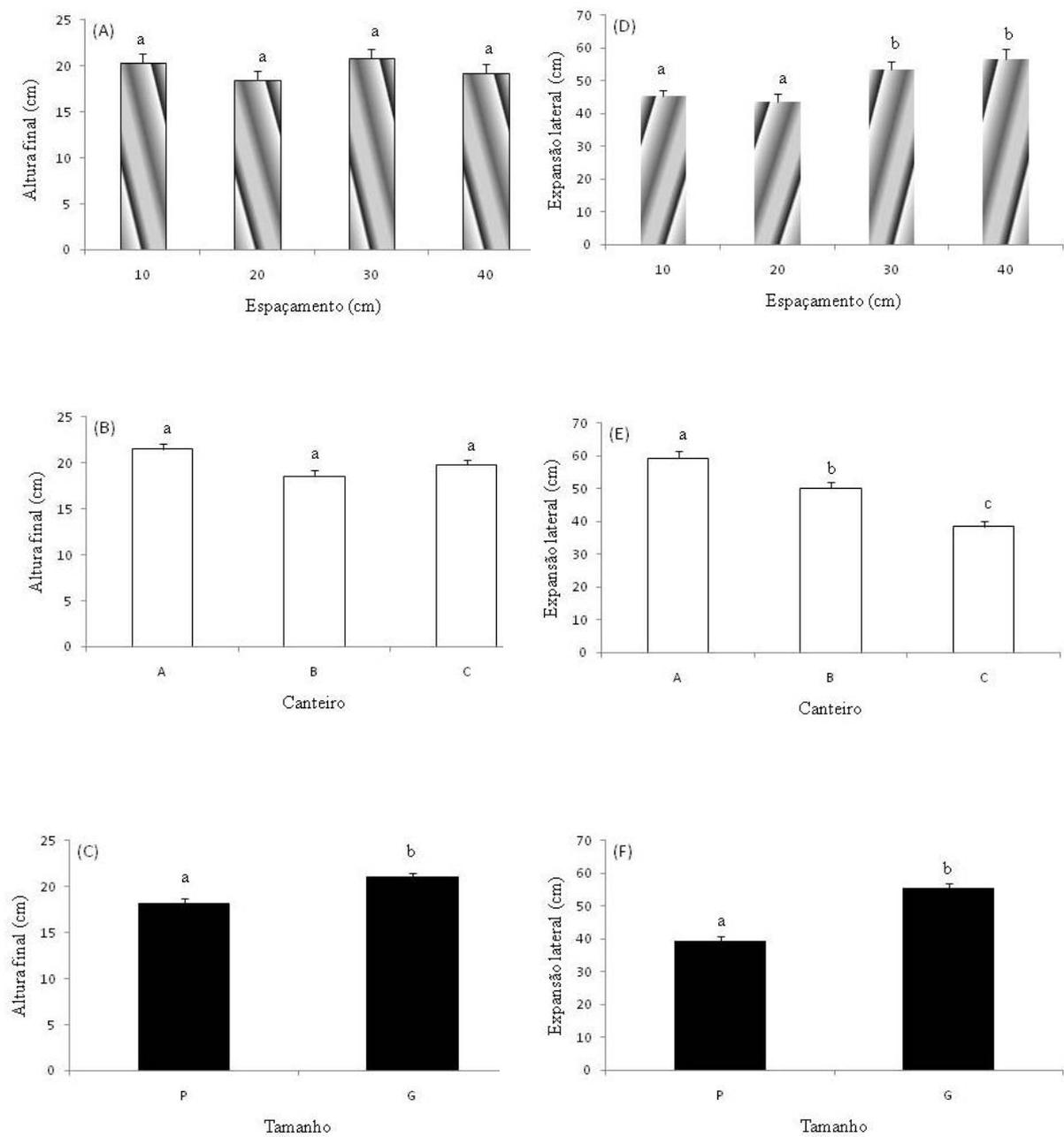
	Altura final				Expansão lateral			
	gl	SQ	F	p	gl	SQ	F	p
Espaçamento	3	89,83	2,52	ns	3	1380,16	4,91	< 0,01
Canteiro	2	86,57	2,43	ns	2	4836,08	17,21	< 0,001
Tamanho	1	520,34	14,59	< 0,001	1	14015,87	49,88	< 0,001
Espaçamento x Canteiro	6	193,23	5,42	< 0,001	6	2710,64	9,65	< 0,001
Espaçamento x Tamanho	3	20,57	0,58	ns	3	292,23	1,04	ns
Canteiro x Tamanho	2	191,78	5,38	< 0,01	2	264,01	0,94	ns
Erro	341	35,67			341	281,0		

\*  $p < 0,05$

\*\*  $p < 0,001$

\*\*\*  $p < 0,00$ ;

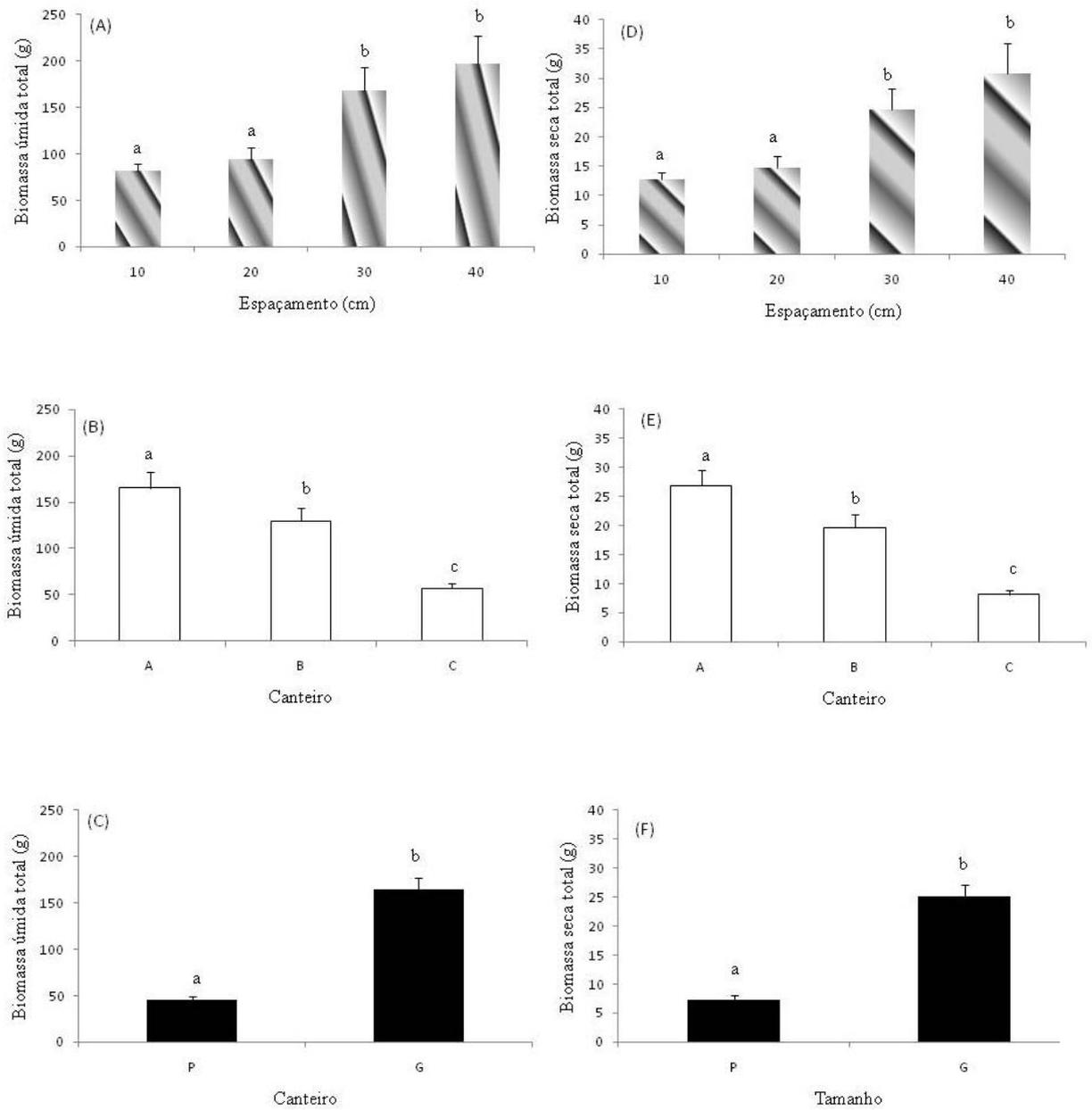
ns: não significativa ( $p > 0,05$ )



**Figura 7:** Médias ( $\pm$  erro-padrão) de altura final e de expansão lateral (comprimento da maior ramificação) das plantas de *Sarcocornia ambigua* quanto aos tratamentos de espaçamento (A e D), canteiro (B e E) e tamanho original das mudas (C e F). Legendas: P = pequenas; G= grandes.

Em relação a biomassa, o peso fresco (Tabela 9) apresentou diferença significativa ( $F = 14,62$ ;  $p < 0,001$ ) entre os espaçamentos, e o teste de Tukey diferenciou as biomassas frescas individuais marcadamente menores nos espaçamentos pequenos de 10 cm ( $81,6 \pm 7,2$  g) e 20 cm ( $94,9 \pm 12,5$  g) das observadas nos maiores espaçamentos de 30 cm ( $168,5 \pm 24,5$  g) e 40 cm ( $196,9 \pm 30,5$  g) (Figura 8A). As biomassa frescas dos três canteiros também variaram significativamente entre si ( $F = 17,55$ ;  $p < 0,001$ ), a maior média de biomassa fresca foi no canteiro A ( $165,6 \pm 16,7$  g) seguida de  $130,9 \pm 14$  g no canteiro B e  $56,7 \pm 5,5$  g no canteiro C (Figura 8B). O tamanho original das mudas afetou significativamente ( $F = 131,96$ ;  $p < 0,001$ ) a média de biomassa fresca final, e plantas oriundas de mudas grandes ( $165,0 \pm 11,7$  g) foram cerca de quatro vezes mais pesadas do que plantas oriundas de mudas pequenas ( $45,5 \pm 4,1$  g) (Tabela 9) (Figura 8C). As biomassas frescas das plantas das bordas diferiram significativamente entre os canteiros ( $F = 9,24$ ;  $p < 0,001$ ) e o teste Tukey encontrou diferença do canteiro A onde a média de biomassa fresca foi de  $297,3 \pm 29,4$ g, em relação ao canteiro B ( $214,1 \pm 28,9$  g) e ao canteiro C ( $162,2 \pm 30,6$  g).

A resposta da biomassa seca total por planta aos tratamentos de plantio foi muito semelhante a da biomassa fresca total. O peso seco apresentou diferença significativa ( $F = 11,45$ ;  $p < 0,001$ ) entre os espaçamentos (Figura 8D) e o teste de Tukey encontrou diferença entre os menores espaçamentos de 10 cm ( $12,8 \pm 1,2$  g) e 20 cm ( $14,7 \pm 2,1$  g) em relação aos maiores espaçamentos de 30 cm ( $24,7 \pm 3,6$  g) e 40 cm ( $30,9 \pm 5,1$  g). A biomassa total variou significativamente entre os canteiros ( $F = 18,41$ ;  $p < 0,001$ ), onde a maior média foi de  $26,8 \pm 2,7$  g no canteiro A, seguida de  $19,7 \pm 2,2$  g no canteiro B, e apenas  $8,2 \pm 0,8$  g no canteiro C (Teste de Tukey) (Figura 8E). A média de biomassa seca total

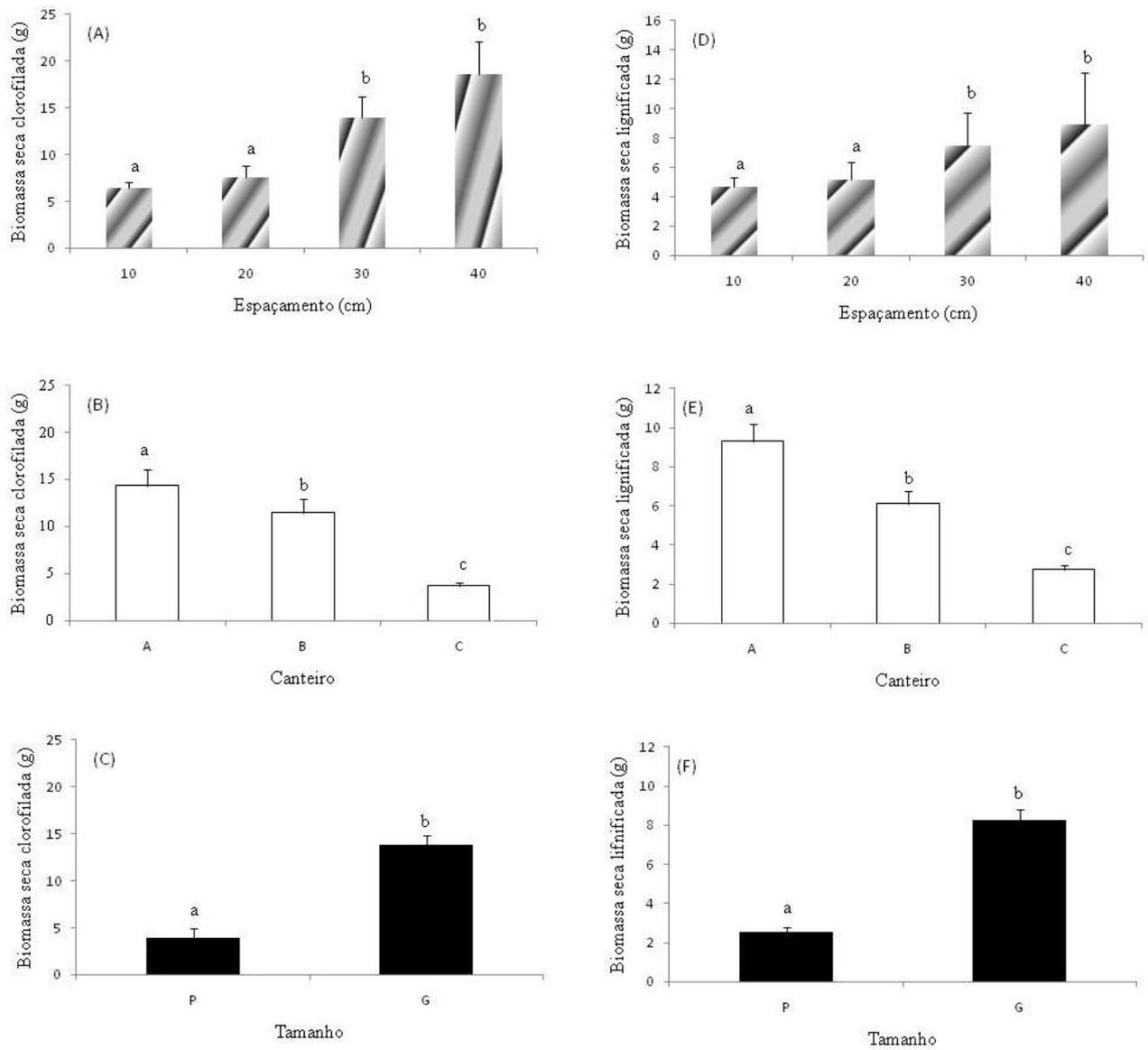


**Figura 8:** Médias ( $\pm$  erro-padrão) de biomassa fresca total e de biomassa seca total de plantas de *Sarcocornia ambigua* quanto aos tratamentos de espaçamento (A e D), canteiro (B e E) e tamanho original das mudas (C e F). Legendas: P = pequenas; G= grandes.

das plantas oriundas de mudas grandes ( $25,2 \pm 1,8$  g) foi significativamente maior ( $F = 118,27$ ;  $p < 0,001$ ) do que das plantas oriundas de mudas pequenas ( $7,3 \pm 0,7$  g) (Tabela 9) (Figura 8F). As plantas das bordas diferiram significativamente entre os três canteiros ( $F = 11,32$ ;  $p < 0,001$ ), quanto a média de biomassa seca que foi de  $46,9 \pm 4,6$  g,  $33,7 \pm 4,6$  g e  $20,4 \pm 3,4$  g, respectivamente, para os canteiros A, B e C.

A biomassa seca dos segmentos vegetativos clorofilados apresentou diferença estatística ( $F = 14,6$ ;  $p < 0,001$ ) entre os espaçamentos menores de 10 cm ( $6,4 \pm 0,7$  g) e 20 cm ( $7,6 \pm 1,2$  g), em relação aos maiores espaçamentos de 30 cm ( $14,0 \pm 2,2$  g) e 40 cm ( $18,6 \pm 3,5$  g) (Figura 9A). Também ocorreram diferenças significativas entre os três canteiros ( $F = 17,5$ ;  $p < 0,001$ ), onde as médias foram expressivamente maiores nos canteiros A ( $14,4 \pm 1,7$  g) e B ( $11,5 \pm 1,4$  g) em relação ao canteiro C ( $3,7 \pm 0,4$  g) (Figura 9B). A biomassa vegetativa clorofilada diferiu significativamente entre as duas classes de tamanho ( $F = 132,0$ ;  $p < 0,001$ ), sendo 3,5 vezes maior nas plantas oriundas de mudas grandes ( $13,8 \pm 1,2$  g) do que nas plantas originadas de mudas pequenas ( $3,9 \pm 0,4$  g). (Tabela 9) (Figura 9C).

A biomassa seca dos segmentos vegetativos lignificados apresentou um padrão semelhante da biomassa vegetativa seca clorofilada, ocorrendo diferença significativa entre os espaçamentos ( $F = 5,83$ ;  $p < 0,001$ ). As médias dos menores espaçamentos de 10 cm ( $4,7 \pm 0,4$  g) e 20 cm ( $5,1 \pm 0,6$  g) foram inferiores as dos maiores espaçamentos de 30 cm ( $7,5 \pm 1,2$  g) e 40 cm ( $8,9 \pm 1,5$  g) (Figura 9D). Ocorreu diferença significativa entre os três canteiros ( $F = 14,85$ ;  $p < 0,001$ ), onde o canteiro A apresentou maior biomassa vegetativa lignificada ( $9,3 \pm 0,9$  g), seguido do canteiro B ( $6,1 \pm 0,6$  g) e do canteiro C ( $2,7 \pm 0,3$  g) (Figura 9E). Também ocorreram marcadas diferenças da biomassa seca lignificada ( $F = 113,96$ ;  $p < 0,001$ ) entre as plantas oriundas de mudas

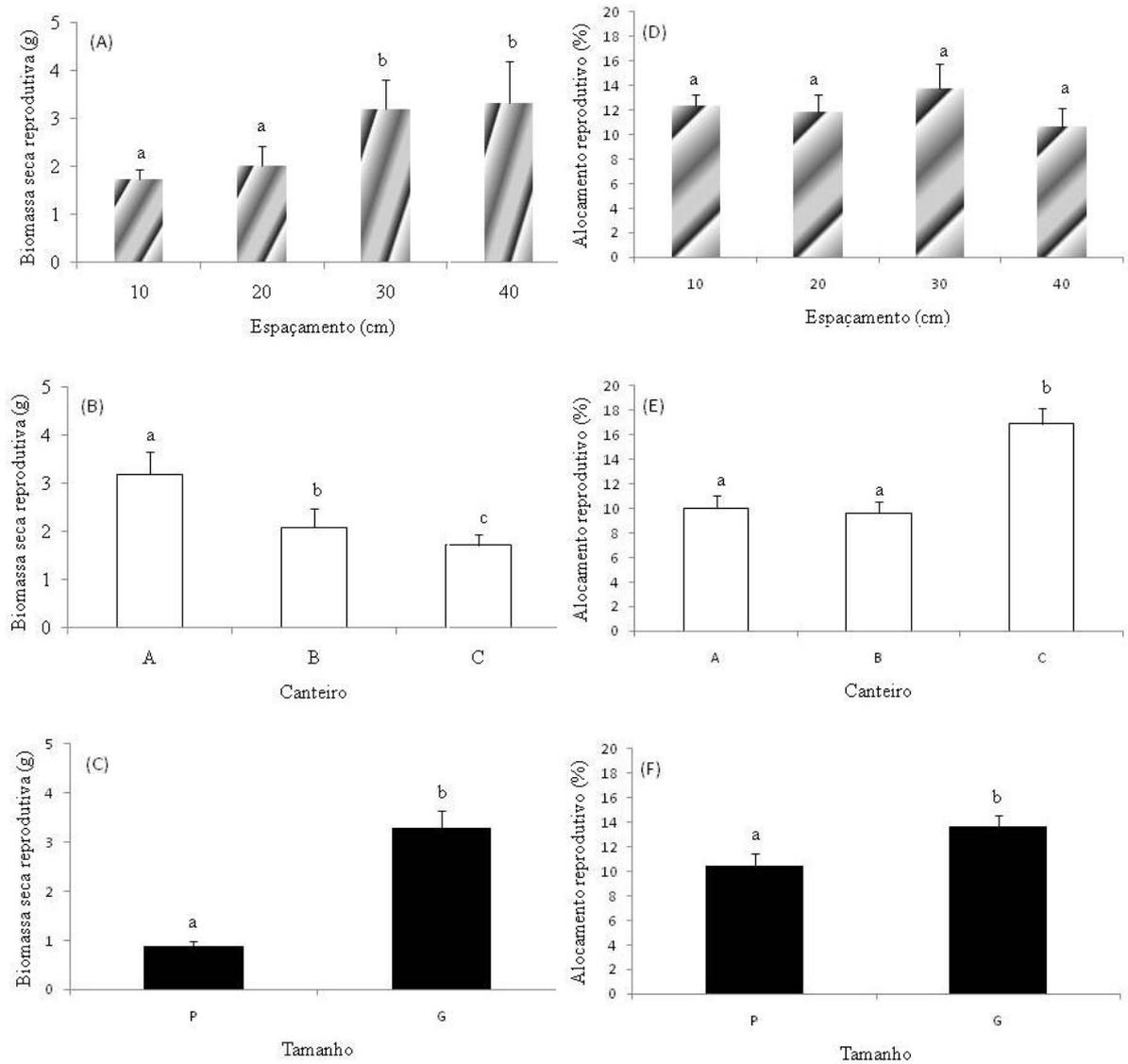


**Figura 9:** Médias ( $\pm$  erro-padrão) de biomassas vegetativas secas clorofilada e lignificada de plantas de *Sarcocornia ambigua* quanto aos tratamentos de espaçamento (A e D), canteiro (B e E) e tamanho original das mudas (C e F). Legendas: P = pequenas; G= grandes.

grandes ( $8,2 \pm 0,6$  g) e das plantas oriundas de mudas pequenas ( $2,5 \pm 0,3$  g) (Tabela 9) (Figura 9F).

A biomassa seca dos segmentos reprodutivos apresentou diferença significativa ( $F = 2,5$ ;  $P < 0,01$ ) entre os espaçamentos de cultivo e o teste de contraste de médias de Tukey encontrou diferenças significativas entre as menores médias de  $1,7 \pm 0,2$  g no espaçamento 10 cm e  $2,0 \pm 0,4$  g no espaçamento 20 cm, e as maiores médias de  $3,2 \pm 0,6$  g no espaçamento 30 cm e  $3,3 \pm 0,9$  g no espaçamento 40 cm (Figura 10A). Ocorreu diferença significativa também entre os três canteiros ( $F = 6,56$ ;  $p < 0,01$ ), onde o canteiro A apresentou maior biomassa reprodutiva ( $3,2 \pm 0,5$  g) seguido do canteiro B ( $2,1 \pm 0,4$  g) e do canteiro C ( $1,7 \pm 0,2$  g) (Figura 10B). A biomassa seca reprodutiva final também apresentou diferença significativa ( $F = 47,1$ ;  $p < 0,001$ ) entre as plantas oriundas de mudas grandes ( $3,3 \pm 0,3$  g) que tiveram 3,75 vezes mais biomassa seca reprodutiva do que as plantas oriundas de mudas pequenas ( $0,88 \pm 0,12$  g) (Tabela 9) (Figura 10 C).

A análise da alocação reprodutiva (proporção de biomassa total composta pela biomassa reprodutiva) indicou um investimento médio global em estruturas reprodutivas de  $12,3 \pm 0,7$  % da biomassa aérea total produzida por *S. ambigua*. Não ocorreu diferença significativa na alocação reprodutiva entre os espaçamentos de cultivo ( $F = 0,7$ ;  $p > 0,05$ ) e as médias dos espaçamentos de 10 cm, 20 cm, 30 cm e 40 cm foram, respectivamente, de:  $12,3 \pm 0,9$  %;  $11,9 \pm 1,3$  %;  $13,7 \pm 2,0$  %; e  $10,6 \pm 1,5$  % (Figura 10 D). A alocação reprodutiva variou significativamente entre os canteiros de cultivo ( $F = 7,90$ ;  $p < 0,001$ ), e o teste de Tukey demonstrou diferença do canteiro C ( $16,9 \pm 1,3$  %), que teve maior valor médio, para os canteiros A ( $10,0 \pm 1,1$  %) e B ( $9,6 \pm 0,9$  %) (Figura 10E).



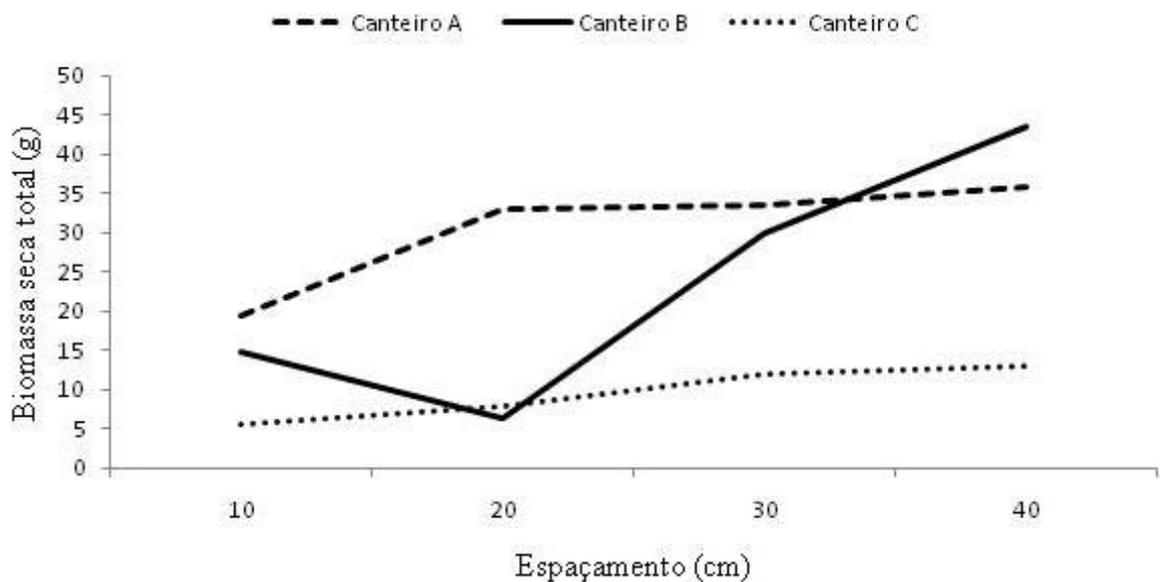
**Figura 10:** Médias ( $\pm$  erro-padrão) de biomassa seca reprodutiva e alocação reprodutiva (Porcentagem reprodutiva da biomassa total) de plantas de *Sarcocornia ambigua* quanto aos tratamentos de espaçamento (A e D), canteiro (B e E) e tamanho original das mudas (C e F). Legendas: P = pequenas; G= grandes.

Para o tamanho das mudas de *S. ambigua* também ocorreram diferenças significativas ( $F = 6,61$ ;  $p < 0,05$ ), onde as mudas grandes alocaram  $13,6 \pm 0,9$  % e as mudas pequenas  $10,4 \pm 1,0$  % em estruturas reprodutivas (Tabela 9) (Figura 10F).

As ANOVAs detectaram interações significativas entre os tratamentos Espaçamento x Canteiro para biomassa fresca ( $F = 6,20$ ;  $p < 0,001$ ), biomassa seca total ( $6,22$ ;  $p < 0,001$ ), biomassa seca clorofilada ( $F = 5,60$ ;  $p < 0,001$ ), biomassa seca lignificada ( $F = 5,62$ ;  $p < 0,001$ ) e biomassa seca reprodutiva ( $F = 3,47$ ;  $p < 0,001$ ). Como para os parâmetros biométricos altura final e expansão lateral, estas interações parecem relacionadas a uma forte inibição da formação de biomassa no espaçamento 20 cm do canteiro B. Nos demais canteiros o decaimento da biomassa média entre os espaçamentos 30 cm e 40 cm para os espaçamentos 10 cm e 20 cm é mais gradual. Todas as variáveis da biomassa listadas acima demonstraram o mesmo comportamento para a interação Espaçamento x Canteiro, podendo ser este ilustrado pelas variações nas medidas de biomassa seca total das plantas (Figura 11).

A resposta do tamanho médio das plantas ao aumento da densidade (redução do espaçamento) nos canteiros permite avaliar a intensidade da competição intraespecífica. Regressões lineares demonstraram uma boa representatividade das respostas ( $r^2 = 0,90$  a  $0,99$ ). No canteiro B o efeito competitivo não foi significativo quando os valores médios de todas as parcelas foram considerados ( $r^2 = 0,27$ ; parâmetros da reta de ajuste de  $a = 321,47 \pm 120,66$  e  $b = -21,43 \pm 14,58$ ). Entretanto, se o dado da parcela 20 cm de espaçamentos deste canteiro, cujo crescimento foi menor do que o esperado nas condições de cultivo é eliminado da regressão o ajuste linear e o efeito competitivo passam a ser significativos ( $r^2 = 0,94$ ; sem grandes variações dos parâmetros da reta). Maiores intensidades competitivas por indivíduo entre as plantas de *S. ambigua*

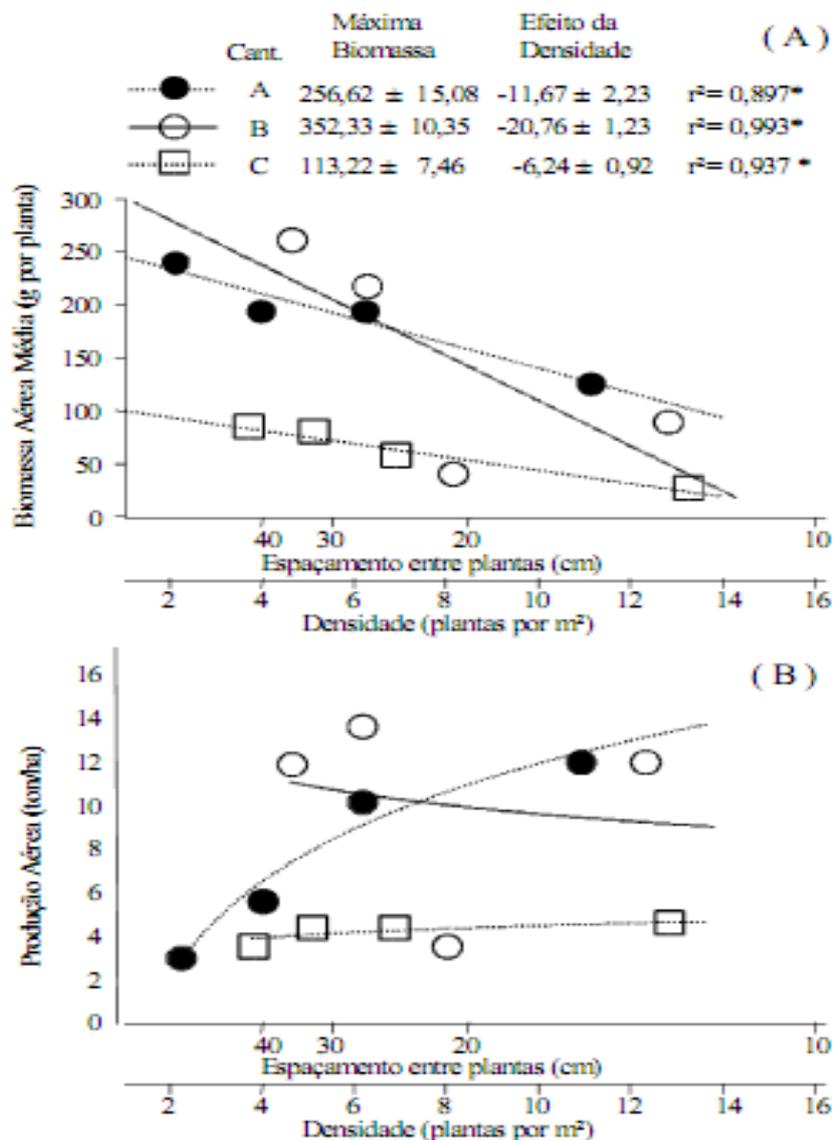
(declividade das retas) ocorreram nos canteiros A e B, onde as plantas encontraram uma melhor condição de crescimento (máximo desempenho teórico caracterizado pela intersecção da reta com eixo “y”; biomassa quanto a densidade é zero). Para os mesmos 150 dias de cultivo, a adição de cada planta no canteiro B acarretou na redução média de 20,8 g no peso fresco individual, enquanto no canteiro C o mesmo aumento de densidade promoveu uma redução de cerca da metade deste valor (6,2 g por planta). (Figura 12).



**Figura 11:** Visualização da interação dos espaçamentos de plantio (10, 20, 30 e 40 cm) com os três canteiros de cultivo através da variável biomassa seca total por planta.

Com os dados obtidos (biomassa fresca média das plantas e a densidade final de plantas por parcela) permitiram estimar a produção por área em cada espaçamento. Em um cultivo de 150 dias a produção média global por área de biomassa fresca foi de  $8,2 \pm 1,6$  t/ha. A maior produção por área foi alcançada no espaçamento de 10 cm ( $10,3 \pm 5,0$  t/ha), seguida dos espaçamentos de 30 cm ( $8,70 \pm 4,5$  t/ha), 40 cm ( $6,87 \pm 4,4$  t/ha) e 20 cm ( $6,85 \pm 4,8$  t/ha).

O relacionamento dos valores de produção com a densidade (espaçamentos) de cada canteiro permitiu visualizar um aumento da biomassa total produzida por unidade de área com o incremento da densidade (Figura 12), na forma de uma curva assintótica até valores limites de 14 e 4 t/ha, respectivamente, em densidade final de cultivo de 14 plantas/m<sup>2</sup> (entre 20 cm e 10 cm de espaçamento) para os canteiros A e C. O canteiro B não apresentou o padrão de relacionamento citado acima entre produção por área e densidade.



**Figura 12:** Regressões lineares da biomassa aérea média fresca e valores de produção aérea fresca por m<sup>2</sup> de *S. ambigua* contra as densidades médias finais. A equivalência entre as densidade e distância de espaçamento é apresentada no eixo “x”. Para o canteiro B são apresentados os parâmetros da regressão linear realizada sem o valor médio de biomassa do espaçamento 20 cm (veja o texto). Curvas logarítmicas foram ajustadas para os dados de produção por área apenas para facilitar a visualização.

**Tabela 9:** Análises de Variância da biomassa úmida total, biomassa seca total, biomassa seca clorofilada, biomassa seca lignificada, biomassa seca reprodutiva e alocação reprodutiva de plantas de *Sarcocornia ambigua* originadas de mudas de tamanho grande e pequeno, plantadas em quatro espaçamentos e em três canteiros de cultivo. Foram considerados os seguintes fatores: Espaçamento (E), Canteiro (C), Tamanho (T), Espaçamento x Canteiro (E x C), Espaçamento x Tamanho (E x T) e Canteiro x Tamanho (C x T). Símbolos “gl” e “MS” indicam respectivamente grau de liberdade do resíduo e soma dos quadrados das ANOVAs.

Fatores	gl	Biomassa úmida total			Biomassa seca total			Biomassa seca clorofilada			Biomassa seca lignificada			Biomassa seca reprodutiva			Alocação reprodutiva		
		MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
E	3	2,4	14,6	***	2,3	11,5	***	2,4	14,6	***	1,1	5,8	***	0,2	2,5	ns	0,2	0,4	ns
C	2	2,9	17,6	***	3,7	18,4	***	2,9	17,5	***	2,9	14,8	***	0,1	1,4	ns	1,9	6,1	**
T	1	21,9	132	***	24,1	118,3	***	21,9	132	***	22,2	114	***	4,6	47,1	***	2,7	8,9	**
E x C	6	1,1	6,2	***	1,2	6,1	***	1,1	6,2	***	1,1	5,9	***	0,3	2,9	**	0,6	2,1	ns
E x T	3	0,7	0,6	ns	0,1	0,3	ns	0,1	0,7	ns	0,1	0,3	ns	0,01	0,1	ns	0,2	0,7	ns
C x T	2	0,9	0,5	ns	0,1	0,3	ns	0,2	0,8	ns	0,1	0,3	ns	0,3	2,5	ns	0,9	2,3	ns
Erro	341	0,8			0,2			0,2			0,2			0,1			0,3		

\* p < 0,05

\*\* p < 0,001

\*\*\* p < 0,00;

ns: não significativa (p > 0,05)

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Mortalidade de mudas

A mortalidade final global dos canteiros *S. ambigua* foi de 19,3% após 150 dias de cultivo, ficando esta na faixa esperada quando comparada com dois cultivos anteriores para a mesma espécie, irrigados com efluentes de camarão. Greis (2009) em cultivo realizado no mesmo clima subtropical em Rio Grande (RS) teve uma mortalidade de 25%, enquanto o cultivo realizado em clima tropical (Aracati, CE) apresentou 16,3% de mortalidade (Costa *et al.* 2006<sup>b</sup>).

A falta de um relacionamento direto ou inverso entre as taxas de mortalidade e os espaçamentos sugere que na faixa de densidades de plantio utilizada (até 16,7 plantas/m<sup>2</sup> no espaçamento de 10 cm) não ocorreu mortalidade dependente da densidade no cultivo de *S. ambigua*. A mortalidade dependente da densidade é uma característica específica e influenciada pela capacidade de suporte do ambiente ocupado pela espécie. Brome *et al.* (1986) em experimento com plantio de mudas de *Spartina alterniflora* para recuperação de marismas utilizando quatro espaçamentos de 45, 60 e 90 cm entre as plantas, encontrou uma mortalidade dependente da densidade e as taxas de mortalidade foram respectivamente de 28, 31 e 51% no final do primeiro ano de crescimento. Segundo estes autores, a vantagem dos espaçamentos mais próximos para esta espécie é a densidade de plantas que produz maior quantidade de raízes e rizomas que estabilizam o substrato, prevenindo a erosão e ajudando no estabelecimento das plantas.

Drake & Ungar (1989) em seu estudo com a Chenopodiaceae *Atriplex triangularis* em densidades maiores, entre 200 a 2500 plantas/m<sup>2</sup>, e em condições ambientais favoráveis encontrou uma mortalidade dependente da densidade, sendo que

as mortalidades aumentaram de 5 a 48% conforme aumentava a densidade de plantas. Já em outro estudo de competição intraespecífica com *Atriplex prostrata* cultivado em densidades de 200-1600 plantas/m<sup>2</sup>, Wang *et al.* (2005) não verificou nenhuma mortalidade durante o experimento.

Outros trabalhos com plantas com morfologia do caule simplificada e folhas fusionadas ao caule, semelhantes a objetos isométricos (cones ou cilindros), como espécies de *Sarcocornia*, não observaram à influência da densidade sobre a mortalidade. Ellison (1987<sup>a</sup>) em seu estudo com a Chenopodiaceae *S. europaea* submeteu as plantas a densidades variando de 10 até 10.000 plantas/m<sup>2</sup> e encontrou mortalidades consideradas baixas, de somente 10% e que não foram dependentes da densidade. Outros estudos deste autor sugerem que plantas de estrutura morfológica simplificada escapam de mortalidades dependentes da densidade mesmo crescendo em densidades extremamente altas, devido à plasticidade morfológica que permite um crescimento espacial em altura (ereta) enquanto a produção de ramificações (prostrata) é limitada pela proximidade das copas dos vizinhos (Ellison 1987<sup>b</sup>, Ellison & Niklas 1988). A forma de crescimento verificado neste estudo com as ramificações sendo muito mais afetadas pelo espaçamento do que a altura dos caules indica que *S. ambigua* pode ter um comportamento semelhante ao descrito para *S. europaea*, evitando assim mortalidade densidade dependente, ou as densidades de cultivo não foram altas o suficiente para acarretar mortalidades.

Constratamente, a mortalidade de *S. ambigua* foi marcadamente influenciada pela variação espacial das condições edáficas (diferenças entre canteiros). No início do cultivo as chuvas foram menos frequentes e ocorreram altas temperaturas, a umidade do solo foi baixa e a condutividade elétrica do sedimento alta. Porém o canteiro C, devido a

sua posição topográfica próxima do lençol freático demonstrou uma maior umidade média no sedimento, em torno de 10%, contra 6,3% e 7,3% dos canteiros A e B. Esta maior umidade no sedimento encontrada no canteiro C no período de estabelecimento das mudas possibilitou uma mortalidade extremamente baixa de apenas 4,5% até o final do cultivo (6,9% na primeira semana), cerca de quatro a seis vezes menores do que nos canteiros A e B.

No ambiente natural as mortalidades de plantas com pequenas sementes como *Sarcocornia*, costumam ser muito altas e em ambientes de marismas estão geralmente relacionadas a fatores abióticos, como a umidade e a salinidade do solo (Adam 1990). Davy *et al.* (2001) cita diversos problemas enfrentados pelas plantas de marismas que levam a mortalidades no ambiente natural como: tolerância a longos períodos de submersão devido a inundações decorrentes de marés e precipitações; estresse salino provocados pela evaporação da água do sedimento; solos com sedimentos finos que podem desprender-se impedindo o estabelecimento ou soterrando plântulas; e substratos periodicamente alagados que podem tornar-se reduzidos ficando tóxicos para o desenvolvimento das plantas.

A salinidade no sedimento não parece ter sido responsável pelas diferenças nas mortalidades das plantas de *S. ambigua* entre os três canteiros de cultivo. O efluente salino do cultivo de camarão utilizado para irrigar os canteiros, teve salinidade variando de 22 a 40 g NaCl L<sup>-1</sup> ( $\approx$  34,5-63,0 dS/m), entretanto as condutividades elétricas das amostras de sedimento dos canteiros não ultrapassaram 10 dS/m, valor este verificado no canteiro C, que apresentou a menor mortalidade entre os canteiros. Ungar (1987) em experimento de campo com *S. europaea* em diferentes habitats salinizados, encontrou mortalidades relacionadas ao aumento da salinidade, porém somente quando a

condutividade do sedimento chegava a cerca de 80 dS/m. Greis (2009) em cultivo com *S. ambigua* também não encontrou relação da salinidade do sedimento com mortalidade das plantas, mesmo quando a salinidade no canteiro de cultivo chegava a 25 g NaCl/L de extrato de sal do solo ( $\approx 39$  dS/m). Resultados de cultivos em viveiros e em marismas de *S. ambigua* também sugerem não ocorrer inibição de clorofila “a” em salinidade de até 25 g NaCl/L (Costa & Neves 2006). Estes trabalhos corroboram com as observações sobre a distribuição natural de espécies do gênero *Sarcocornia* no ambiente natural, visto que estas plantas são frequentemente encontradas em marismas superiores, sobrevivendo inclusive em sedimentos com salinidades acima do valor da água do mar (Davy *et al.* 2006; Isacch *et al.* 2006).

O tamanho da muda demonstrou ser determinante da taxa de mortalidade. A mortalidade final foi três vezes maior para as mudas pequenas (29,3%) do que para as mudas grandes (10%), e chegou a ser inferior a 3% para as plantas das bordas oriundas de mudas de grande porte obtidas por estaquia. Estas marcadas diferenças na mortalidade já haviam sido observadas na primeira semana de cultivo. Um dos motivos destes resultados pode ter sido a fragilidade do sistema radicular das mudas pequenas. O maior desenvolvimento do sistema radicular permitiu as mudas grandes um estabelecimento mais eficiente e absorção de água do sedimento. Greis (2009) em cultivo de *S. ambigua* obteve resultados parecidos, em parcelas do canteiro onde a umidade do sedimento era baixa, a mortalidade das mudas pequenas (65%) foi três vezes maior que das mudas grandes (26%).

Rico *et al.* (2009) estudando várias espécies de gramíneas observaram que em anos com chuvas menos frequentes e períodos de seca, baixos níveis de umidade eram observados no solo de pradarias dominadas por plantas anuais e a sobrevivência das

plântulas de maior tamanho era superior as de pequeno porte devido a capacidade de suas raízes penetrar mais profundamente nas camadas do solo. Adicionalmente Eckstein (2004) observou que as mortalidades de plântulas de gramíneas aumentavam quando a umidade do solo em pradarias estava abaixo de 5%, particular para plântulas pequenas com pouca capacidade de acumular recursos, enquanto as mortalidades foram baixas para umidades do solo acima de 10%.

## **5.2. Produção de biomassa**

Após 150 dias de cultivo *S. ambigua* atingiu uma produção média de biomassa aérea fresca por área de 8,0 t/ha, ocorrendo uma amplitude de variação entre os diferentes canteiros e parcelas de espaçamento de 3,4 a 13,9 t/ha. Este valor médio é intermediário entre os valores de produção de biomassa aérea por área de outros cultivos de *S. ambigua* realizados no Brasil. O cultivo experimental no Ceará de *S. ambigua* irrigada por 106 dias com efluente salino de carcinocultura e densidade de plantio de 7,5 plantas/m<sup>2</sup> alcançou uma produção média de 3,1 t/ha de biomassa fresca ou equivalente a 552 Kg/ha de biomassa seca (Costa *et al.* 2006<sup>b</sup>). A colheita das plantas na mesma localidade e com mesmo manejo, mas após 155 dias de cultivo rendeu em média 8,9 t/ha (Costa 2006). O cultivo da mesma espécie realizado no Rio Grande do Sul por 100 dias e um espaçamento de 15 cm alcançou uma produção média de biomassa fresca de 23,4 t/ha ou 3,6 t/ha em peso seco (Greis 2009), mas sob quatro regas diárias e um volume total de irrigação com efluente da carcinocultura de 1800 L por dia; um volume quatro vezes maior do que do presente estudo.

A produção por área de *S. ambigua* no sul do Brasil também é equivalente a de outras halófitas cultivadas em outras partes do mundo. O'Leary *et al.* (1985) citam produções anuais de 8-17 t/ha de biomassa seca para as espécies halófitas *Batis*

*maritima*, *S. europaea* e *Atriplex* sp. O cultivo de *S. bigelovii* irrigado com água do mar e uso de fertilizantes (NPK) gerou uma biomassa seca por safra de 12,7-24,6 t/ha (Glenn *et al.* 1991). Benes *et al.* (2005) citam produções de 6,4-12,4 t/ha de peso fresco para *S. bigelovii*, cultivada com água de drenagem de fazendas, rica em nitrogênio (N-NO<sub>3</sub> = 92,8 mg/L). Outro trabalho recente com esta última espécie (Zerai *et al.* 2010) em estufa e com espaçamento de 30 cm, comparando variedades cultivadas com variedades selvagens, obteve produção média de biomassa seca de 3,2 t/ha.

Recentemente Ventura *et al.* (2011) descreveu uma produção por área da planta anual *Salicornia persica* em hidroponia de 1,6 ton/ha de peso fresco a cada três semanas (ou seja 22,9 t/ha em 100 dias). Estes autores também citam produções médias da halófito perene *Sarcocornia fruticosa*, também em hidroponia, duas a três vezes menores, mas sugerem que em cultivos com maior duração de tempo, esta espécie possa alcançar os valores de produção semelhantes aos da *S. persica*. Isto ocorre porque a medida que o sistema radicular desta planta perene atinge maiores tamanhos, possibilita as plantas uma maior capacidade de responder a poda. Um aumento de produção semelhante provavelmente deve ocorrer para rebrotes de *S. ambigua*, uma vez que a planta demonstrou uma vigorosa produção de raízes (Greis 2009).

Produções de biomassa por área semelhantes as citadas acima foram alcançadas por gramas halófitas forrageiras, tais como *Distichilis spicata* e *Sporobolus virginicus* que apresentaram rendimentos em biomassa seca para cultivos de 10 meses com múltiplas podas de, respectivamente, até 9,5 t/ha e 15,5 t/ha (Gallenger 1985). Estes valores são semelhantes ao obtidos no Egito para as gramas *Leptochloa fusca*, *Spartina patens* e *Sporobolus virginicus*, com produções de 1,1 a 6,5 t/ha de peso seco por ano, através de três a quatro podas (Ashour *et al.* 1997). Adicionalmente, arbustos do gênero *Atriplex* são cultivado em solos salinizados em áreas semiáridas e desertos, gerando

importante fonte de biomassa. Malcolm *et al.* (1988) obteve após 20 meses de cultivo irrigado com cinco espécies de *Atriplex* em solo salinizado do deserto australiano valores bem menores de produção de folhas e galhos finos, variando de 0,4 a 2,0 t/ha em peso seco. Em Pernambuco no clima semiárido, o cultivo de *Atriplex nummularia* (erva-de-sal) irrigada com efluentes da criação de tilápia rosa (*Oriochromis* sp.), em espaçamento de 40 cm, obteve produções de biomassa seca por área de folhas e pequenos galhos entre 9,7 a 13,8 t/ha por ano, sendo a maior produção conseguida com um maior volume de irrigação (Porto *et al.* 2006). *Atriplex triangularis* cultivado em solos salinizados atingiu uma produção anual de 21,3 t/ha de biomassa fresca (Gallenger 1985). É importante destacar que tanto *S. ambigua* como as demais halófitas citadas acima, mesmo crescendo em solos salinizados ou sob irrigação salina, atingiram produções por área semelhantes a cultivares irrigados com água doce, como a alfafa cuja produção anual alcança de 5 a 20 t/ha de biomassa seca (O'Leary *et al.* 1985, Glenn *et al.* 1998).

### **5.3. Efeitos do Espaçamento – Densidade de cultivo no crescimento e biomassa individual**

A redução do espaçamento entre plantas de *S. ambigua* inibiu significativamente o crescimento das ramificações e a biomassa aérea individual total (fresca e seca), tanto componentes vegetativos como reprodutivos. De forma geral, as diferenças no desenvolvimento ocorreram entre as plantas dos dois menores espaçamentos e dos dois maiores espaçamentos. Nos espaçamentos de 30-40 cm, as plantas tiveram uma expansão lateral 20% maior e o dobro da biomassa aérea das plantas que cresceram nos espaçamentos de 10 e 20 cm. Estas diferenças no crescimento médio das plantas podem

ser atribuídas a ocorrência de competição por recursos nos menores espaçamentos (maiores densidades de plantio).

Desenhos experimentais aditivos (gradiente de densidades) tem sido utilizados para avaliar o efeito da competição no crescimento das plantas (Law & Watkinson 1989, Davy *et al.* 2000, Goldberg *et al.* 2001). Ellison (1987<sup>a</sup>) atribuiu a competição diferenças marcantes na morfologia e no crescimento entre plantas de *S. europaea* cultivadas em baixa densidade (10 plantas/m<sup>2</sup>) e em alta densidade (100 plantas/m<sup>2</sup>). Neste estudo plantas de baixa densidade apresentaram o dobro da altura e do número de ramificações, além de três vezes mais biomassa aérea do que plantas de baixa densidade. Em laboratório, Wang *et al.* (2005) observou inibição do crescimento na halófito facultativa *Atriplex prostrata* por competição intraespecífica, ao comparar plantas cultivadas em potes em baixas densidades (2 e 4 mudas/100cm<sup>2</sup>) e altas densidades (8 e 16 mudas/100 cm<sup>2</sup>). Novamente plantas em menores densidades apresentaram maiores alturas (50% maior), o dobro de biomassa seca total (dos caules e das folhas), além de quatro vezes mais biomassa de raízes do que plantas em altas densidades. Estes últimos autores concluíram que a luz foi o principal fator limitante do crescimento em altas densidades, uma vez que as plantas apresentaram taxa fotossintética 70% menor, bem como água e nutrientes foram providos regularmente. No cultivo de *S. ambigua*, não é possível definir qual o principal recurso que está sendo contestado, visto que apesar do suprimento regular de nutrientes e água através do efluente, o desenvolvimento da copa das plantas foi acompanhado da sobreposição no sedimento de densas redes de raízes.

Resultados de regressões lineares sugerem que uma maior intensidade de competição (efeito competitivo por indivíduo) ocorre em canteiros onde as plantas de *S.*

*ambigua* apresentaram maior desenvolvimento. O efeito competitivo frequentemente é diretamente relacionado ao tamanho da planta (Law & Watkinson 1989). Malcolm *et al.* (1988) demonstram que o espaçamento entre plantas é um importante determinante da produção de biomassa de cinco espécies de *Atriplex* em cultivos monoespecíficos; dos arbustos dominantes de solos salinizados em regiões semiáridas. Após 20 meses de cultivo com espaçamentos de 1 a 3 m entre plantas, todas as espécies demonstraram menor biomassa individual no menor espaçamento, mas um efeito inibitório mais fraco do espaçamento foi observado para as espécies de *Atriplex* de menor tamanho. O tamanho das plantas no estabelecimento, a forma de crescimento, a disponibilidade de recursos primários e o grau de estresse ambiental são também determinantes do desenvolvimento das plantas, conseqüentemente podem afetar a habilidade competitiva de uma planta.

O investimento reprodutivo das plantas de *S. ambigua* (proporção da biomassa aérea total investida na formação de segmentos reprodutivos) não variou entre os espaçamentos e teve uma média de 12,3 %. Este resultado contrasta com as observações de Wang *et al.* (2005) para *Atriplex prostrata*, que em altas densidades de cultivo apresentou um investimento reprodutivo cerca de 50% menor ao valor observado para plantas crescidas em baixa densidade. Plantas de *Spartina alterniflora* cultivadas em espaçamento de 45 cm apresentaram uma produção de espigas uma a três vezes maior do que em plantas, respectivamente plantadas em espaçamentos de 60 e 90 cm (Broome *et al.* 1986). Recentemente, Weiner & Freckleton (2010) em sua revisão sobre o efeito da densidade na produção da biomassa vegetal afirmam que com o aumento da intensidade competitiva as plantas frequentemente alteram sua alocação reprodutiva.

Semelhantes alocações reprodutivas em plantas de *S. ambigua* nos diferentes espaçamentos podem sugerir que a densidade de plantio não atingiu valores que

poderiam afetar a produção de estruturas reprodutivas. Entretanto, considerando que Greis (2009) observou para plantas de *S. ambigua* cultivadas no mesmo local biomassas de segmentos reprodutivos representando até 63,5% da biomassa aérea total, o baixo valor médio de alocação em nosso estudo pode sugerir que ocorreu uma subestimativa da biomassa de segmentos reprodutivos. *S. ambigua* apresenta um longo período de florescimento-frutificação (dezembro a maio) e pouca sincronização entre os indivíduos. É possível que parte significativa da biomassa reprodutiva tenha sido perdida por dispersão de parte das sementes antes da coleta final, particularmente nas parcelas com espaçamento de 30 e 40 cm, com plantas maiores e que aparentemente floresceram mais cedo (observação pessoal). Novos estudos com a marcação de indivíduos, monitoramento da fenologia e coleta parcelada da plantas a medida que atingem a frutificação serão necessários para esclarecer o efeito da densidade de cultivo no investimento reprodutivo de *S. ambigua*.

#### **5.4. Impacto do espaçamento – Densidade de cultivo no rendimento da produção por área**

Apesar da grande variação no crescimento entre os canteiros, a produção da biomassa fresca de *S. ambigua* por área foi superior no espaçamento de 10 cm em relação aos demais espaçamentos.

A produção de biomassa por unidade de área é uma característica específica, relacionada com a eficiência metabólica da planta em obter recursos primários como água, nutrientes e luz, bem como com sua capacidade de alocar internamente os compostos fotossintetizados na forma de raízes, caules e ramificações, frente a uma vizinhança que utiliza os mesmos recursos primário. A medida que aumenta a densidade de indivíduos em uma área determinada a disponibilidade de recursos por planta vai

diminuindo. Menos recurso *per capita* leva a menores tamanhos individuais, mas pode permitir acomodar uma maior biomassa total de indivíduos por unidade de área. Conseqüentemente, a biomassa total produzida por unidade de área aumenta com o incremento de densidade, na forma de uma curva assintótica até um valor limite correspondente a capacidade de suporte do ambiente de plantio (Mead 1970, Weiner & Freckleton 2010). Esta densidade limite determina a máxima densidade de produção por área (“maximum constant yield”), resposta universalmente reconhecida por ecologistas e agrônomos e que pode ser ajustada a equações matemáticas para descrição deste fenômeno (Mead 1970, Goldberg *et al.* 2001, Weiner & Freckleton 2010).

Como para *S. ambigua*, valores de máxima densidade de produção têm sido estimados para outras halófitas. Broome *et al.* (1986) em experimento com transplante de mudas de *Spartina alterniflora* em três espaçamentos (45, 60 e 90 cm) observou que plantas em espaçamentos menores produziram maior peso seco por unidade de área; respectivamente de 97, 59, 25 g/m<sup>2</sup>. Malcolm *et al.* (1988) observou para cinco espécies de *Atriplex* cultivadas em espaçamentos de 1 a 3 m, uma maior produção de folhas-galhos finos foi obtida no espaçamento de 1 m, onde a biomassa individual (dependendo da espécie) foi 2 a 9 vezes menor do que no espaçamento 3 m. Zarete *et al.* (2008) testando três espaçamentos de cultivo (5,0; 7,5; e 10,0 cm) para verificar a maior produtividade da *Chenopodiaceae Beta vulgaris* (variedade não-comercial de beterraba) encontrou uma produção de biomassa fresca aérea de 10,8 t/ha para o espaçamento de 5,0 cm, que foi respectivamente, 44% e 25% maior do que nos espaçamentos de 7,5 cm e 10 cm.

Os resultados das curvas de produção por unidade de área em relação a densidade, tanto em canteiros onde *S. ambigua* apresentou melhor desempenho como no

canteiro onde seu crescimento foi aparentemente limitado pela prolongada saturação do solo, demonstram uma tendência de aproximação de uma máxima densidade de produção por área. Estudos com densidades de cultivo maiores do que as utilizadas (máxima densidade de sobreviventes em uma parcela foi de 13 plantas/m<sup>2</sup>) poderão confirmar este fato.

Com base nos presentes resultados podemos afirmar que máximas produções por área de *S. ambigua* irrigada com efluente do cultivo de camarão no solo Neossolo Quatzarênico Órtico da planície costeira do Rio Grande do Sul podem ser atingidas com espaçamentos de 10 a 20 cm entre plantas.

#### **5.5. Efeito do tamanho das mudas no crescimento e biomassa individual**

O tamanho de plantio da muda afetou significativamente o desenvolvimento final das plantas adultas de *S. ambigua*. Mudanças grandes apresentaram maiores valores médios de todos os parâmetros biométricos quantificados, inclusive a altura e a alocação reprodutiva que demonstraram pequena variação entre espaçamentos e canteiros. Em termos de biomassa, as plantas de mudas grande apresentaram ao final de 150 dias de cultivo médias de crescimento e biomassa 3-4 vezes maiores do que as plantas de mudas pequenas. Esta resposta contrastou com o resultado de Greis (2009), que não encontrou diferenças no desenvolvimento de plantas de *S. ambigua* originadas de mudas de diferentes tamanhos. Os resultados contrastantes parecem estar relacionado ao tamanho absoluto das plantas consideradas pequenas e grandes. Greis (2009) considerou como mudas pequenas e grandes indivíduos com médias de, respectivamente, 3,5 e 7,0 cm de altura possuindo em média 0,7 e 3,2 ramificações no caule. No presente estudo, as mudas pequenas tinham um tamanho médio equivalente ao de Greis (2009) com

altura 4,0 cm e 0,3 ramificações no caule, entretanto as mudas grandes eram duas vezes maiores (altura média de 13,2 cm com 6,4 ramificações no caule).

Vários estudos tem caracterizado a importância do tamanho relativo das plantas no momento em que começam a competir como determinante do resultado final da competição (grau de inibição mútua e/ou determinação de uma hierarquia dominante-subordinado na obtenção dos recursos primários)(Yoda *et al.* 1958, Mead 1970, Wilson 1988, Law & Watkinson 1989). Este mecanismo de indução de dominância competitiva é denominado esvaziamento (“preemption”), sendo estabelecido quando uma planta maior consegue obter uma proporção maior dos recursos disponíveis do que seu(s) vizinho(s) menor(es), através de um forragem mais eficiente por água e nutrientes ou sobreposição da copa e interceptação de uma fração maior da luz incidente. Davy *et al.* (2000) demonstraram que a altura e a biomassa aérea da halófito *S. maritima* pode ser fortemente inibida pelo estabelecimento simultâneo com indivíduos maiores e/ou estabelecimento em potes pré-colonizados por plantas maiores. Entretanto, estes autores observaram que plantas de *S. europaea* submetida as mesmas condições toleravam muito mais a depleção de recursos pelo seus vizinhos maiores e/ou mais velhos. Conseqüentemente, o impacto do tamanho da muda no tamanho final da planta adulta é uma característica específica e deve ser avaliado caso a caso.

## **5.6. Efeito da variação ambiental no crescimento e biomassa individual**

O desempenho das plantas de *S. ambigua* foi marcadamente diferente entre os três canteiros de cultivo, sendo este efeito da heterogeneidade ambiental inclusive maior do que o induzido pelos diferentes espaçamentos de plantio. A expansão lateral de 59,4 cm do canteiro A foi 18% maior que o canteiro B e 54% maior que no canteiro C. A biomassa fresca no Canteiro A, com média individual de 165 g, foi 27% maior do que

no canteiro B e duas vezes maior do que no Canteiro C.

Os teores de salinidade estimados pela condutividade elétrica do sedimento na área de cultivo provavelmente não foram um fator limitante ao crescimento de *S. ambigua* ou que possa explicar as diferenças observadas entre os canteiros. As maiores médias de condutividade elétrica observadas nos canteiros foram entre 8-10 dS/m, caracterizando o sedimento como salino e limitante do crescimento da maioria dos cultivares. Entretanto *S. ambigua* ocupa habitats hipersalinos ( $> 55$  dS/m  $\approx 35$  ups  $\approx 35$  g NaCl/L  $\approx 600$  mmol NaCl/L) em marismas e manguezais, bem como cultivos desta planta atingem altas produtividade em canteiros com o teor salino médio (em extrato de água destilada) de 16 dS/m de sedimento e valores máximos que não ultrapassaram 40 dS/m (Greis 2009). Experimento com seis espécies de halófitas (*S. bigelovii*, *Batis maritima*, *Distichlis spicata*, *Juncus roemerianus*, *Paspalum vaginatum* e *Spartina alterniflora*) demonstraram a capacidade destas plantas de suportarem altas salinidades no sedimento, já que todas tiveram o mínimo de redução de crescimento enquanto a salinidade no solo não foi superiores a 30 dS/m (El-Hadaad *et al.* 2001).

A maior condição de umidade no sedimento no período de estiagem e altas temperaturas do início do cultivo favoreceu o estabelecimento e a sobrevivência das mudas de *S. ambigua* no canteiro C. Entretanto o excesso de umidade no solo durante o período de chuvas regulares e menores temperaturas do outono, aparentemente, prejudicaram o desenvolvimento das plantas de *S. ambigua*. Devido a uma condição topográfica, o canteiro C localizava-se em terreno baixo, influenciado pelo lençol freático e próximo de um canal de despesca dos viveiros de camarão. Tanto durante períodos de maiores volumes de chuva no outono como durante atividades de despesca, o solo do canteiro C permaneceu saturado por várias horas ou mesmo alguns dias. Este

maior grau de umidificação do canteiro C foi detectado pelo monitoramento do teor de umidade do sedimento e valores percentuais maiores do que 10% de umidade, observados 24 horas após a última irrigação, representavam mais do que 50% do volume de saturação do sedimento arenoso local (Costa & Seeliger 1988).

*S. ambigua* cresce exuberantemente em pisos médios e altos da zona entremarés de marismas e manguezais, que permanecem a maior parte do tempo expostos e são atingidos frequentemente apenas por marés sizígias (Costa 1997, Souza-Filho & Paradela 2002, Isacch *et al.* 2006). Estas plantas não toleram o alagamento/saturação do solo prolongado e não conseguem colonizar a parte inferior da zona entremarés. A saturação dos espaços intersticiais do solo pela água impede as trocas gasosas com a atmosfera, ocorrendo uma rápida redução do oxigênio disponível devido a respiração das raízes e dos micro-organismos do solo. O alagamento do solo rapidamente induz condições de anoxia e o acúmulo de compostos reduzidos e tóxicos como nitrito e sulfetos (Crawford 1989), que aparentemente *S. ambigua* não pode tolerar. Anteriormente, Costa *et al.* (2006<sup>b</sup>) encontrou uma redução em 50% na média de biomassa aérea individual de plantas de *S. ambigua* em área baixa de um canteiro, onde o solo permanecia encharcado após 18-24 horas da irrigação, em relação a área alta bem drenada do canteiro.

### **5.7. Herbivoria por insetos**

No cultivo de *S. ambigua* foi observada uma diferença significativa entre parcelas dentro dos canteiros na incidência de herbivoria por larvas minadoras de microlepidóptero. Entre os canteiros de cultivo a ocorrência de larvas minadoras foi

cerca de três vezes maior nos canteiros B e C em relação ao canteiro A. Estes resultados sugerem um padrão agregado de infestação, cujo fator casual não foi identificado.

Davy *et al.* (2001) documenta evidências de herbivoria em plantas de marismas por invertebrados microcolepidóptero da espécie *Coleophora atriplicis*, sendo que os insetos migram entre espécies hospedeiras, no caso a planta perene *Atriplex portulacoides* e as anuais *Suaeda maritima* e *Salicornia europaea*. Estes autores comentam que nas marismas altas ocorreram 47% de predação nas sementes de *Atriplex portulacoides*, podendo causar um grande impacto no investimento reprodutivo desta plantas. Ellison (1987<sup>b</sup>) observou uma predação de até 20% das sementes de *Salicornia europaea* por insetos, principalmente no verão e em locais onde a vegetação adjacente tinha sido removida. Veenstra-Quah *et al.* (2007) em trabalho com duas espécies de larvas minadoras que infestam *Sarcocornia quinqueflora* observou a formação de galhas (trechos onde o desenvolvimento do órgão vegetal foi alterado, geralmente pela indução de um agente microbiológico ou entomológico) nos tecidos que impediram o desenvolvimento normal das plantas e subsequente o desenvolvimento de sementes. Herbivoria por insetos minadores como *Corophium volutator* são freqüentes e plântulas tratadas com inseticidas podem atingir o dobro da sobrevivência das plântulas não tratadas (Davy *et al.* 2001).

São necessários novos estudos para se avaliar o grau de impacto de herbivoria por larvas minadoras na sobrevivência e no crescimento de *S. ambigua*.

## 6. CONCLUSÕES

*S. ambigua* apresentou mortalidade principalmente concentrada na fase de estabelecimento dos canteiros e independente da densidade de cultivo. A dessecação das raízes frágeis das plântulas foi aparentemente a principal causa de mortalidade e pode ser amenizada por uma melhoria na drenagem do canteiro e manutenção da umidade. Adicionalmente, a utilização de mudas maiores ( $\approx 13$  cm) demonstrou garantir uma menor mortalidade. O desenvolvimento das plantas, entretanto, mostrou ser dependente da densidade de cultivo, ocorrendo uma marcada redução do comprimento das ramificações dos caules, bem como dos componentes vegetativos e reprodutivos da biomassa aérea com a redução do espaçamento entre plantas de 40 cm para 10 cm em plantio monoespecífico.

O espaçamento de plantio de 10 cm gerou uma máxima produção de biomassa fresca e seca por unidade de área para as condições de irrigação com efluente salino (22 a 40 g NaCl/L) de viveiros de camarões *L. vannamei*, no solo Neossolo Quatzarênico Órtico da planície costeira do Rio Grande do Sul. Os rendimentos do cultivo de *S. ambigua* ao longo de 150 dias no litoral do Rio Grande do Sul foi de 4 a 14 t/ha (média global 8,2 t/ha) são equivalentes ao de outras halófitas cultivadas em outras partes do mundo com água salgada e efluentes salinos.

O cultivo irrigado de *S. ambigua* para geração de biomassa vegetativa é possível a maior parte do ano no litoral gaúcho. Entretanto, a condição climática induz um ciclo fenológico que, independente da data de plantio, as plantas apresentam um período de floração de dezembro a maio. Conseqüentemente, o cultivo de *S. ambigua* para produção de suas sementes oleaginosa no sul do Rio Grande do Sul é restrito ao período de verão e outono. Mesmo iniciando o plantio em fevereiro foi possível obter floração e frutificação da maior parte das plantas. A falta de sincronia na floração e frutificação

dificulta a colheita das plantas quando maduras e, conseqüentemente, pode ter levado a subestimativas da produção de estruturas reprodutivas e da alocação reprodutiva. A utilização de colheitas parceladas ao longo do período reprodutivo (coletas consecutivas apenas de plantas iniciando dispersão de sementes) poderia permitir um maior rendimento na produção de sementes. Contrastantemente, a ampla variabilidade na morfologia e na alocação reprodutiva das plantas cultivadas de *S. ambigua* apontam para um grande potencial seletivo, que poderia levar em curto prazo a obtenção de variedades mais produtivas em termos de produção de biomassa vegetativa ou de sementes.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Futuros estudos utilizando o espaçamento de 10 cm devem ser efetuados para avaliar a possibilidade de aumento da produção por área a partir do manejo do volume e do tempo de irrigação. Os resultados do presente estudo e de trabalhos anteriores com *S. ambigua* demonstram que o grau de umidade do canteiro é um fator determinante do nível de produção desta espécie. Maiores produções com irrigação com efluentes foram alcançadas em solos mantidos úmidos, mas drenados, irrigados mais de uma vez por dia, enquanto a planta demonstrou crescimento depauperado em solo saturado por tempo prolongado. Um controle rígido da drenagem do cultivo pode permitir um aumento significativo da produção.

## 8. REFERÊNCIAS

ABDAL, MS. 2009. *Salicornia* production in Kuwait. World Applied Sciences Journal, 6(8): 1033-1038.

ADAM, P. 1990. Salt marshes ecology. New York: Cambridge Univ. Pr. 461p.

ALONSO, MA & CRESPO, MB. 2008. Taxonomic and nonmeclature notes on South American taxa of *Sarcocornia* A.J. Scott (Chenopodiaceae). Ann. Bot. Fennici, 45: 241-254.

ASHOUR, NI, SERAG, MS, EL-HALEEM, AKB & MEKKI, BB. 1997. Forage production from three grass species under saline irrigation in Egypt. Journal of Arid environments, 37: 299-307.

BENES, SE, ROBINSON, PH, AND GRATTAN, SR. 2005. Cultivation of Halophytes to Reduce Drainage Volumes on the Westside San Joaquin Valley of California. Final Report to: The California State University Agricultural Research Initiative (CSU-ARI). 18 October, 2005. 10p.

BROOME, SW, SENECA, ED, WOODHOUSE, WW. 1986. Long-Term growth and development of transplants of the salt-marsh grass *Spartina Alterniflora*. Estuaries, 9(1): 63-74.

BROWN, JJ, GLENN, EP, FITZSIMMONS, KM, SMITH, SE. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. Aquaculture, 175: 255-258.

COSTA, CSB & SEELIGER, U. 1988. Demografia de folhas de *Spartina ciliata* Brong. em dunas e brejos costeiros. Revista Brasileira de Botânica, 11: 85-94.

COSTA, CSB. 1997. Tidal Marsh and Wetland Plants. In: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Org.). Subtropical Convergence Environments: The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic. 1ed. Berlin (Alemanha): Springer-Verlag, p. 24-26.

COSTA, CSB, ARMSTRONG, R, DETRÉS, Y, KOCH, EW, BERTILLER, M, BEESKOW, A, NEVES, LS, TOURN, GM, BIANCIOTTO, OA, PINEDO, LB, BLESSIO, AY AND SAN ROMAN, N. 2006<sup>a</sup>. Effect of Ultraviolet-B Radiation on

Salt Marsh Vegetation: trends of the Genus *Salicornia* along the Americas. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B-Biology*, 84(4): 205-213.

COSTA, CSB, BONILLA, OH, GESTEIRA, TCV, PEREIRA, JA, SOUSA DE, FYM, LEITE, MS, CARVALHO, CC, ANDRADE, FJ & AUGUSTO-RUIZ, W. 2006<sup>b</sup>. Produção de biomassa da halófito *Salicornia gaudichaudiana* irrigada com efluente de viveiro do camarão *Litopenaeus vannamei* no litoral do Ceará. Resumos Expandidos do I Simpósio sobre Biomas Costeiros e Marinhos, Salvador, Bahia. CD/ROM.

COSTA, CSB & NEVES, LS. 2006. Respostas cromáticas de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. (Chenopodiaceae) a diferentes níveis de radiação UV-B e salinidade. *Atlântica*, 28(1): 25-31.

COSTA, CSB. 2006. A *Salicornia*: uma planta que pode ser usada no cultivo integrado com o camarão. *Panorama da Aquacultura*, novembro/dezembro: 28-33.

COSTA, CSB. 2010. Restoration of Coastal Salt marshes in Brazil using Native Salt Marsh Plants. In: Sigurdur Greipsson. (Org.). *Restoration Ecology*. 1 ed Sudbury (MA, U.S.A.): Jones and Bartlett Publishers, 2010, p. 333-338.

CRAWFORD, RMM. 1989. *Studies in plant survival: Ecological case histories of plant adaptation to adversity*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 295p.

DAVY, AJ, COSTA, CSB, PROUDFOOT, AM, YALLOP, AR, MOHAMED, M. 2000. Biotic Interactions In Plant Communities of Saltmarshes. In: Sherwood, B.R., Gardinier, T.G., Harris, B.R. (Org.). *British Saltmarshes*. 1 ed. Ceredgion (Inglaterra): Linnean Society/Forrest Text, p. 109-127.

DAVY, AJ, BISHOP, GF, COSTA, CSB. 2001. *Salicornia L. (Salicornia pusilla J. Woods, S. ramosissima J. Woods, S. europaea L., S. obscura P.W. Ball & Tutin, S. nitens P.W. Ball & Tutin, S. fragilis P.W. Ball & Tutin and S. dolichostachya Moss)*. *Journal of Ecology*, 681-707.

DAVY, AJ, BISHOP, GF, MOSSMAN, H, REDONDO-GÓMEZ, S, CASTILLO, J M, CASTELLANOS, EM, LUQUE, T, FIGUEROA, ME. 2006. Biological Flora of the

British Isles: *Sarcocornia perennis* (Miller) A.J. Scott. *Journal of Ecology*, 94: 1035-1048.

DRAKE, DR AND UNGAR, IA. 1989. Effects of salinity, nitrogen, and population density on the survival, growth, and reproduction of the *Atriplex triangulares* (Chenopodiaceae). *Amer. J. Bot.* 76(8): 1125-1135

ECKSTEIN, RL. 2004. Differential effects on interspecific interactions and water availability on survival, growth and fecundity of there congeneric grassland herbs. *New Phytologist*, 166: 525-53.

ELLISON, AM. 1987<sup>a</sup>. Density-dependent dynamics of *Salicornia europaea* monocultures. *Ecology*, 68: 737-741.

ELLISON, AM. 1987<sup>b</sup>. Effects of competition, disturbance, and herbivory on *Salicornia europaea*. *Ecology*, 68(3): 576-586.

ELLISON, A.M. & NIKLAS, J.K.L. 1988. Branching patterns of *Salicornia europea* (Chenopodiaceae) at different successional stages: A comparison of theoretical and real plants. *American Journal of Botany*, 75(4): 501-512.

EL-HADDAD, EH & NOAMAN, MM. 2001. Leaching requirement and salinity threshold for the yield and agronomic characteristics of halophytes under salt stress. *Journal of Arid Environments*, 49: 865-874.

FLOWERS, TJ & COLMER, TD. 2008. Transley Review: Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179: 945-963.

GOLDBERG, DE. 1987. Neighborhood competition in an old-field plant community. *Ecology*, 68: 1211-1223.

GOLDBERG, DE & FLEETWOOD, L. 1987. Competitive effect and response in four annual plants. *Journal of Ecology*, 75: 1131-1143.

GOLDBERG, DE, TURKINGTON, R, OLSVIG-WHITTAKER, L & DYER, AR. 2001. Density dependence in annual plant community: variation among life history stages. *Ecological Monographs*, 71(3): 423-446.

GREIS, G. 2009. Cultivo de *Salicornia gaudichaudiana moq.* irrigada com efluente de camarão no clima temperado na costa sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

GALLAGHER, JL. 1985. Halophytic crops for cultivation at seawater salinity. *Plant and soil*, 89: 323-336.

GLENN, EP, O'LEARY, JW, WATSON, MC, THOMPSON, TL & KUEHL, E. 1991. *S. bigelovii* Tor: an oilseed halophyte for seawater irrigation. *Science*, 251: 1065-1067.

GLENN, EP, HODGES, CN, LIETH, H, PIELKE, R & PITELKA, C. 1992. Growing Halophytes to remove carbon to atmosphere. *Environment*, 34: 40-43.

GLENN, EP, BROWN, JJ & O'LEARY, JW. 1998. Irrigating crop with seawater. *Scientific American*, 279: 76-81.

GLENN, EP, BROWN, JJ, BLUMWALD, E. 1999. Salt tolerant and potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(2): 227-255.

GRACE, JB & TILMAN, D. 1990. Perspective on plant competition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 484p.

HE, Z, RUAN, C, QIN, P, SELISKAR, DM, GALLAGHER, JL. 2003. *Kosteletzkya virginica*, a halophytic species with potential for agroecotechnology in Jiangsu Province, China. *Ecological Engineering*, 21: 271-276.

HODGES, CN, THOMPSON, TL, RIDLEY, JJ, GLENN, EP. 1993. Reversing the Flow: Water and Nutrients from the Sea to the Land. *Ambio*, 22(7): 483-490.

ISACCH, JP, COSTA, CSB, RODRÍGUEZ-GALLEGO, L, CONDE, D, ESCAPA, M, GAGLIARDINI, DA, IRIBARNE, OO. 2006. Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the south-west Atlantic Coast. *Journal of Biogeography*, 33: 888-900.

LAW, R & WATKINSON, AR. 1989. Competition. *Ecological Concepts* (Ed by J. M. Cherrett), Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 243-284.

LEITE, MS, BARROS, FJA., KHOURY, SH, BONILLA, OH & COSTA, CSB. 2007. Cultivo de plântulas de *Salicornia gaudichaudiana* Mog. para uso em Biorremediação junto a viveiros de criação de camarão. Revista Brasileira de Biociências, 5(1): 297-299.

MALCOLM, CV, CLARKE, AJ, D'ANTUONO, MF, SWAAN, TC. 1988. Effects of plant spacing and soil conditions on the growth of five *Atriplex* species. Agriculture, Ecosystems & Environment, 21(3-4): 265-279.

MASTERS, DG, BENES, SE & NORMAN, HC. 2007. Review: Biosaline agriculture for forage and livestock production. Agriculture, Ecosystems and Environments, 119: 234-248.

MEAD, R. 1970. Plant Density and Crop Yield. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 19(1): 64-81.

MIYAMOTO, S, GLENN, EP & OLSEN, MW. 1996. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. Journal of Arid Environments, 32:141-159.

NEVES, LS & COSTA, CSB. 2001. Crescimento de *Salicornia gaudichaudiana* Mog. em diferentes condições de salinidade. In: Anais da XIX Semana Nacional de Oceanografia, Rio Grande: CALO/FURG. CD-ROM. pub. 033.

O'LEARY, JW, GLENN, EP & WATSON, MC. 1985. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. Plant and soil, 89: 311-321.

PORTO, ER, AMORIM, MCC, DUTRA, MT, PAULINO, RV, BRITO, LTL, MATOS, ANB. 2006. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 10: 97-103.

RAMALHO, MAP, FERREIRA, DFF, OLIVEIRA, AC. 2000. Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: UFLA, 326p.

RICO, PB & AZCÁRATE, FM. 2009. Seed size and response to rainfall patterns in annual grasslands: 16 years of permanent plot data. *Journal of Vegetation Science*, 20: 8-16.

ROZEMA, J & FLOWERS, TJ. 2008. Crops for a salinized world. *Science*, 322: 1478-1480.

SIEGEL, S. 1956. *Nonparametric Statistic for the Behavioral Sciences*. McGraw-Hill, Inc, 350p.

SILVERTOWN, JW & LOVETT, JD. 1993. *Introduction to Plant Population Biology*. Oxford, Blackweel Press, 210p.

SOUSA FILHO, PWM & PARADELLA, WR. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landscape TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 123-132.

STRECK, EV, KAMPF, N, DALMOLIN, RSD, KLANT, E, NASCIMENTO, PC, SCHNEIDER, P, GIASSON, E, PINTO, LFS. 2008. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2. ed. Porto Alegre: EMATER-RS, 222p.

UNGAR, IA. 1987. Population characteristics, growth, and survival of the halophyte *Salicornia europaea*. *Ecology* 68: 569-675.

VEENSTRA-QUAH, AA, MILNE, J & KOLESIK, P. 2007. Taxonomy and biology of two new species of gall midge (Diptera: Cecidomyiidae) infesting *Sarcocornia quinqueflora* (Chenopodiaceae) in Australian salt marshes. *Australian Journal of Etomology*, 46: 191-206.

VENTURA, Y, WUDDINEH, WA, MYRZABAYEVA, M, ALIKULOV, Z, KHOZIN-GOLDBERG, I, SHPIGEL, M, SAMOCHA, TM, SAGI, M. 2011. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 128: 189-196.

ZANINE, AM & SANTOS, EM. 2004. Competição entre espécies de plantas – Uma revisão. Revista da FZVA, 11(1): 10-30.

ZAR, JH. 1984. Biostatistical Analysis. New York, Prentice-Hall Inc, 718 p.

ZARETE, NAH, VIEIRA, MC, RECH, J, GRACIANO, JD, GOMES, HE & PONTIM, BCA. 2008. Número de fileiras no canteiro e espaçamento entre plantas na produção e na rentabilidade da beterraba em Dourados, estado do Mato Grosso do Sul. Acta. Sci. Agron., 30(3): 397-401.

ZERAI, DB, GLENN, EP, CHATERVEDI, R, LU, Z & MAMMOD, AN. 2010. Potential for the improvement of *S. bigelovii* through selective breeding. Ecological Engineering, 36: 730-739.

YODA, K, KIRA, T & KAZUO H. 1957. Intraspecific competition among higher plants IX. Further analysis of the competitive interaction between adjacent individuals. Journal of the Institute of Polytechnics, 8: 161-178.

WANG, LW, SHOWALTER, AM, UNGAR, IA. 2005. Effects on intraspecific competition on growth and photosynthesis of *Atriplex prostrata*. Aquatic Botany, 83: 187-192.

WEBER, DJ, ANSARI, R, GUL, B, KHAN, MA. 2007. Potential of Halophytes as source of edible oil. Journal of Arid Environments, 68: 315-321.

WEINER, J & FRECKLETON, RP. 2010. Constant Final Yield. The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 41: 173-192.

WILSON, JB. 1988. The effect of initial advantage on the course of plant competition. Oikos, 51: 19-24.