

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE NUTRICIONAL DE  
PROGÊNIES SELECIONADAS DA HALÓFITA *Sarcocornia ambigua*  
IRRIGADAS COM EFLUENTE SALINO DA CARCINICULTURA

Kennia Brum Doncato

Rio Grande, RS

2015

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE NUTRICIONAL DE  
PROGÊNIES SELECIONADAS DA HALÓFITA *Sarcocornia ambigua*  
IRRIGADAS COM EFLUENTE SALINO DA CARCINICULTURA

Kennia Brum Doncato

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de mestre no Programa de Pós-  
Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do  
Rio Grande

Orientador: César Serra Bonifácio Costa

Rio Grande  
Setembro – 2015

## ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS .....	I
LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS .....	V
AGRADECIMENTOS.....	VI
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
1. Introdução .....	1
1.1 Aquicultura e o cultivo de halófitas.....	1
1.2. Desenvolvimento de cultivares halófitas .....	2
1.3. O cultivo e o melhoramento de <i>Sarcocornia ambigua</i> .....	3
1.4. Efeitos da irrigação com água salina na produtividade e qualidade nutricional .....	5
2. Objetivo .....	7
2.1. Objetivo geral.....	7
2.2. Objetivos específicos .....	7
3. Materiais e métodos.....	7
3.1. Produção de mudas.....	7
3.2. Delineamento experimental e condições de cultivo com efluente salino da carcinicultura.....	8
3.2.1. Experimento 2014 – cultivo tardio de progênies.....	8
3.2.2. Experimento 2015 – Respostas das progênies a dois regimes de irrigação salina ....	9
3.3. Biometria, floração e produção de biomassa .....	10
3.4. Suculência e composição mineral .....	11
3.5. Análise dos dados .....	12
4. Resultados.....	13
4.1. Experimento 2014.....	13

4.1.1. Caracterização das condições experimentais .....	13
4.1.2. Crescimento e floração das plantas.....	14
4.1.3. Biomassa individual e alocação para componentes caulinares .....	15
4.1.4. Suculência e composição mineral.....	15
4.2. Experimento 2015.....	16
4.2.1. Caracterização das condições experimentais .....	16
4.2.2. Crescimento e floração das plantas.....	17
4.2.3. Biomassa individual e alocação para componentes caulinares .....	18
4.2.4. Suculência e composição mineral.....	18
5. Discussão .....	19
5.1. Características biométricas das linhagens e progênies .....	20
5.2. Início da floração e período reprodutivo.....	23
5.3. Suculência .....	24
5.4. Composição mineral das progênies .....	25
5.5. Desenvolvimento e composição mineral das progênies frente a diferentes tratamentos de irrigação salina.....	30
5.6. Potencial nutricional da <i>S. ambigua</i> para dieta humana e de animais .....	32
6. Conclusão.....	35
7. Referências.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância
BFT	Biofloc Technology
Ca	Cálcio
CE1:2	Condutividade Elétrica 1:2
Cu	Cobre
EMA	Estação Marinha de Aquicultura
EP	Erro Padrão
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós
FAEM	Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Ferro
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
INMET	Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia
IOM	Institute Of Medicine
K	Potássio
Mg	Magnésio
MR	Comprimento da Maior Ramificação
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NRC	National Research Council
p	Progênie
P	Fósforo
PF	Período de Floração
PS	Peso Seco
pxt	Progênie x Tratamento Irrigação
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
SVS/MS	Secretaria de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde
t	Tratamento
T2	Irrigação a cada 2 dias
T4	Irrigação a cada 4 dias
TAR	Taxa Absoluta de Formação de Ramificações
TAV	Taxa Absoluta de Crescimento Vertical

TIF	Tempo até o Início da Floração
TMR	Taxa Absoluta do comprimento da Maior Ramificação
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
USP	Universidade de São Paulo
VCU	Valor de Cultivo e Uso
WHO	World Health Organization
Zn	Zinco

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios ( $\pm$ erro padrão) de umidade e condutividade elétrica ( $CE_{1:2}$ ) do solo em três pontos amostrais (P1 = ponto na fileira 1; P4 = ponto na fileira 4 e P8 = ponto na fileira 8) do canteiro de cultivo de <i>S. ambigua</i> do experimento 2014.....	46
Tabela 2 – Análises de Variância (ANOVA) dos parâmetros biométricos entre as progênies de <i>S. ambigua</i> do experimento 2014.....	47
Tabela 3 – Médias ( $\pm$ erro padrão) da taxa absoluta de crescimento vertical (TAV; altura, cm semana <sup>-1</sup> ), da taxa absoluta de formação de ramificações (TAR; ramificação semana <sup>-1</sup> ), do tempo até o início da floração (TIF; semanas) e da suculência (S; %) das 4 progênies de <i>S. ambigua</i> crescendo em canteiro irrigadas com efluente salino da carcinicultura no experimento 2014.....	48
Tabela 4 – Análises de Variância (ANOVA) da composição de macromelementos e microelementos nos tecidos de caules e raízes entre as progênies de <i>S. ambigua</i> do experimento 2014.....	49
Tabela 5 – Médias ( $\pm$ erro padrão) dos elementos na composição dos caules (C) e raízes (R) das 4 progênies de <i>S. ambigua</i> no experimento 2014.....	50
Tabela 6 – Valores médios ( $\pm$ erro padrão) e ANOVA trifatorial da umidade e condutividade elétrica ( $CE_{1:2}$ ) do solo nos níveis de tratamento de irrigação T2 (a cada 2 dias) e T4 (a cada 4 dias), três pontos amostrais (P1 = ponto na fileira 1; P4 = ponto na fileira 4 e P8 = ponto na fileira 8) e nos períodos primavera-verão (P-V) e verão-outono (V-O) de cultivo de <i>S. ambigua</i> do experimento 2015.....	51
Tabela 7 – Análises de Variância (ANOVA) bifatorial dos parâmetros biométricos entre as progênies de <i>S. ambigua</i> no experimento 2015.....	52
Tabela 8 – Médias ( $\pm$ erro padrão) da altura inicial (AI; cm); número de ramificações inicial (RI); comprimento da maior ramificação inicial (MRI; cm); taxa absoluta de crescimento vertical (TAV; altura, cm semana <sup>-1</sup> ), taxa absoluta de formação de ramificações (TAR; ramificação semana <sup>-1</sup> ), taxa absoluta do comprimento da maior ramificação (TMR; cm semana <sup>-1</sup> ) e da suculência (S; %) das 4 progênies de <i>S. ambigua</i> crescendo em canteiro irrigadas com efluente salino da carcinicultura no experimento 2015.....	53

Tabela 9 – Médias ( $\pm$  erro padrão) da composição mineral dos caules das 4 progênies de *S. ambigua* nos tratamentos de irrigação T2 (a cada 2 dias) e T4 (a cada 4 dias) e Análises de Variância (ANOVA) bifatoriais da composição de elementos.....54



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Biótipos BTH1 (esquerda) e BTH2 (direta) de <i>S. ambigua</i> em cultivo de campo em Rio Grande (RS).....	55
Figura 2. Delineamento amostral nos canteiros dos experimentos 2014 e 2015 revestidos com geomembrana.....	56
Figura 3. Valores médios semanais ( $\pm$ erro padrão) da temperatura do ar e radiação solar (A), da precipitação (média e acumulada (B), do teor de umidade (C) e da condutividade elétrica (CE1:2) do solo (D) durante o cultivo de <i>S. ambigua</i> entre fevereiro e junho de 2014 no município de Rio Grande (RS).....	57
Figura 4. Valores médios da altura final (A), número de ramificações final (B), comprimento da maior ramificação (C), percentagem das plantas que floresceram (D), período de floração (E), biomassa caulinar e radicular (barra preenchida de preto), além da percentagem de alocação para biomassa de caules (linha preta) em relação a biomassa total (F) das 4 progênes de <i>S. ambigua</i> cultivadas no experimento 2014 em Rio Grande (RS).....	58
Figura 5. Valores médios semanais ( $\pm$ erro padrão) da temperatura do ar e radiação solar (A), da precipitação média e acumulada (B), do teor de umidade (C) e da condutividade elétrica (CE1:2) do solo (D) dos tratamentos T2 (irrigação a cada 2 dias) e T4 (irrigação a cada 4 dias) durante o cultivo de <i>S. ambigua</i> novembro a abril de 2015 no município de Rio Grande (RS).....	59
Figura 6. Valores médios da altura final (A), do número de ramificações final (B), do comprimento da maior ramificação (C), da percentagem das plantas que floresceram (D), do período até o início da floração (E), da biomassa aérea total, bem como a percentagem de alocação para biomassa de reprodutiva (linha vazada= T2; linha em preto= T4) (F) das progênes de <i>S. ambigua</i> cultivadas em Rio Grande (RS) no experimento 2015. ....	60
Figura 7. Quantidade de matéria seca de caules de <i>S. ambigua</i> (BTH1-f4) necessária para suprir o requerimento nutricional humano no experimento 2014.....	61
Figura 8. Quantidade de matéria seca de caules de <i>S. ambigua</i> (BTH2-f3 do T2) necessária para suprir o requerimento nutricional humano no experimento 2015.....	62

## AGRADECIMENTOS

De todas as etapas vencidas durante os anos dedicados a este estudo, nenhuma foi tão difícil quanto escrever a seção de agradecimentos, não pela falta de contribuição, mas devido a pouca desenvoltura para descrever a minha gratidão, como também minha dificuldade em aceitar que esta fase está acabando.

Ao meu orientador por sua dedicação assídua, buscando sempre fazer o melhor possível e seu diferencial, participando de cada detalhe deste estudo. Muito obrigada pela oportunidade de fazer parte do seu grupo de pesquisa;

Aos alunos e alunas Valkiria, Adriana, Ricardo, Luiz, Renatinha, Camila e Manuel do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH) pelo auxílio nas diferentes etapas do cultivo;

As amigas Lilian e Camila que ajudaram, respectivamente, com a produção de mudas e colheita;

Aos colegas da Estação Marinha de Aquacultura (EMA) pela colaboração; ao setor de carcinicultura pela atenção e disponibilização do efluente da produção, bem como os dados dos parâmetros químicos do efluente, particularmente ao Geraldo, Gabriel, João e o Julio; aos setores de piscicultura e de produção de microalgas pela ajuda na solução de problemas técnicos (usualmente relacionados à bomba), especialmente o Rafael, Okamoto, Ricardo, Mario e Bruno, como também ao suporte técnico, Diogo e principalmente ao Diango, pela eficiência e disponibilidade para me ajudar, pois não haveria experimentos de irrigação sem uma bomba funcionando;

Ao pessoal do laboratório de Ecologia Vegetal Costeira (ECOVECO), por todos os anos de convívio, conversas, sugestões e a grande amizade. Espero que todo o grupo de pesquisa seja composto por pessoas tão unidas, acolhedoras e dedicadas quanto nós, me incluindo obviamente como a cota capitalista do time;

Aos professores da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pelas excelentes aulas e palestras ministradas, as quais foram fundamentais para meu aprimoramento profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de recursos financeiros.

## RESUMO

*Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A.Alonso & M.B.Crespo, é uma halófita costeira de ampla distribuição na costa atlântica da América do Sul, capaz de ser cultivada com efluente salino da carcinicultura, que possui alta qualidade nutricional para dieta de animais e humana, além de características químicas para a produção de biocombustível. Este estudo visou investigar variações no desenvolvimento e na composição nutricional das progêneses f3 e f4 das linhagens BTH1 e BTH2 de *S. ambigua* irrigadas com efluente salino da carcinicultura. No período verão-outono de 2014, as plantas foram submetidas a um cultivo tardio de 17 semanas e alta frequência de irrigação (4 vezes ao dia). Da primavera 2014 até o outono de 2015, as plantas foram irrigadas com efluentes salinos da carcinicultura a cada dois dias (T2) e a cada quatro dias (T4) durante 22 semanas. Parâmetros químicos da água do efluente e do solo dos canteiros foram monitorados, além de características biométricas, floração, biomassa fresca produzida e o conteúdo mineral das plantas foram avaliados nestes cultivos de plantas. A linhagem BTH2 apresentou um maior desenvolvimento em altura, ramificação, comprimento da maior ramificação e taxa de crescimento em altura do que BTH1, em ambos os experimentos. O plantio tardio (Fevereiro 2014) e exposição a um fotoperíodo médio de 10,7 horas de luz resultaram em um período pré-reprodutivo nas progêneses até 3 vezes menor do que observado em plantas crescendo nas marismas. Em 2014, o período de floração de BTH1-f3 apresentou metade do comprimento do observado em BTH2, enquanto que, em 2015, BTH1 floresceu mais precocemente que BTH2. Adicionalmente, a redução na frequência de irrigação (T4) aumentou significativamente as médias de altura e do tempo para início da floração de *S. ambigua*. Caules de BHT1 apresentaram maiores concentrações de N, P, Cu, Zn, Fe e Mn e suas raízes maiores concentrações de N e Mg do que progêneses BTH2. A maior calcificação nos caules e raízes de plantas BTH2 do que de BTH1 poderia ser parcialmente responsável pelo hábito ereto de BTH2 em comparação com o hábito prostrado dos caules de BTH1. Altos níveis de elementos metálicos, mas particularmente de Fe e Mn nas raízes foram encontrados ambas linhagens. Todas as progêneses apresentaram alta qualidade nutricional, e o consumo diário de 20 g secas de caules de *S. ambigua* permite suprir aproximadamente 30% do requerimento humano diário dos minerais analisados. O programa de melhoramento com linhagens puras de *S. ambigua*, permitiu a obtenção de plantas com diferentes

características agronômicas em um curto prazo (4 anos) para diferentes finalidades econômicas.

## ABSTRACT

*Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.A.Alonso & M.B.Crespo is a widespread coastal halophyte of South America, which can be cultivated with saline shrimp farming effluents. It has nutritional quality for human and animal diets, as well as chemical characteristics for biofuel production. This study aimed to evaluate the variations in growth and nutritional composition of the f3 and f4 progenies of BTH1 and BTH2 lineages of *S. ambigua* irrigated with shrimp farming effluent. During summer-fall 2014, plants were subjected to late season cultivation with high frequency of irrigation (four times per day) for 17-weeks. Between spring 2014 and fall 2015, plants were irrigated with shrimp farming effluent every other day (T2) and every 4 days (T4) for 22 weeks. For both experiments, chemical parameters of the water of the effluent and the soil of the field plot were monitored during the cultivation of the plants, as well as biometric characteristics, flowering, biomass production and mineral content of the plants were quantified. BTH2 lineage had higher development in height, shoot branching, longest branch length and shoot growth rate than BTH1 lineage in both experiments. Late planting of the progenies in the field plot (February 2014) and exposition to an average photoperiod of 10,7 hours of light resulted in a pre-reproductive period up to 3 times shorter than for plants growing in salt marshes. In 2014, the flowering season of BTH1-f3 progeny had half of the length of the BTH2 lineage, whereas, in 2015, BHT1 lineage blossomed more premature than BTH2 lineage. Additionally, the averages of shoot height and the time of the onset of flowering of *S. ambigua* increased significantly with less frequent irrigation (T4). BHT1 shoots had higher concentrations of N, P, Cu, Zn, Fe and Mn and its roots had higher concentrations of N and Mg than BTH2 lineage. Higher degree of calcification in shoots and roots of BTH2 lineages than BTH1 lineages may be partially responsible for the upright appearance of BTH2 shoots in comparison with the prostrate BTH1 shoots. High levels of metallic (trace) elements, but particularly Fe and Mn in their roots were found in both lineages. All progenies showed high mineral nutritional quality and a daily consumption of 20 g of dried shoots of *S. ambigua* can supply roughly 30% of the recommended daily intake of analyzed minerals for an adult human. The breeding program of *S. ambigua*, based on pure line breeding, allowed to obtain plants with different agronomic characteristics in short-term (4 years), which can be use in distinct production purposes.

## 1. Introdução

### 1.1 Aquicultura e o cultivo de halófitas

A aquicultura é uma atividade dedicada à produção comercial de organismos que vivem ao menos uma parte de seu ciclo na água, abrangendo basicamente a animais e vegetais. A FAO (2014) estimou a produção mundial de 70,5 milhões  $\text{ton}^{-1}$  de peixes e 26,1 milhões  $\text{ton}^{-1}$  de plantas aquáticas em 2013, sendo mais da metade destas produções oriunda da China. As estatísticas referentes à produção de plantas aquáticas contabilizaram principalmente macroalgas (algas) cultivadas em água marinha, doce e salobra, sendo excluídas as macrófitas aquáticas (plantas aquáticas superiores) de água doce, pois sua produção, usualmente, não visa sua utilização como alimento, mas sim o tratamento de efluentes. Neste mesmo referencial não há menção as plantas aquáticas superiores cultivadas com água salina. Conforme descrito por Lieth & Mochtchenko (2003), as plantas tolerantes a salinidade desempenham um grande papel local e regional na Europa e Ásia, devido aos seus múltiplos usos, tais como fonte de alimento, ração animal, produtos químicos e outras matérias-primas. Contudo, estas plantas têm um potencial de uso muito maior, uma vez que a incorporação do cultivo de plantas aquáticas tolerantes a salinidade em outras produções aquícolas (Brown *et al.* 1999, Costa 2006, 2011, Ventura *et al.* 2015) e em áreas com solos salinizados (Glenn *et al.* 2013, Ventura & Sagi 2013), poderá fornecer uma nova fronteira agrícola.

Dentre o vasto número de vegetais, um grupo relativamente pequeno de plantas superiores é capaz de se desenvolver sob condições salinas, tais como espécies de zonas entremarés que compõe as marismas e os manguezais. Estas plantas que toleram a salinidade são conhecidas como halófitas. Apesar de controvérsias, acredita-se que há entre 2.000 e 3.000 espécies de plantas halófitas, compreendendo a plantas herbáceas, arbustos e árvores (Glenn *et al.* 1998, Flowers *et al.* 2010).

As plantas halófitas aquáticas evoluíram de um processo polifilético de plantas terrestres nos últimos 40 milhões de anos (Flowers *et al.* 2010), desenvolvendo diversas adaptações para tolerar a salinidade, tais como mecanismos de exclusão, diluição, excreção e compartimentação do sódio, produção/acumulação de solutos orgânicos compatíveis para osmorregulação (Flowers *et al.* 1986, 2010, Dawes 1998, Glenn & Brown 1999, Rozema & Schat 2013). Tais características permitem gerar biomassa vegetal com alto valor nutritivo para alimentação animal e humana, rica em

compostos nitrogenados, sódio, outros minerais essenciais e substâncias bioativas (Ksouri *et al.* 2011, Glenn *et al.* 2013, Ventura & Sagi 2013). Adicionalmente, as plantas halófitas aquáticas podem ser cultivadas com água marinha (Glenn *et al.* 1998, Glenn & Brown 1999, Ventura *et al.* 2011a, Ventura & Sagi 2013) e efluentes da aquicultura (Brown *et al.* 1999, Costa 2006, 2011, Ventura *et al.* 2015). Neste último contexto, o cultivo de halófitas tem sido utilizado como uma alternativa vantajosa econômica e ambientalmente, pois os efluentes da produção de peixes e camarões contendo nutrientes (particularmente nitrogenados e fósforo) e matéria orgânica (incluindo microalgas) podem ser utilizados como fertilizante para as plantas. Este tipo de associação pode incrementar a produção vegetal, sem utilização de água doce, diminuir os custos com insumos e minimizar o impacto ambiental da aquicultura (Brown *et al.* 1999, Costa 2011, Ventura *et al.* 2015).

Plantas de marismas e manguezais são macrófitas aquáticas que possuem adaptações anatômicas e morfológicas que as permitem sobreviver em solos periodicamente expostos à atmosfera (Dawes 1998). Consequentemente, algumas espécies podem ser cultivadas em áreas desérticas e semiáridas irrigadas com águas salinas, bem como em solos com crescente salinização por infiltração salina ou más práticas de irrigação (Glenn *et al.* 1998, 2013). Diante do cenário mundial atual de limitação dos recursos dulcícolas, aumento populacional e da demanda de água para produção de alimento, o cultivo de halófitas tem sido considerado um importante passo para o desenvolvimento de uma agricultura salina (Ventura & Sagi 2013, Ventura *et al.* 2015).

## 1.2. Desenvolvimento de cultivares halófitas

A obtenção de cultivares de halófitas depende de programas de melhoramento que produzam plantas com crescimento uniforme, maior produtividade e qualidade nutricional previsível (Zerai *et al.* 2010, Ventura & Sagi 2013, Ventura *et al.* 2015). Este tipo de aproximação já permitiu gerar plantas halófitas bem-sucedidas na agricultura salina como o aspargo marinho *Salicornia bigelovii* (Glenn *et al.* 1998, 2013, Zerai *et al.* 2010). Espécies do gênero *Salicornia* são tradicionalmente utilizadas na culinária. No início deste século, *Salicornia* foi introduzida no mercado europeu de alimento gourmet focando na sua similaridade com o aspargo (Ventura *et al.* 2011a). O seu potencial comercial tem sido maximizado devido as suas

características nutricionais, pois esta espécie apresenta alta concentração de minerais (Na, K, Mg, Ca, P e Fe), vitaminas com propriedades antioxidantes, tais como ácido ascórbico e  $\beta$ -caroteno (Lu *et al.* 2010). Além disto, há mais de 30 anos esta espécie tem sido domesticada para produção de uma cultura oleaginosa com irrigação salina, visto que suas sementes contêm cerca de 30% de óleo, sendo a concentração de ácido linoleico ( $\omega$ -6) tão alta quanto à do óleo de cártamo (Milan & Stanislav 2002). O cultivo de *S. bigelovii* tem sido bem sucedido em vários países, tais como no México, Índia, Eritreia, Arábia Saudita e nos Emirados Árabes Unidos, por meio de melhoramento genético e aprimoramento de tecnologias de irrigação com água do mar (Milan & Stanislav 2002, Zerai *et al.* 2010, Glenn *et al.* 2013).

O desenvolvimento de um programa de melhoramento e a produção de novas cultivares exige avaliações periódicas das progênies geradas, quanto ao desenvolvimento de características de interesse agrônômico, como por exemplo, a produtividade, a tolerância a estresses e a qualidade nutricional da biomassa. No estudo de Zerai *et al.* (2010), após um período curto de melhoramento (cerca de 5 anos) foi observado que a variedade selecionada (*e.g.* SOS-10) de *S. bigelovii* apresentou um incremento de 44% na biomassa dos caules, 29% no peso das sementes e 17% no índice de colheita em relação a sua progênie f2 (*e.g.* Eritreia). Ressalvasse que os autores deste estudo pioneiro citam a necessidade de estudos em programas de seleção mais completos, os quais considerem características como condições de campo, restrições do ciclo de cultivo e tempo de floração (que afeta o desenvolvimento vegetativo e aspectos práticos da colheita de sementes).

### 1.3. O cultivo e o melhoramento de *Sarcocornia ambigua*

A partir de análises filogenéticas foi estimado que a cerca de 9,4-4,2 milhões de anos atrás ocorreu a separação de uma linhagem de plantas anuais (*Salicornia* sp.) das plantas de forma perene do gênero *Sarcocornia* (Rozema & Schat 2013, Steffen *et al.* 2015). Estas espécies anuais halófitas puderam se dispersar em clima temperado frio, boreal e subártico, devido a característica de desenvolvimento rápido e persistência no ambiente através de sementes durante geada/congelamento. Enquanto, o gênero *Sarcocornia* (família Amaranthaceae, subfamília Salicornioideae) apresenta distribuição geográfica em zonas de clima temperado quente e mediterrânico sem geada/congelamento e com alagamentos frequentes e prolongados.



Em meio à diversidade de plantas halófitas, as espécies do gênero *Sarcocornia* têm demonstrado um grande potencial produtivo quando irrigadas com águas salinas (Ventura *et al.* 2011a, Ventura & Sagi 2013, Costa *et al.* 2014b, Ventura *et al.* 2015) e efluentes da carcinicultura (Costa 2006, Greis 2009, Costa *et al.* 2014a).

De acordo com Alonso & Crespo (2008), na América do Sul são aceitas taxonomicamente apenas 5 espécies. Dentre elas a *Sarcocornia ambigua* (sin. *Salicornia gaudichaudiana* Moq.), caracterizada como um pequeno arbusto perene, nativo de zonas entremarés das marismas ao longo da maior parte costa atlântica da América do Sul. Esta espécie foi originada provavelmente no Mioceno Tardio (6-5 milhões de anos atrás; Steffen *et al.* 2015), apresenta a morfologia simplificada, caracterizada por caules clorofilados cilíndricos, suculentos e segmentados, similar aos demais membros da subfamília Salicornioideae (Costa *et al.* 2014a). As estruturas florais são reduzidas e imersas nos segmentos; os lóbulos dos estigmas e as anteras estão sempre muito próximos, tornando a autofecundação muito provável, como outras espécies de *Sarcocornia* (Davy *et al.* 2006).

Desde 2005, a espécie *S. ambigua* vem sendo cultivada experimentalmente em campo sob irrigação salina, atingindo produtividades de biomassa de caules por safra de 9 a 23 toneladas de peso fresco por hectare (Costa 2006, 2011, Costa *et al.* 2014b). Os caules e as sementes desta espécie apresentaram alta qualidade nutricional, tais como altos teores minerais, respectivamente, Na, K, Mg e Ca, além de características químicas, como ácidos graxos polinsaturados, principalmente o ácido linoleico ( $\omega$ -6) e ácido oleico ( $\omega$ -9), os quais podem ser utilizados na alimentação humana (Costa 2006, Bertin *et al.* 2014) e animal (D'Oca *et al.* 2012, Bertin *et al.* 2014, Costa *et al.* 2014a), como para produção de biocombustível e na indústria farmacêutica (EPAGRI 2008, D'Oca *et al.* 2012, Bertin *et al.* 2014, Costa *et al.* 2014a).

As espécies do gênero *Sarcocornia* têm grande plasticidade fenotípica (Ventura *et al.* 2011b, Ventura & Sagi 2013), alta diversidade genética intrapopulacional e formação de híbridos entre espécies simpátricas (Davy *et al.* 2006, Freitas & Costa 2014). No decorrer do estudo, realizado no Brasil por Costa (2006, 2011) foi observada a presença de dois biótipos contrastantes no cultivo de *S. ambigua*, os quais diferiam quanto à coloração (verde X vermelha). A ocorrência de biótipos em *S. ambigua* também foi evidenciada na Venezuela por Medina *et al.* (2008) e em populações naturais do extremo sul do Brasil (Freitas & Costa 2014). Visto que os principais pigmentos associados à coloração vermelha em *Sarcocornia*

são betacianinas e outros flavonoides (Costa 2006, EPAGRI 2008, Duarte *et al.* 2013), que são compostos com propriedade antiestresse. Os diferentes biótipos de *S. ambigua* poderão apresentar distintas tolerâncias fisiológicas ao estresse hídrico induzido pela irrigação salina. Flowers *et al.* (2010) destacam que a tolerância ao estresse salino pode variar entre diferentes genótipos de plantas halófitas, sendo um aspecto importante de ser detectado em um programa de desenvolvimento de novas cultivares halófitas.

A comparação do crescimento e da composição química destas cultivares sob irrigação salina constitui um importante “Ensaio para fins de Determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU)”, ou seja, uma experimentação de campo para avaliação dos valores médios fenotípicos dos tratamentos genéticos (*e.g.* cultivares) em avaliação. No Brasil, o VCU é utilizado pelo Ministério da Agricultura, para fins legais de recomendação, registro e proteção de cultivares.

Em 2010, no Laboratório de Biotecnologia de Halófitas, vinculado a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), teve início um programa de selecionamento de *S. ambigua* através da identificação de diferentes biótipos e cruzamento dentro de linhagens puras desta espécie autógama. Este programa resultou na obtenção de duas linhagens morfológicamente distintas (Figura 1), que foram denominadas BTH1 (fenótipo vermelho na maturidade, crescimento prostrado e com alto investimento reprodutivo) e BTH2 (fenótipo verde na maturidade, crescimento ereto e alta produtividade vegetativa de caules). Testes de campo de plantas destas duas linhagens ainda são necessários para avaliação de suas características fenológicas (*e.g.* período de florescimento e frutificação), crescimento e diferenças na qualidade nutricional sob irrigação salina.

#### 1.4. Efeitos da irrigação com água salina na produtividade e qualidade nutricional

Para maximizar a produção e composição nutricional das plantas, a irrigação é uma das práticas de manejo que deve ser adequada às condições de cultivo. Segundo Lieth & Mansoom (1993), diferentemente da irrigação de cultivos convencionais (água doce), onde os sais podem ser acumulados em certa medida entre as regas sem reduzir a produtividade, a irrigação salina deve ser efetuada com frequência para manter o nível de salinidade constante, adaptando a periodicidade de irrigação as condições de cultivo. Por exemplo, em solos arenosos com baixa taxa de retenção de

água e climas secos ou sazonalmente secos é necessária a irrigação diária. O nível de salinidade do solo deve ser monitorado para manter o rendimento e evitar a redução da produtividade (Glenn & Brown 1999). Sob regime de irrigação superficial com água de alto teor salino, as halófitas necessitam frequentemente de uma percentagem de lixiviação de 30% acima do seu uso da água, de forma que o excesso de sal acumulado próximo as raízes, durante períodos entre regas, seja removido (Glenn *et al.* 1997, 2013).

Faz-se necessária uma melhor compreensão dos efeitos da irrigação com água salina na produtividade e desenvolvimento das novas cultivares de halófitas, pois as condições físico-químicas da irrigação com água salina, bem como o clima local podem influenciar a taxa de crescimento (Costa *et al.* 2006, Davy *et al.* 2006, Ventura *et al.* 2011a, Glenn *et al.* 2013) e o investimento reprodutivo (Costa 2011, Ventura *et al.* 2011b) de espécies do gênero *Sarcocornia*. A composição química das plantas também pode ser marcadamente afetada pelas condições salinas (Costa *et al.* 2006, Ventura *et al.* 2011a, Duarte *et al.* 2013, 2014). Por exemplo, com o aumento da salinidade de irrigação, o sódio é acumulado no vacúolo das plantas enquanto osmólitos nitrogenados são produzidos e armazenados no citosol, a fim de estabilizar as estruturas protoplasmáticas (Flowers *et al.* 1986, 2010, Glenn & Brown 1999, Davy *et al.* 2006, Duarte *et al.* 2014). De acordo com Lieth & Al Mansoom (1993), a concentração de minerais de halófitas, usualmente, aumenta 20-40% com a transferência de águas mixohalinas para a salinidade do nível de água do mar, sendo sódio o maior cátion acumulado. Ventura *et al.* (2011a, 2015) observaram que os gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* irrigados com água do mar diluída em diferentes percentagens, apresentaram um incremento notório de sódio e sutil de potássio, em 100% de água marinha. Além disto, nesta concentração salina ocorreu elevação da percentagem de polifenóis totais, os quais são reconhecidos por serem substâncias antioxidantes.

Este aumento de minerais essenciais e de substâncias bioativas no tecido das plantas representam uma melhoria da composição nutricional das plantas em irrigação com alta concentração salina. Vários estudos (Luque *et al.* 1999, Curado *et al.* 2014, Smillie *et al.* 2015) relataram que os gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* apresentam grande relevância na bioacumulação de elementos metálicos. É necessária uma melhor compreensão dos efeitos da irrigação com água salina na produtividade e qualidades nutricionais das progênes de *S. ambigua*.

## 2. Objetivo

### 2.1. Objetivo geral

Este estudo visou investigar variações entre progênies de *S. ambigua*, através de dois cultivos de campo irrigados com efluente salino da carcinicultura.

### 2.2. Objetivos específicos

- Verificar o desenvolvimento vegetativo e alocação da biomassa para componentes aéreos (vegetativos e reprodutivos) das progênies de *S. ambigua* frente a diferentes condições de cultivo;
- Avaliar o desenvolvimento reprodutivo (floração) das progênies de *S. ambigua* frente a diferentes condições de cultivo;
- Quantificar mudanças na qualidade nutricional das progênies de *S. ambigua* frente a diferentes condições de cultivo;
- Estimar a frequência de irrigação para crescimento ótimo das progênies de *S. ambigua* no período verão-outono no extremo sul do Brasil;

## 3. Materiais e métodos

### 3.1. Produção de mudas

Dois experimentos de cultivo de progênies selecionadas de *S. ambigua* com irrigação de efluentes salinos da carcinicultura em condição de campo foram realizados na Estação Marinha de Aquicultura (EMA)-FURG localizada no Balneário do Cassino (Rio Grande, RS). Estes estudos ocorreram no verão-outono 2014 e na primavera-outono de 2014-2015, sendo denominados, respectivamente, experimento 2014 e experimento 2015.

Foram utilizadas nos experimentos plantas de *S. ambigua* pertencentes às linhagens BTH1 e BTH2, sendo analisadas as progênies f3 e f4 de cada linhagem. Todas as plantas foram obtidas de sementes do germoplasma do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (Instituto de Oceanografia, FURG, Rio Grande, RS). As sementes foram germinadas conforme protocolo de Leite *et al.* (2007) e Freitas & Costa (2014), em estufas com termoperíodo de 12h-30/20 °C. As plântulas obtidas foram transferidas para bandejas de isopor com compartimentos (3,5 x 3,5 x 6 cm), que foram preenchidos com uma mistura (1:1) de composto orgânico e areia fina de praia, e após 6 semanas de cultivo para tubetes de 50 ml com o mesmo substrato

anteriormente citado. A análise da areia de praia indicou a seguinte composição: pH= 7,2; N= 0,3 mg kg<sup>-1</sup>; P= 0,5 mg kg<sup>-1</sup>; e K= 19,0 mg kg<sup>-1</sup>. O composto orgânico tipo “terra preta” utilizado da marca Humosolo Vida, foi previamente peneirado em malha de 5 mm, e apresentou a seguinte composição: pH= 5,6; N= 7,7 g kg<sup>-1</sup>; P= 3,7 g kg<sup>-1</sup>; e K= 1,6 g kg<sup>-1</sup>. As plântulas foram mantidas um total de 25 semanas (experimento 2014) e de 34 semanas (experimento 2015) em estufa não climatizada do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas, antes de transplantadas nos canteiros de cultivo.

### 3.2. Delineamento experimental e condições de cultivo com efluente salino da carcinicultura

#### 3.2.1. Experimento 2014 – cultivo tardio de progênies

De fevereiro a junho de 2014, plantas das 4 progênies de *S. ambigua* foram cultivadas em um canteiro de 6,30 x 3,50 x 1,00 m. O canteiro (Figura 2) possuía 8 linhas de plantio separadas por sulcos paralelos desde a entrada do efluente no lado leste até um sulco de saída, no lado oeste, que funcionou como vertedouro durante períodos de chuvas. Para cada progênie foi plantada 2 fileiras adjacentes, com 10 plantas por fileira, espaçadas 25 cm entre si e uma distância de 60 cm entre fileiras. Este procedimento resultou em 4 blocos (um para cada progênie, Figura 2), sendo os blocos completamente casualizados e cada planta representava uma repetição do tratamento progênie (n= 20 plantas por progênie). O controle das plantas invasoras foi realizado manualmente com o auxílio de enxada e arranque dentro do canteiro.

O solo do canteiro pode ser caracterizado como Neossolo Quartzarênico 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). O solo do canteiro era isolado do adjacente por meio do revestimento do canteiro com geomembrana.

O canteiro foi submetido a 4 regas diárias (6, 10, 14, 18 horas) totalizando o volume de 1500 L (25 litros por minuto durante 15 minutos a cada rega) de efluente salino de um viveiro de camarões *Litopenaeus vannamei* em sistema BFT (*Biofloc technology*) com a densidade de 120 camarões m<sup>-2</sup>. O efluente constituiu a principal fonte de água e nutrientes suplementados ao cultivo de *S. ambigua* (Costa 2006, Costa *et al.* 2014b). Durante o cultivo, a água do viveiro de camarão foi monitorada, utilizou-se os equipamentos multiparâmetro YSI® 556 (salinidade), pHmetro YSI® 60

(pH) e oxímetro YSI<sup>®</sup> 55 (oxigênio dissolvido) para quantificação dos parâmetros *in situ*, assim como foram coletadas amostras do efluente em recipientes estéreis, as quais foram filtradas e quantificadas seguindo a metodologia da UNESCO (1983) para o nitrogênio amoniacal e Strickland & Parsons (1972) para os demais nutrientes (nitrato e fosfato). A partir deste monitoramento foram observados os seguintes valores médios ( $\pm$  erro padrão; n=9): salinidade da água=7,67  $\pm$  0,27 g NaCl L<sup>-1</sup> ( $\approx$ 11,40 dS m<sup>-1</sup>); pH= 8,42  $\pm$  0,01; oxigênio dissolvido= 8,05  $\pm$  0,04 mg L<sup>-1</sup>; nitrato= 4,00  $\pm$  5,66 mg L<sup>-1</sup>; nitrogênio amoniacal= 0,04  $\pm$  0,03 mg L<sup>-1</sup>; e fosfato= 1,21  $\pm$  0,04 mg L<sup>-1</sup>.

Duas vezes por semana, amostras superficiais do solo (0-10 cm) foram coletadas em três pontos do canteiro, respectivamente, nas fileiras 1, 4 e 8, para quantificação da umidade e condutividade elétrica do solo. O teor de umidade do solo foi estimado por gravimetria após secagem em estufa 60 °C por 48 h. A condutividade elétrica (CE<sub>1:2</sub>) do solo foi quantificada com um condutímetro Hanna HI9835 no sobrenadante de mistura de 15 g de solo seco com 30 ml de água destilada após 60 minutos, sendo expressa em dS m<sup>-1</sup>. Diariamente, foram obtidos dados meteorológicos de precipitação, temperatura do ar (mínima e máxima) e radiação na Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no campus da FURG (32°04'43''S e 52°10'03''W), a aproximadamente 20 km do canteiro.

### 3.2.2. Experimento 2015 – Respostas das progênes a dois regimes de irrigação salina

Entre novembro 2014 e abril de 2015, plantas das 4 progênes de *S. ambigua* foram cultivadas em dois canteiros similar ao experimento anterior (Figura 2), respectivamente, submetidos a 1 rega de 375 L (25 litros por minuto durante 15 minutos) a cada 2 dias (T2) e 4 dias (T4) com efluente salino da carcinicultura. Estes regimes de irrigação foram definidos a partir da observação no experimento 2014, onde o canteiro revestido com geomembrana apresentou um alto grau de retenção de umidade no solo (veja seção Resultados). Os canteiros possuíam o mesmo número de linhas, espaçamento entre plantas e número de plantas de cada progênie do experimento 2014. O desenho amostral foi bifatorial com 4 níveis do fator progênes (f3 e f4 das linhagens BTH1 e BTH2) e 2 níveis do fator irrigação, no delineamento

de blocos completamente casualizados (um bloco para cada progênie) sem repetição para o fator irrigação. A amostragem foi realizada dentro de cada bloco e cada planta representava uma repetição do tratamento progênie (n= 20 plantas por progênie). Ao final da segunda semana do experimento todas as plantas que não sobreviveram foram substituídas por equivalentes da mesma progênie. O controle das plantas invasoras foi realizado manualmente com o auxílio de enxada e arranque dentro do canteiro.

O efluente foi bombeado do cultivo de camarão similar ao do experimento realizado anteriormente, entretanto a densidade de estocagem foi de 87 camarões m<sup>-2</sup>. Foram monitorados os parâmetros químicos da água do efluente através da mesma metodologia do experimento 2014, que apresentaram os seguintes valores médios ( $\pm$  erro padrão; n=23): salinidade da água= 12,45  $\pm$  0,21 g NaCl L<sup>-1</sup> ( $\approx$ 18,50 dS m<sup>-1</sup>); pH= 8,65  $\pm$  0,04; oxigênio dissolvido= 7,59  $\pm$  0,12 mg L<sup>-1</sup>; nitrato= ( $\leq$  0,03 mg L<sup>-1</sup>); nitrogênio amoniacal= 0,15  $\pm$  0,13 mg L<sup>-1</sup>; e fosfato= 0,30  $\pm$  0,05 mg L<sup>-1</sup>. Assim como no experimento 2014, os dados meteorológicos diários foram obtidos da estação automática do INMET no campus da FURG. Dados de umidade e CE<sub>1:2</sub> do solo superficial foram obtidos 2-3 vezes por semana nos três pontos de cada canteiro.

### 3.3. Biometria, floração e produção de biomassa

Nos dois experimentos, as biometrias das plantas foram realizadas antes do plantio e após o cultivo nos canteiros. No experimento 2014, as plantas foram medidas com 25 semanas e 42 semanas de idade (após 17 semanas de cultivo no canteiro). No experimento 2015, as plantas foram medidas com 34 semanas e 56 semanas de idade (após 22 semanas de cultivo nos canteiros).

A altura (maior comprimento vertical; mm), o número de ramificações primárias dos caules e o comprimento da maior ramificação (MR; mm) foram quantificados no início e no final dos experimentos, exceto o último parâmetro no experimento 2014, o qual foi medido apenas na coleta final com régua (mm). As diferenças entre alturas e número de ramificações iniciais e finais de cada planta foram utilizadas, respectivamente, para o cálculo das taxas absolutas de crescimento (Tolliffe *et al.* 1982, Hunt *et al.* 2003) vertical (TAV; cm semana<sup>-1</sup>), de formação de ramificações (TAR; ramificações semana<sup>-1</sup>) e do comprimento da maior ramificação (TMR; cm semana<sup>-1</sup>), sendo a TMR estimada apenas para o experimento 2015. As plantas foram monitoradas semanalmente quanto à presença de estruturas

reprodutivas (estigmas, anteras, segmentos do caule com sementes). Foram calculadas as médias do tempo até o início da floração (TIF), do comprimento do período de floração (PF) e da porcentagem de indivíduos que floresceram de cada progênie (Zerai *et al.* 2010). No experimento 2015, o PF não foi estimado porque ao final do cultivo várias plantas das 4 progênies ainda encontravam-se em floração (abril 2015). Em ambos os experimentos, ao final do cultivo todas as plantas foram cortadas ao nível do solo com tesoura, ensacadas (sacos estéreis) individualmente e transportadas ao Laboratório de Biotecnologia de Halófitas em caixas térmicas. Cinco plantas de cada progênie foram aleatoriamente escolhidas, ensacadas individualmente (após a maceração da matéria seca) para posterior análise da composição mineral. No experimento 2014, estas cinco plantas selecionadas de cada progênie também tiveram suas raízes cuidadosamente removidas do sedimento e analisadas quanto à composição mineral.

No laboratório, as amostras vegetais foram lavadas para remoção do solo. Após, os segmentos vegetativos e reprodutivos do caule foram separados manualmente, as raízes foram triadas apenas para o experimento 2014. As biomassas foram quantificadas em balança de precisão ( $\pm 0,01$  g) para determinação da biomassa fresca. Posteriormente, todas as amostras foram secas a  $60^{\circ}\text{C}$  por 48 h e pesadas em balança de precisão para determinação da biomassa seca.

### 3.4. Suculência e composição mineral

A porcentagem de água (*e.g.* teor percentual de umidade) nos caules foi calculada a partir das pesagens da biomassa fresca e biomassa seca, e utilizada como indicação da suculência das plantas. Cinco amostras secas de caules (somente segmentos vegetativos) e de raízes de cada progênie foram moídas em almofariz com pistilo, subsequentemente, submetidas a digestão nítrico-perclórica e sulfúrica (para análise de N), conforme a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995), em bloco digestor da TECNAL<sup>®</sup>. Com os extratos obtidos nas digestões foram determinados o nitrogênio (N) por destilação e titulação (Tedesco *et al.* 1995), fósforo (P) com o espectrofotômetro ultravioleta visível Varian<sup>®</sup> 634, potássio (K) por fotometria de chama Digimed<sup>®</sup> NK-2000, bem como o cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer<sup>®</sup> 403. Todas as análises de minerais foram realizadas



no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) - Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), os laudos foram certificados com conceito A pelo Controle de Qualidade do Programa Interlaboratorial de Análise de Tecido Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós (ESALQ), pertencente a Universidade de São Paulo (USP), Campus Piracicaba.

### 3.5. Análise dos dados

Para todas variáveis quantificadas foram testados os pressupostos (Zar 2010) de normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov) e a homocedasticidade (teste de Bartlett) a 5% de significância. De forma a atender estes requisitos para análises estatísticas, algumas variáveis tiveram que ser transformadas. No experimento 2014, a  $CE_{1:2}$  do solo foi transformada com a função  $\log_{10}(10 * (x+1))$ , enquanto as variáveis número de ramificações inicial e altura final dos caules foram transformadas, respectivamente, através das funções raiz quadrada  $(x+1)$  e raiz quadrada  $(x)$ . O TIF, a biomassa fresca dos caules e total (caule e raiz) das plantas foram transformadas pela função  $\log_{10}(x)$ . No experimento 2015, a  $CE_{1:2}$  solo foi transformada com a função raiz quadrada  $(x)$ , as variáveis altura inicial, MR inicial, altura final, biomassa fresca vegetativa e o TIF foram transformadas pela função  $\log_{10}(x)$ , enquanto que para o MR final e biomassa fresca total foi utilizada a função raiz quadrada  $(x)$ . A TAV foi transformada com a função  $\log_{10}(x+1)$ . Também foi necessária a utilização da função  $\log_{10}(x)$  para os elementos N, P, Cu e Fe e raiz quadrada  $(x)$  para Ca.

No experimento 2014, a análise das diferenças entre os teores de umidade e de  $CE_{1:2}$  do solo entre os três pontos do canteiro foi realizada através de Análises de Variância (ANOVA) unifatoriais. ANOVA também foi empregada para avaliar diferenças entre as 4 progênies quanto as variáveis biométricas, floração (TIF e PF), componentes da biomassa, suculência e composição mineral dos caules e raízes. Todas as análises foram seguidas do teste de *post-hoc* de Tukey, considerando 5% de significância (Zar 2010). O *post-hoc* de Tukey não balanceado foi empregado, pois as progênies apresentaram um número amostral diferente (BTH1-f3= 19; BTH1-f4= 20; BTH2-f3= 19 e BTH2-f4= 12), devido à exclusão de plantas que apresentaram perda parcial de biomassa durante o cultivo (*e.g.* ação de aves e insetos). Diferenças entre progênies na percentagem de indivíduos que floresceram no cultivo foram testadas através do teste Chi-quadrado ( $\chi^2$ ) a 5% de significância (Siegel 1975), sucedido de

comparações pareadas com a correção da significância de Bonferroni ( $\alpha/n$ ; 1% de significância). A progênie BTH1-f4 não foi incluída nas comparações de TIF e do PF, pois apenas duas plantas floresceram (*i.e.* 10% das plantas) e seus segmentos reprodutivos só foram observados após a colheita.

No experimento 2015, as diferenças entre os teores de umidade e  $CE_{1:2}$  do solo entre os dois regimes de irrigação (T2 e T4), três pontos do canteiro (fileiras 1, 4 e 8) e duas estações climáticas do ano (primavera-verão e verão-outono) foram testados por meio de ANOVA trifatorial. A introdução do fator estação climática foi devido ao maior tempo cultivo e a marcada variação sazonal das chuvas. As variações dos parâmetros biométricos, floração (TIF), componentes da biomassa, suculência e composição mineral dos caules entre as 4 progênies e 2 tratamentos de irrigação foram testadas através de ANOVA bifatoriais (progênie= p; tratamento irrigação= t; e interação progênie x tratamento irrigação= pxt). As análises foram seguidas do teste de *post-hoc* de Tukey não balanceado, considerando 5% de significância. Assim como no experimento 2014, algumas plantas que apresentaram perda parcial de biomassa durante o cultivo (*e.g.* à ação de aves) e foram excluídas das análises, gerando diferentes números amostrais nos regimes do tratamento irrigação: T2 (BTH1-f3= 20; BTH1-f4= 19; BTH2-f3= 20; BTH2-f4= 20) e T4 (BTH1-f3= 19; BTH1-f4= 20; BTH2-f3= 19; BTH2-f4= 20). Diferenças entre progênies na porcentagem de indivíduos que floresceram no cultivo foram testadas conforme o experimento 2014.

## 4. Resultados

### 4.1. Experimento 2014

#### 4.1.1. Caracterização das condições experimentais

Durante as 25 semanas de cultivo das mudas em estufa não climatizada as médias diárias de temperaturas mínima; máxima e média ( $\pm$  erro padrão) foram, respectivamente,  $11,8 \pm 0,2$  °C;  $29,9 \pm 0,3$  °C e  $20,8 \pm 0,3$  °C.

No período de fevereiro a junho de 2014, as plantas nos canteiros estiveram expostas a temperaturas médias das mínimas noturnas entre 11,8 e 23,8 °C (média global=  $18,7 \pm 0,4$  °C), enquanto as médias das máximas diurnas variaram de 12,8 e 24,8 °C ( $19,7 \pm 0,5$  °C) (Figura 3A). A radiação solar média foi de  $1279,8 \pm 895,3$  kJ m<sup>-2</sup>, sendo que o maior valor individual registrado foi de 3582 kJ m<sup>-2</sup>, bem como as temperaturas mais altas ocorrem na semana 1 (Figura 3A). Durante o cultivo, o

fotoperíodo decresceu entre 13 e 8 horas com uma média de  $10,7 \pm 0,1$  horas de luz. A precipitação média semanal variou entre 0,2 e 6,4 mm ( $3,5 \pm 0,1$  mm dia<sup>-1</sup>) e acumulou 420,6 mm ao final das 17 semanas de cultivo (Figura 3B). Ao longo do cultivo, as médias semanais de umidade (Figura 3C) variaram entre 6,3 e 19,3 % (média global=  $14,5 \pm 0,6\%$ ) e as de CE<sub>1:2</sub> (Figura 3D) oscilaram de 0,5 a 5,5 dS m<sup>-1</sup> ( $2,5 \pm 0,6$  dS m<sup>-1</sup>) no solo do canteiro. A maior média semanal de CE<sub>1:2</sub> ( $5,5 \pm 1,0$  dS m<sup>-1</sup>) e a menor média semanal de umidade do solo ( $6,3 \pm 0,6\%$ ) foram observadas na oitava semana, durante um período seco (Figura 3B). Tanto a umidade como a CE<sub>1:2</sub> do solo não apresentaram diferenças significativas entre os 3 pontos amostrais do canteiro (Tabela 1).

#### 4.1.2. Crescimento e floração das plantas

Os valores iniciais de altura e do número de ramificações dos caules das mudas de *S. ambigua* foram estatisticamente diferentes entre as progênes (Tabela 2), porém não houve diferenças entre gerações de cada linhagem. As médias de altura das progênes BTH2-f3 ( $17,3 \pm 0,7$  cm) e BTH2-f4 ( $15,9 \pm 1,3$  cm) foram significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ ) maiores do que das variedades BTH1-f3 ( $9,4 \pm 0,3$  cm) e BTH1-f4 ( $7,4 \pm 0,6$  cm). As médias do número inicial de ramificações de BTH2-f3 ( $8,3 \pm 1,2$ ) e BTH2-f4 ( $5,1 \pm 1,3$ ) também foram maiores do que as de BTH1-f3 ( $3,8 \pm 0,8$ ) e BTH1-f4 ( $2,6 \pm 0,8$ ).

Após 17 semanas de cultivo com irrigação salina não houve mortalidade de plantas associadas às condições físico-químicas no canteiro. Houve a intensificação das diferenças entre as linhagens ao longo do cultivo, onde BTH1 apresentou coloração avermelhada e BTH2 manteve a coloração verde. A linhagem BTH2 apresentou média significativamente maior de altura (Figura 4A), do número de ramificações (Figura 4B), do MR (Figura 4C) e da TAV (Tabela 3) do que BTH1-f4, não ocorrendo diferenças entre as médias desta última progênie e BTH1-f3. A magnitude do melhor desempenho das plantas da linhagem BTH2 em relação a BTH1 variou conforme o parâmetro analisado, entre 57,5-72,5% na altura, 16,4-37,3 % no número de ramificações e 36,7-49,3% na TAV. A maior média do MR foi observada em BTH2-f3, que foi de 15,1-64,6% maior do que as demais progênes. As maiores TAV foram em BTH2-f3 e BTH2-f4, que corresponderam a, respectivamente,  $1,1 \pm 0,04$  cm semana<sup>-1</sup> e  $1,1 \pm 0,3$  cm semana<sup>-1</sup> (Tabela 3). A taxa média da TAR variou de

1,6 ± 0,1 ramificação semana<sup>-1</sup> (BTH1-f4) a 2,0 ± 0,1 ramificação semana<sup>-1</sup> (BTH2-f3), mas não foram observadas diferenças significativas entre as progênes (Tabela 3).

A percentagem final de indivíduos que floresceram foi significativamente ( $\chi^2=15,3$ ;  $p < 0,05$ ) maior em BTH2-f3 (95%), sendo de 30-45% para BTH1-f3 e BTH2-f4 (Figura 4D). A floração de BTH1-f4 não foi estatisticamente comparada com as demais progênes, devido a seu florescimento pobre (*i.e.* 10% das plantas e em poucos segmentos dos caules). O TIF não apresentou diferenças significativas entre progênes (Tabela 3). Entretanto, o PF foi significativamente mais sincronizado em BTH1-f3 (4,5 ± 0,6 semanas) do que em BTH2-f3 (10,1 ± 0,2 semanas) (Tabela 2, Figura 4E).

#### 4.1.3. Biomassa individual e alocação para componentes caulinares

Ao final de 17 semanas de cultivo no canteiro, a biomassa média total (caules e raízes) das plantas de *S. ambigua* foi, respectivamente, de 19,9 ± 1,6 g fresca e 2,9 ± 0,3 g seca. Os resultados estatísticos para os diferentes componentes da biomassa em valores frescos e secos foram semelhantes, sendo apresentadas a seguir as respostas das biomassas frescas (Tabela 2). As progênes de BTH2 apresentaram biomassa fresca total de 115,8-205,3% maiores do que as variedades BTH1, mas não foram detectadas diferenças significativas entre as duas gerações de cada linhagem (Figura 4F). As diferenças entre biomassas totais foram principalmente determinadas pela biomassa dos caules, que foram significativamente maiores em BTH2 (Figura 4F). Não houve diferenças significativas entre as biomassas radicular das 4 progênes (Tabela 2, Figura 4F). Entretanto, a progênie BTH2-f4 apresentou maior investimento na alocação da biomassa de caules em relação à biomassa total da linhagem BTH1 (Figura 4F).

#### 4.1.4. Suculência e composição mineral

As plantas de *S. ambigua* apresentaram uma suculência média de 85,8% e houve diferenças significativas entre progênes, mas não entre as linhagens (Tabela 3). A maior suculência foi de 86,6 % em BTH1-f4, em contraposição BTH2-f3 correspondeu a 85,1%.

Os teores médios dos elementos minerais dos caules apresentaram diferenças significativas entre as progênes de *S. ambigua*, exceto para Mg e Fe (Tabela 4, Tabela 5). A linhagem BTH1 conteve os maiores teores de N, K e Cu, não sendo

detectadas diferenças significativas para estes elementos entre as duas gerações de cada linhagem (Tabela 4, Tabela 5). BTH1-f4 também apresentou os maiores valores de P, Zn e Mn entre as progênies da linhagem BTH2 (Tabela 5). Contrastantemente, o maior teor de Ca no caule foi observado na variedade BTH2-f4 (Tabela 5).

A composição de elementos das raízes de *S. ambigua* apresentou altos teores de Fe e Mn (Tabela 5), além de uma menor variabilidade dos demais elementos entre progênies. Somente os teores de N, Mg e Mn foram significativamente diferentes entre progênies (Tabela 4). A maior concentração de N foi observada em BTH1-F4 ( $11,4 \pm 0,2$  g Kg<sup>-1</sup> peso seco; PS), seguida da linhagem BTH2 (Tabela 5). Os maiores teores de Mg nas raízes foram observados na linhagem BTH1 (Tabela 5). Mn foi maior em raízes de BTH2-F3 ( $655,9 \pm 19,4$  mg Kg<sup>-1</sup> PS) do que em BTH1-F3 ( $338,4 \pm 24,2$  mg Kg<sup>-1</sup> PS) (Tabela 5).

## 4.2. Experimento 2015

### 4.2.1. Caracterização das condições experimentais

A etapa de produção de mudas na estufa não climatizada apresentou temperaturas mínima; máxima e média ( $\pm$  erro padrão), respectivamente, de  $14,1 \pm 0,5$  °C;  $28,4 \pm 0,6$  °C e  $21,2 \pm 0,4$  °C.

No intervalo de novembro 2014 a abril 2015, as médias de temperaturas mínimas variaram entre 18,4 a 26,4 °C (média global=  $22,8 \pm 0,1$  °C), enquanto que as médias das máximas de 19,7 e 27,9 °C ( $24,0 \pm 0,1$  °C) (Figura 5A). A média da radiação solar do período foi de  $1835,5 \pm 25,9$  kJ m<sup>-2</sup>, a maior radiação individual registrada correspondeu a 4078,0 kJ m<sup>-2</sup> na semana 11. A precipitação média semanal oscilou de 0,0 a 7,5 mm ( $2,2 \pm 0,1$  mm dia<sup>-1</sup>) e acumulou 340 mm (Figura 5B) ao final das 22 semanas de cultivo. A precipitação apresentou uma marcada variação sazonal durante o período de cultivo (Tabela 6, Figura 5B). Nas primeiras 9 semanas, correspondente ao período primavera-verão (até o final de janeiro), choveu 94% de toda precipitação do período experimental. De outra forma, no período verão-outono (após final de janeiro até a colheita) choveu apenas 20,2 mm. Este padrão de precipitação teve reflexo tanto na umidade quanto na CE<sub>1:2</sub> dos canteiros experimentais. O tratamento regime de irrigação afetou significativamente (Tabela 6) a umidade do solo (Figura 5C), cuja média em T2 correspondeu a  $11,0 \pm 0,5\%$  e em T4 foi de  $9,4 \pm 0,5\%$ , ou seja, T4 foi 17,4% menor do que T2. Também houve

significância no período do ano (Tabela 6), no qual a primavera-verão apresentou umidade do solo de 84,6% (T2) a 111,5% (T4) maiores do que as do período verão-outono. A  $CE_{1:2}$  (Figura 5D) apresentou diferenças significativas apenas quanto ao período (Tabela 6), sendo que no verão-outono foi 76,2% (T2) a 105,3% (T4) maior do que na primavera-verão. Não ocorreram diferenças significativas na umidade e  $CE_{1:2}$  do solo entre os 3 pontos amostrais nos dois canteiros (Tabela 6).

#### 4.2.2. Crescimento e floração das plantas

No início do cultivo, as mudas apresentaram diferenças significativas de altura, número de ramificações dos caules e o MR (Tabela 7, Tabela 8). A progênie f4 de ambas as linhagens apresentaram melhor desempenho em todas as variáveis inicial do que f3. Adicionalmente, BTH2-f4 apresentou maiores valores de todos os atributos iniciais.

Após as 22 semanas de cultivo, houve mortalidade de apenas uma planta da progênie BTH2-F3 no T4. Durante o verão-outono as plantas das linhagens BTH1 e BTH2 passaram a demonstrar suas colorações típicas, respectivamente, avermelhada e verde.

As progênies apresentaram diferenças significativas (Tabela 7, Tabela 8) entre suas médias finais de altura (Figura 6A), número de ramificações (Figura 6B) e MR (Figura 6C). BTH2-f4 apresentou as plantas com maior desempenho, sendo 20-40% mais altas, 13-15% mais ramificadas e com ramificações 30-60% mais longas que as demais progênies. Menores médias foram observadas nas progênies BTH1. A prolongação do regime de irrigação estimulou significativamente a altura das plantas (Tabela 7), sendo plantas T4 (média global=  $48,1 \pm 1,2$  cm) 6,6% maiores do que as de T2 ( $45,1 \pm 1,3$  cm). Não ocorreu efeito significativo do fator irrigação sobre número e o MR (médias globais das progênies comparadas entre T2 e T4) (Tabela 7). Entretanto, interações pxt (Tabela 7) sugerem que as progênies BTH1-f4 e BTH2-f3 tiveram suas alturas e números de ramificações dos caules estimulados pelo maior espaçamento do regime das irrigações em T4. Contrariamente, BTH1-f3 teve o número de ramificações dos caules reduzido em T4 (Figura 6B). Entre as taxas de crescimento (Tabela 7, Tabela 8), apenas TAV apresentou diferenças significativas entre as progênies e plantas BTH2-f3 cresceram 21-24% mais rápido do que as da linhagem BTH1. Nenhuma das taxas foi afetada significativamente pelo tratamento

irrigação (Tabela 7), apenas para TAR a interação pxt foi significativa sugerindo que as progênies BTH1-f4 e BTH2-f3 reduziram formação de ramificações em T2 (Tabela 8).

As quatro progênies de *S. ambigua* não apresentaram diferenças significativas quanto a percentagem final de indivíduos que floresceram (Figura 6D) em T2 ( $\chi^2=0,6$ ;  $p>0,05$ ) e T4 ( $\chi^2=0,6$ ;  $p>0,05$ ), bem como considerando os dados agrupados dos dois canteiros ( $\chi^2=1,1$ ;  $p>0,05$ ). O TIF (Figura 6E) foi diferente entre as progênies (Tabela 7), ocorrendo uma nítida diferenciação das linhagens. BTH1 apresentou floração precoce (12,6-14,0 semanas) em relação a BTH2 (14,6-16,7 semanas). Adicionalmente, plantas crescendo em T2 apresentaram TIF significativamente menor do que em T4 e todas as progênies tiveram TIF afetado da mesma forma pela irrigação (Tabela 7).

#### 4.2.3. Biomassa individual e alocação para componentes caulinares

Após o período de cultivo, a média da biomassa fresca caulinar (segmentos vegetativos + reprodutivos) das plantas foi de  $164,7 \pm 8,3$  g fresca ( $28,6 \pm 1,3$  g seca) em T2 e de  $154,3 \pm 12,9$  g fresca ( $27,7 \pm 2,1$  g seca) no T4. Os resultados de ANOVA para biomassas frescas e secas foram semelhantes, a seguir serão comentados apenas os dados de biomassas frescas (Tabela 7). Não ocorreu efeitos significativos do tratamento de irrigação ou interação pxt na biomassa fresca caulinar (Tabela 7), entretanto ocorreram diferenças entre progênies (Figura 6F) e plantas da BTH2-f4 ( $201,2 \pm 17,1$  g) foram em média 41,1-93,4% mais pesadas do que as da linhagem BTH1 (f3=  $104,0 \pm 8,9$  g e f4=  $142,6 \pm 12,1$  g). A biomassa vegetativa do caule apresentou resposta similar a biomassa fresca caulinar entre progênies e tratamentos de irrigação, entretanto a biomassa reprodutiva não diferiu entre as progênies, tratamentos de irrigação ou interação pxt (Tabela 7). Isto ocorreu devido às marcadas diferenças entre as linhagens quanto a alocação reprodutiva (Tabela 7, Figura 6F). As progênies BTH1 investiram significativamente mais (Teste de Tukey;  $p<0,05$ ) em estruturas reprodutivas do que a linhagem BTH2, sendo que BTH1-f3 alocou entre 63% a 111% mais em segmentos reprodutivos do que progênies BTH2.

#### 4.2.4. Suculência e composição mineral

A suculência média de *S. ambigua* foi de  $81,3 \pm 0,3\%$  e ocorreram diferenças

significativas entre as progênies e os tratamentos de irrigação (Tabela 7). A suculência de BTH2-f3 ( $84,7 \pm 0,3$  %) em T2 foi 10,3 % maior do que BTH1-f4 ( $76,8 \pm 0,9$ %) em T4 (Tabela 8). Além disto, a média global de suculência em T2 ( $81,9 \pm 0,3$ %) foi 2% maior do que em T4 ( $80,6 \pm 0,4$ %), e a interação pxt significativa indicou que, contrariamente ao padrão geral, as progênies BTH1-f3 e BTH2-f4 aumentaram a percentagem de suculência em T4 (Tabela 7, Tabela 8).

Em relação a macroelementos, progênies BTH2 apresentaram teores significativamente maiores de P (f4) e Mg (f3) do que a linhagem BTH1 (Tabela 9). Estas diferenças foram 37,2% maior concentração P do que BTH1-F4 e 16,5-18,4% para o teor de Mg em relação a linhagem BTH1. Já para microelementos, diferenças entre progênies ocorreram apenas para Fe e Cu, mas com maiores valores ocorrendo em plantas BTH1, que continham a média de 48,3% mais Fe (f3) e 19,0% mais Cu do que BTH2 (Tabela 9). As diferentes irrigações afetaram significativamente apenas os macroelementos N (18,2% maior em T4) e Ca (16,3% maior em T2) (Tabela 9). Dos microelementos apenas Mn e Cu foram afetados pela irrigação, sendo os teores de ambos elementos maiores em T2. Plantas BTH2-f3 demonstraram teores de Mn 66,5% em T2 em relação ao T4. Plantas de T2 apresentaram teor de Cu 53,8% maior do que em T4 (Tabela 9).

## 5. Discussão

Todas as progênies estudadas de *S. ambigua* foram facilmente propagadas, além de capazes de crescer e frutificar em cultivo de campo irrigado com efluente salino da carcinicultura, que supriu a maior parte dos nutrientes utilizados pelas plantas. No experimento 2014, as duas linhagens estudadas de *S. ambigua* apresentaram diferenças consistentes na biometria, produção e composição elementar da biomassa, que foram mantidas entre gerações consecutivas de suas plantas. Sob diferentes volumes de irrigação do experimento 2015, as linhagens mantiveram a maioria das diferenças. Neste último experimento, houve um incremento dos parâmetros biométricos e na composição de alguns elementos da geração f4 de BTH2. As diferenças observadas entre os experimentos foram aparentemente associadas ao plantio mais precoce e condições mais drenadas do solo no segundo experimento.



### 5.1. Características biométricas das linhagens e progênes

Tanto durante a fase de desenvolvimento das mudas em estufa, como após o cultivo em canteiro do experimento 2014 (17 semanas) e 2015 (22 semanas), as progênes BTH2 apresentaram maior desenvolvimento em altura, formação e MR do que as progênes BTH1, em particular na geração f4 do experimento 2015. Em ambos os experimentos, plantas BTH1 maduras apresentavam coloração avermelhada distinta, principalmente nas ramificações. Diferenças morfológicas e de coloração entre biótipos de *S. ambigua* já tinham sido relatadas para populações selvagens de marismas (Costa *et al.* 2006, Medina *et al.* 2008, Freitas & Costa 2014), porém a herdabilidade destas características não havia sido demonstrada. Características como a altura do caule e a densidade de ramificações têm sido associadas a diferenciações genéticas entre populações de espécies do gênero *Sarcocornia* (Ventura *et al.* 2011a, Agawu 2012) e *Salicornia* (Milić *et al.* 2011, Zerai *et al.* 2011, Ventura *et al.* 2011a, 2011b, Agawu 2012).

Além de mais altas, as plantas da linhagem BTH2 apresentaram taxas de crescimento vertical do caule na média de 19% (experimento 2015) a 43% (experimento 2014) maiores do que a linhagem BTH1, permitindo BTH2 atingir uma altura comercial do caule de 10 cm (adotado em Israel para espécies gourmet de *Salicornia* e *Sarcocornia*; Ventura *et al.* 2011a, Ventura & Sagi 2013) em 9-10 semanas de cultivo em ambos os experimentos. Este padrão comercial de altura é semelhante ao descrito para “ecótipos” de *Sarcocornia fruticosa*, cultivados em soluções salinas com teores de 25-100% da água do mar (Ventura *et al.* 2011a). Conforme foi destacado, a altura do caule é uma característica de interesse agrônomo para seleção de variedades de *Sarcocornia* vendidas como “asparago marinho”. Ganhos no investimento caulinar em programas de melhoramento são citados por Zerai *et al.* (2010), após 5 anos de selecionamento de *Salicornia bigelovii* nos Estados Unidos e na Eritrea (África), onde foram obtidas variedades com 44% mais biomassa de caules do que de sua progênie-f2.

Todas as progênes de *S. ambigua* estudadas no experimento 2014 apresentaram um grande investimento na formação de ramificações primárias dos caules, cujos valores médios variaram de 1,6 ramos semana<sup>-1</sup> (BTH1-f4) a 2,0 ramos semana<sup>-1</sup> (BTH2-f3), enquanto no experimento 2015 estiveram na faixa de 1,1 ramos semana<sup>-1</sup> (BTH1-f4) a 1,7 ramos semana<sup>-1</sup> (BTH1-f3). Plantas de 3 ecótipos de

*Sarcocornia fruticosa* cultivadas em Israel (Agawu 2012) produziram em média 10 ramos planta<sup>-1</sup> após 16 semanas crescendo em 100 mM NaCl, valor este 67,1 a 76,0% menor do que as progênes de *S. ambigua* do experimento 2014, e 79,5 a 82,2% menor do que as progênes no experimento 2015. *Sarcocornia perennis* produziu valores de formação de ramos semelhantes aos de *S. ambigua*, após 6 semanas de crescimento em solo saturado não salinizado (1,9 ramos semana<sup>-1</sup>) e a 35 g NaCl L<sup>-1</sup> (1,1 ramos semana<sup>-1</sup>) (Adams & Bate 1994), demonstrando que espécies de *Sarcocornia* tendem a reduzir sua taxa de ramificação, a medida que aumenta a salinidade. No caso do experimento 2015, a média de condutividade elétrica do solo foi cinco vezes maior do que a do primeiro cultivo (média global  $\pm$  erro padrão= 1,8  $\pm$  0,5 cm semana<sup>-1</sup>), podendo ter sido um fator que influenciou no decréscimo desta taxa (global= 1,4  $\pm$  0,1 cm semana<sup>-1</sup>, T2= 1,4  $\pm$  0,1 cm semana<sup>-1</sup>, T4= 1,3  $\pm$  0,1 cm semana<sup>-1</sup>). Outro atributo importante é a taxa do comprimento da maior ramificação, quantificada somente no experimento 2015, a qual foi similar entre todas as progênes, com uma média global de 0,9 cm semana<sup>-1</sup>; este valor foi 56% maior do que *S. perennis* em 35 g NaCl L<sup>-1</sup> (Adams & Bate 1994). Consequentemente, o maior comprimento e alto número de ramificações das progênes BTH2 são características de interesse agrônômico, pois ramos com tamanho comercial podem ser processados da mesma forma que os caules principais, vendidos in natura e/ou industrializados como pickles. Adicionalmente, dados de desenvolvimento do caule principal e dos ramos de *S. ambigua* demonstram um maior vigor desta planta do que de outras espécies comercialmente avaliadas de *Sarcocornia* na Europa e Oriente Médio.

Desde o início do programa de seleção de *S. ambigua*, a linhagem BTH2 vem sendo escolhida pelo seu maior desenvolvimento vegetativo do caule, tendo este processo resultado em uma maior formação de biomassa de caule, como também em uma maior alocação na biomassa caulinar em relação a biomassa de raízes, particularmente BTH2-f4, que em média investiu 88,7% da biomassa produzida em caules (contra 75,7-77,6% nas progênes BTH1) (Figura 4F). Da mesma forma, a biomassa fresca caulinar no experimento 2015 foi significativamente maior na linhagem BTH2 e apresentou consistência entre gerações f3 e f4. Adicionalmente, Greis (2009) observou uma maior variabilidade na alocação aérea da progênie-f1 das linhagens do presente estudo, que foi entre 70-85% da biomassa total, em cultivo com condições semelhantes de canteiro e irrigação salina. Apesar de ser uma planta perene, *S. ambigua* demonstra uma alta proporção de biomassa alocada para biomassa

de caule, o que constitui uma característica de interesse agrônômico pelo valor agregado aos seus caules e sementes. Os resultados acima demonstram que o programa de selecionamento desta espécie gerou progênies capazes de um investimento maior e mais homogêneo em biomassa de caules, destacando-se a linhagem BTH2.

Outra tipificação das linhagens foi diferenças significativas na alocação da produção para formação de biomassa reprodutiva (segmentos reprodutivos). Nas condições ótimas de 2015 (veja seções abaixo), plantas BTH2 apresentaram alocação reprodutiva inferior a 40% da biomassa aérea e menor do que as BTH1 (cerca de 60% em T2). Os valores anteriormente apresentados reforçam a interpretação do marcado investimento vegetativo caulinar ser uma das principais características genéticas das plantas da linhagem BTH2. Por outro lado, o alto investimento reprodutivo de BTH1 também é uma característica de interesse agrônômico, visto que a biomassa de caules reprodutivos (com sementes) de *S. ambigua* pode ser matéria-prima para produção de óleo comestível e biocombustível (D'Oca *et al.* 2012, Costa *et al.* 2014a).

A média global dos valores de biomassa fresca individual de caules das 4 progênies cultivadas de *S. ambigua* variou de acordo com as condições de cultivo. Esta média correspondeu a 18,5 g após as 17 semanas de cultivo em uma situação subótima (excesso de umidade no solo/período inverno) no experimento 2014, mas atingiu o valor de 138,3 g após as 22 semanas em condição mais favoráveis do experimento 2015.

A biomassa média do experimento 2014 foi relativamente pequena em comparação com cultivos anteriores de *S. ambigua* com irrigação salina (6-55 dS m<sup>-1</sup>) em canteiros (48 g após 15 semanas; Costa 2006, 430 g após 14 semanas; Greis 2009, 653 g após 24 semanas; Costa *et al.* 2014b), o que foi aparentemente relacionado ao plantio tardio (veja seção 5.2). Contrastantemente, o experimento 2015 produziu 86,6% mais biomassa do que experimento 2014, sendo que a média deste segundo experimento pode ser classificada como intermediária em relação aos cultivos anteriores desta espécie. Analisando os dados de todos os cultivos citados, os melhores desenvolvimentos ocorreram em umidades do solo médias próximas a 6-8%, tanto em neossolo (Greis 2009, Costa 2011) como em argissolo (Costa *et al.* 2014b). A manutenção por longo período de umidade no solo próxima da saturação (*i.e.* Experimento 2014) parece inibir o desenvolvimento da planta, possivelmente em função do estabelecimento de condições hipóxicas e/ou acúmulo de compostos

tóxicos resultantes do metabolismo de micro-organismos anaeróbicos. Esta condição de saturação se estabeleceu devido à impermeabilização do fundo dos canteiros com geomembrana. *S. ambigua* é uma espécie que cresce em zonas entremarés média e alta das marismas (Costa 2006), onde as plantas estão sujeitas a várias horas de exposição diária a inundação em seu habitat natural.

Adicionalmente, o baixo desempenho de *S. ambigua* pode ter sido relacionado a baixa salinidade média do solo durante o cultivo 2014 ( $2,5 \text{ dS m}^{-1} \approx 1,7 \text{ g NaCl L}^{-1}$ ). O crescimento subótimo do aspargo marinho comercial *S. bigelovii* em solução hidropônica com baixa salinidade ( $6-10 \text{ mM NaCl} \approx 0,3-0,6 \text{ g NaCl L}^{-1}$ ) foi relacionada a uma reduzida absorção de Na por Kong & Zheng (2014). Apesar da variação entre experimentos, a produção de biomassa das progênies do presente estudo foi superior as 3-4 g de biomassa fresca para plantas de *Sarcocornia fruticosa* cultivadas por 8 semanas em teores de 50-75% da água do mar (Ventura *et al.* 2011a), bem como as 2-10 g de biomassas frescas de plantas *Salicornia dolichostachya* cultivadas em estufas por 6-10 semanas em salinidades de 200 a 300 mM NaCl ( $\approx 20-30 \text{ dS m}^{-1}$ ; Katschnig *et al.* 2013, Singh *et al.* 2014). Estes resultados apontam para um ótimo potencial produtor de *S. ambigua* sob irrigação salina.

## 5.2. Início da floração e período reprodutivo

A percentagem de plantas de *S. ambigua* que florescem apresentou grande variação no experimento 2014 (10% a 85%), no qual BTH2-f3 foi a progênie com mais plantas florescendo e poucas plantas BTH1-f4 iniciando sua floração até o final do cultivo. Enquanto no experimento 2015, não ocorreu diferenças entre as progênies e todas apresentaram alta percentagem de floração (80-100%).

O tempo para o início da floração entre as progênies de *S. ambigua* nos experimento 2014 (6,2 a 7,7 semanas após o plantio) e 2015 (12,6 a 16,7 semanas após o plantio) foram, respectivamente de 3 e 1 vez inferior ao de plantas nativas desta espécie em marismas no sul do Brasil, que quando germinadas em agosto florescem em fevereiro do ano seguinte após 25 semanas (Azevedo 2000). O tempo até o início da floração nos experimentos 2014 e 2015 foram, respectivamente de quase 2 vezes inferior e similar ao de programas de melhoramento da halófito comercial *S. bigelovii* na Eritreia (16,6 semanas; Zerai *et al.* 2010). Estas diferenças, podem ter sido ocasionadas pelo uso de mudas com 25 semanas (pré-germinadas), e a

resposta agravada no experimento 2014 pelo plantio tardio no canteiro (fevereiro), após o qual ocorreu um decréscimo do fotoperíodo de 13 a 10 horas (coleta em junho). Ventura *et al.* (2011b) constataram que a redução do fotoperíodo estimula o florescimento de espécies de *Salicornia* e *Sarcocornia*, bem como a inibição da floração (por manutenção de fotoperíodos longos ou podas dos caules) pode maximizar o crescimento vegetativo de espécies destes gêneros. Conseqüentemente, o curto período de crescimento antes da floração e o pequeno desenvolvimento vegetativo das plantas no experimento 2014 parecem ter sido, em parte, um artefato do plantio tardio.

O período de floração foi avaliado somente no experimento 2014, pois as plantas do experimento 2015 foram coletadas antes de terminar o período de floração/frutificação. Em 2014, a progênie BTH1-f3 apresentou o menor período de floração (tempo entre o início da floração e o início frutificação) que correspondeu a 4,5 semanas. Nas marismas do sul do Brasil, plantas de *S. ambigua* originadas da germinação de sementes em agosto floresceram em fevereiro do ano seguinte (idade de  $\approx$  25 semanas) e têm um período de floração de aproximadamente 20 semanas (Azevedo 2000). Este valor é 3 vezes maior do que o período de floração da progênie BTH1-f3 e 1-1,3 vezes maior do que na linhagem BTH2 cultivada em canteiros. O período de floração na linhagem BTH2 (8-10 semanas) mais extenso do que BTH1, possivelmente esta associado ao elevado investimento vegetativo e ao aparente antagonismo destes dois processos em *Sarcocornia* (Zerai *et al.* 2010, Ventura & Sagi 2013). Estudos mais detalhados da biologia reprodutiva de *S. ambigua* poderão avaliar esta hipótese de antagonismo entre precocidade reprodutiva e o desenvolvimento vegetativo das plantas.

### 5.3. Suculência

As progênies de *S. ambigua* apresentaram uma suculência média nos experimentos de 2014 e 2015 de, respectivamente, 85,8% e 81,3% de água. Este valor é próximo ao observado em plantas selvagens de *S. ambigua* no Brasil (88,2-88,6%; Bertin *et al.* 2014) e na Venezuela (84,5%; Medina *et al.* 2008), e até mesmo na progênie-f1 das linhagens estudadas (84,6%; Greis 2009). Entretanto, a suculência de *S. ambigua* foi inferior aos 95% de água encontrada em plantas de *Sarcocornia fruticosa* da Espanha (Redondo-Gómez *et al.* 2006). Agawu (2012) também citou

suculências acima de 80% para plantas de *Sarcocornia persica* irrigadas com águas salinas (entre 100-200 mM NaCl). Todas as plantas do gênero *Sarcocornia* são suculentas e elas podem aumentar o seu teor de água nas células quando crescem em alta salinidade (Flowers *et al.* 1986, Adam & Bate 1994). A suculência é um mecanismo adaptativo para sobrevivência em condições de estresse salino, que resulta principalmente da compartimentalização dos íons de Na<sup>+</sup> no vacúolo e diluição dos mesmos por incorporação de água nesta estrutura (Flowers *et al.* 1986, 2010, Glenn & Brown 1999, Rozema & Schat 2013) e também podem estar associadas ao aumento na espessura das paredes das células da epiderme e cutícula (Flowers *et al.* 1986). A suculência dos caules de espécies dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* é uma característica atrativa como vegetal gourmet, levando frequentemente a comparação das mesmas ao aspargo (Ventura & Sagi 2013), sendo que, por exemplo, o *Asparagus officinalis* contém cerca de 92% de água em seus caules (Bratsch 2014). O processo de seleção das progênies de *S. ambigua* não influenciou esta característica de interesse econômico.

#### 5.4. Composição mineral das progênies

No experimento 2014, as concentrações de macro e microelementos na biomassa de *S. ambigua* foram significativamente maiores na linhagem BTH1 (Tabela 3), se destacando BHT1-f4, cujos caules contiveram as maiores concentrações de N, P, Cu, Zn, Fe e Mn, sendo o N dos caules de BTH1 42,3% maior da linhagem BTH2. A composição das raízes de BTH1 também apresentou teores significativamente maiores de N (somente de BTH1-f4) e Mg do que a linhagem BTH2. Diferentemente, BTH2 apresentou no experimento 2015 os teores caulinares de P e Mg significativamente maiores do que a linhagem BTH1, enquanto os microelementos Cu e Fe permaneceram mais concentrados nos caules da linhagem BTH1, respectivamente, superiores em 54% e 25%. De forma geral, as linhagens de *S. ambigua* demonstraram-se diferenciadas não apenas quanto ao crescimento vegetativo (maior em BTH2), mas também quanto ao acúmulo de minerais em seus caules (maior em BTH1). Antagonicamente, estas diferenças entre linhagens nos teores de minerais não foram marcadas ou não foram observadas na biomassa subterrânea (veja Discussão abaixo). O conteúdo mineral caulinar pode ter sido menor em BTH2 devido a um efeito de diluição dos minerais na maior quantidade produzida de

biomassa de seus caules (*sensu* Smillie *et al.* 2015). Já para o teor de minerais nas raízes, a maior homogeneidade das biomassas subterrâneas resultou em valores mais semelhantes entre linhagens.

Os maiores teores de N em plantas da linhagem BTH1 apontaram para um maior potencial na nutrição animal desta linhagem, quando sujeita a alto regime de irrigação (*e.g.* experimento 2014), particularmente para suplementação proteica. Esta diferenciação entre as linhagens não foi observada no experimento 2015, devido às progênes apresentarem um padrão similar de acúmulo deste elemento. Indicando que, as linhagens de *S. ambigua* submetidas à condição de crescimento subótima e altos teores de nutrientes podem desenvolver diferenciação no acúmulo de nitrogenados em seus tecidos; no experimento 2014 ocorreram 4 irrigações diárias com efluente resultando em um aporte muito maior de fosfato e nitrogenados no canteiro do que no experimento 2015. Os teores médios de N e K nos caules de *S. ambigua* foram muito próximos, um pouco mais alto no experimento 2014 (19,30-19,62 g Kg<sup>-1</sup> PS) do que no experimento 2015 (N = 14,4 g Kg<sup>-1</sup> PS). Estes valores são, de forma geral, maiores do que os observados em caules de *S. ambigua* em marismas da Venezuela (Sin. *Sarcocornia perennis*; N= 15,4 g Kg<sup>-1</sup> PS e K= 9,7 g Kg<sup>-1</sup> PS; Medina *et al.* 2008), bem como os teores de K de plantas cultivadas em água do mar fertilizada com lodo orgânico de viveiros da carcinicultura (15,8 g Kg<sup>-1</sup> PS; Bertin *et al.* 2014). Gorham & Gorham (1955) encontram 15 e 26 g N Kg<sup>-1</sup> PS, respectivamente, em caules de *Salicornia perennis* e *Salicornia stricta* de uma marisma no leste da Inglaterra. Estes teores caulinares foram superiores ao descrito para espécies comercializadas de Amaranthaceae como o aspargo-marinho *S. bigelovii* (15,2 g K Kg<sup>-1</sup> PS; Lu *et al.* 2010) e o espinafre *Spinacia oleracea* (11,6 g N Kg<sup>-1</sup> PS e 7,0 g K Kg<sup>-1</sup> PS; Sheikhi & Ronaghi 2012). Entretanto os valores observados de N e K de ambos os experimentos não superam os observados em algumas hortaliças como o aspargo *A. officinalis* (respectivamente, 53,0 e 32,8 g Kg<sup>-1</sup> PS; Makus 1994) ou espécies da forrageira halófito *Atriplex* crescendo em solos salinos da Austrália (15-32 g K Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013).

O teor caulinar de P das plantas que apresentaram o melhor desempenho nos experimentos 2014 e 2015, respectivamente de BTH1-f4 e BTH2-f3, foram de 0,4 a 2 vezes maior do que os observados em *S. ambigua* de marismas da Venezuela (1,0 g Kg<sup>-1</sup> PS; Medina 2008), *S. bigelovii* (1,6 g Kg<sup>-1</sup> PS; Lu *et al.* 2010) e espécies de *Atriplex* (1,4-2,2 g Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013). Entretanto algumas hortaliças (7,6 g

Kg<sup>-1</sup> PS; *S. oleracea*, Sheikhi & Ronaghi 2012, 7,8 g Kg<sup>-1</sup> PS; *A. Officinalis*, Makus 1994) podem ter maiores teores caulinares de P do que *S. ambigua* de ambos os experimentos.

Os teores caulinares de Ca em *S. ambigua* estiverem numa escala similar aos de Mg no experimento 2014, entretanto em 2015 foram observados valores um pouco menores de Ca. Devido a grande necessidade de Ca para construção estrutural da parede celular e balanço metabólico (Kerbaui 2008), a redução dos teores caulinares deste mineral em 2015 parece ter sido relacionada a um maior desenvolvimento das plantas em T4. Os teores de Ca decrescem do máximo valor médio de 2014 em BTH2-f4 (9,5 g Ca Kg<sup>-1</sup> PS) na sequência Experimento 2014 > T2 Experimento 2015 > T4 Experimento 2015, inversamente relacionada com a altura de caules das plantas do experimento 2015. Estudos anatômicos detalhados poderão testar esta hipótese de relacionamento do grau de calcificação do caule com a diferenciação dos hábitos morfológicos entre as progênies estudadas. As concentrações médias de Ca nos caules em *S. ambigua* dos experimentos foram 0,2-3 vezes maiores do que anteriormente citadas para *S. ambigua* (2,4 g Kg<sup>-1</sup> PS, Medina 2008; 4,6 g Kg<sup>-1</sup> PS, Bertin *et al.* 2014) e *S. bigelovii* (5,4 g Kg<sup>-1</sup> PS, Lu *et al.* 2010). Os teores observados de Ca são intermediários entre os de hortaliças (2,1-12,5 g Kg<sup>-1</sup> PS; Makus 1994, Sheikhi & Ronaghi 2012) e de espécies de *Atriplex* (5,6-8,2 g Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013).

Maiores valores médios de Mg nos caules de BTH1-f4 foram também observados no experimento 2015 (1 vez maior do que no experimento 2014). O Mg é um elemento principalmente encontrado associado as moléculas de clorofila (Kerbaui 2008), a iluminação dos cloroplastos provoca indução ao aumento no teor deste elemento (Portis & Heldt 1976). As maiores concentrações nos caules podem ser indicativo de uma melhor condição de desenvolvimento para a planta e/ou maiores intensidades luminosas sendo colhidas pelos caules. Conseqüentemente, é esperado maiores teores de Mg nas melhores condições de crescimento do experimento concluído no final do verão de 2015. Estes teores de Mg também foram entre 0,4 a 1,3 vezes maiores do que em plantas de *S. ambigua* da Venezuela (6,9 g Kg<sup>-1</sup> PS; Medina 2008) e do sul do Brasil (11,4 g Kg<sup>-1</sup> PS; Bertin *et al.* 2014), ou mesmo teores de 10,2-10,3 g Kg<sup>-1</sup> PS quantificados em *S. bigelovii* (Lu *et al.* 2010) e *Atriplex amnicola* (Norman *et al.* 2013). O Mg nos caules de *S. ambigua* pode superar em 3-7 vezes o em vegetais gourmets, tais como *A.officinalis* (2,0 g Kg<sup>-1</sup> PS; Makus 1994) e *S. oleracea* (4,3 g Kg<sup>-1</sup> PS; Sheikhi & Ronaghi 2012).



Todas as progênies de *S. ambigua* cultivadas no efluente salino apresentaram altos teores de elementos metálicos. Os teores teciduais destes elementos em espécies dos gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* são diretamente dependentes de concentrações do solo/da água de irrigação, sendo suas espécies importantes bioindicadoras ou bioacumuladoras de metais (Luque *et al.* 1999, Curado *et al.* 2014, Smillie 2015). Desta maneira, grandes variações nos teores de metais são citados na literatura e níveis tóxicos destes elementos podem ser observados em plantas de algumas localidades.

Os teores médios de Fe nos caules de *S. ambigua* dos experimentos 2014 e 2015 foram, respectivamente, 94-287% e 144-388% superiores aos citados para *S. perennis*, *Salicornia stricta* (50-90 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Gorham & Gorham 1955), *S. bigelovii* (86,4 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Lu *et al.* 2010) e *A.officinalis* (99,9 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Makus 1994). Entretanto, teores semelhantes e até maiores podem ser observados em caules de *S. oleracea* (249,1 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Sheikhi & Ronaghi 2012) ou folhas de *Atriplex* em campos australianos (183-415 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013). Valores extremamente altos de Fe são indicativos de solos enriquecidos com metais, como os citados para caules *S. perennis* e *Salicornia ramosissima* das marismas do Sudoeste da Espanha (2324 mg Kg<sup>-1</sup> PS e 2829 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Luque *et al.* 1999) e para *Salicornia* spp em seu pico de crescimento de verão no estuário do Rio Fal, no leste da Inglaterra (1612,6 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Smillie 2015). Cabe ressaltar que, em ambos os experimentos a linhagem BTH1 acumulou mais Fe do que a linhagem BTH2.

As médias caulinares de Mn dos experimentos (99,3-122,3 mg Kg<sup>-1</sup> PS) foram maiores do que em caules de *S. stricta* do leste da Inglaterra (60 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Gorham & Gorham 1955), *S. perennis* (20-81,2 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Gorham & Gorham 1955, Luque *et al.* 1999) e da hortaliça *A.officinalis* (21,4 mg Kg<sup>-1</sup>; Makus 1994). Os teores de Mn nos caules de *S. ambigua* foram próximos e um pouco maiores do que *S. ramosissima* (100 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Luque *et al.* 1999) e da hortaliça *S. oleracea* (104,8 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Sheikhi & Ronaghi 2012), mas inferiores ao da *Salicornia* spp de marismas da Inglaterra (228,6 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Smillie 2015) e de *Atriplex amnicola* (186 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013).

Os teores de Cu e Zn foram inferiores aos citados para plantas cultivadas de *S. bigelovii* (respectivamente, 7,9 e 35,0 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Lu *et al.* 2010), *A. officinalis* (18 e 77,3 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Makus 1994) e *S. oleracea* (9,9 e 108,6 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Sheikhi & Ronaghi 2012). Exceto para o teor de Cu no experimento 2015 (9,4 mg Kg<sup>-1</sup> PS) que

foi 19,1% maior do que o valor acima citado para *S. bigelovii*. Em solos de marismas contaminados com metais em marismas da Europa, Luque *et al.* (1999) encontraram teores de 89,4 mg Cu Kg<sup>-1</sup> PS e 203,0 mg Zn Kg<sup>-1</sup> PS em caules de *S. perennis* e 279 mg Cu Kg<sup>-1</sup> PS e 348 mg Zn Kg<sup>-1</sup> PS em *S. ramosissima*. Smillie (2015) cita valores de 84,1 mg Cu Kg<sup>-1</sup> PS e 330,4 mg Zn Kg<sup>-1</sup> PS para *Salicornia* spp, enquanto Curado *et al.* (2014) relataram teores de 166,6 mg Cu Kg<sup>-1</sup> PS e 193 mg Zn Kg<sup>-1</sup> PS em caules de *S. perennis*. Estes dois últimos valores citados foram maiores 793,3-5042,0% para o Cu e 869,4-1620,7% para o Zn do que as médias, respectivamente, dos experimentos 2014 e 2015. Adicionalmente, o teor de Zn de ambos os experimentos com *S. ambigua* foram intermediários ao quantificado em de *Atriplex* spp (18,2-32,6 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Norman *et al.* 2013).

As raízes representaram 18-34% da biomassa das progênes cultivadas de *S. ambigua* e um componente nutricional potencial para suplementação da alimentação humana e animal. Não foram encontrados dados na literatura da composição mineral das raízes de *S. ambigua*, entretanto, o teor de N foi 115% maior em raízes de *S. europaea* (28 g Kg<sup>-1</sup> PS; Ushakova *et al.* 2005), cultivadas com solução nutritiva a 20 g NaCl L<sup>-1</sup>, do que BTH1-f4 (11,4 g Kg<sup>-1</sup> PS). As raízes de *S. europaea* também apresentaram maiores concentrações de P (6,0 g Kg<sup>-1</sup> PS; Ushakova *et al.* 2005) do que BTH1-f4, já os teores de K e Ca em raízes destas foram intermediários entre os citados para *S. europaea* (Ushakova *et al.* 2005, Eslamzadeh 2006), enquanto que o teor de Mg desta espécie (1,8-2 g Kg<sup>-1</sup> PS) foi menor do que em BTH1-f4 (2,7 g Kg<sup>-1</sup> PS).

Os teores de Fe (528,5-3204 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Eslamzadeh 2006, Milić *et al.* 2012, Smillie 2015), Mn (59,9-238,8 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Milić *et al.* 2012, Smillie 2015) e Zn (21,6-720,2 mg Kg<sup>-1</sup> PS; Eslamzadeh 2006, Milić *et al.* 2012, Smillie 2015) de *S. europaea* foram menores do que BTH1-f4 (3810,2 mg Fe Kg<sup>-1</sup> PS, 430,6 mg Mn Kg<sup>-1</sup> PS e 32,3 mg Zn Kg<sup>-1</sup> PS). Todos os estudos com *S. europaea* apresentaram maiores teores de Cu (12,5-1954 mg Kg<sup>-1</sup> PS) em comparação a *S. ambigua* (7,8 mg Kg<sup>-1</sup> PS). *Salicornia* spp de marismas (Smillie 2015) também apresentaram altas concentrações de Cu (906,7 mg Kg<sup>-1</sup> PS), bem como elevados teores de Mn (780,3 mg Kg<sup>-1</sup> PS), Zn (1506,6 mg Kg<sup>-1</sup> PS) e Fe (11749,9 mg Kg<sup>-1</sup> PS) no pico do crescimento. Os teores minerais analisados nas raízes de BTH1-f4 foram inferiores aos de vários tubérculos gourmet, como *Daucus carota*, *Beta vulgaris*, *Pastinaca sativa* e *Brassica rapa* subsp. *rapa* (Mayer 1997). Estes tubérculos apresentaram concentrações maiores de Ca

(135,3-728,0%), P (429,0-1575,9%), K (1172,1-2328,5%), Mg (7,7-307%) e Cu (45,2-208,6 %) do que BTH1-f4.

Contrastantemente, *S. ambigua* demonstrou uma acumulação de Fe e Mn nas raízes. O teor de Fe foi 18,9-621% maior concentração do que as espécies anteriormente citadas (exceto *Salicornia* spp de Smillie 2015). O elevado teor de Fe nas raízes, também foi evidenciado em *S. perennis* de um estuário contaminado por metais (Curado *et al.* 2014), o qual foi 578% (25833 mg Kg<sup>-1</sup>) maior do que em BTH1-f4 (3810,2 mg Kg<sup>-1</sup> PS). Este estudo último revelou que o gênero *Sarcocornia* apresenta grande capacidade de concentração de metais em suas raízes, particularmente o Fe. Anteriormente, Luque *et al.* (1999) relatou a mesma tendência de acúmulo de metais, principalmente o Fe, em caules de *Sarcocornia fruticosa*. Altos teores de Mn (até 655,9 mg Kg<sup>-1</sup> PS) também foram observados em BTH2, porém Smillie (2015) registra, no ápice da estação de crescimento de *Salicornia* spp., um teor ainda maior de Mn.

#### 5.5. Desenvolvimento e composição mineral das progênies frente a diferentes tratamentos de irrigação salina

O regime de irrigação salina teve efeitos pequenos, mas significativos em parâmetros biométricos de *S. ambigua*, tais como altura final, o tempo até o início da floração e a suculência. Entretanto, todos estes atributos são de grande importância para a produção e comercialização da espécie.

O espaçamento do período de irrigação (T4) e manutenção de umidades no solo abaixo do ponto de saturação, resultou em uma maior diferenciação entre as linhagens, com BTH2 (particularmente BTH2-f4) apresentando maior crescimento em altura (+16,4%) do que BTH1. Similarmente, no estudo de Woo & Takekawa (2012), *Sarcocornia pacifica* cultivada com inundações diárias de 25% (6h), 50% (12 h), 75% (18h) e 100% (24h) em diferentes salinidades (0, 10, 20 e 30 psu) apresentou maior altura na menor inundação diária.

Sob aparente melhor condição de crescimento em T4, plantas da linhagem BTH2, que possuem um tempo para início da floração caracteristicamente maior do que BTH1, prolongaram mais ainda este período de crescimento exclusivamente vegetativo. O adiamento da floração por espécies de *Sarcocornia* sob influência de fatores que estimulam o desenvolvimento vegetativo foi demonstrado por Ventura *et*

*al.* (2011b), através de podas dos caules principais e ramificações. O corte do caule elimina a dominância apical, ou seja, a inibição hormonal por estruturas vegetativas já desenvolvidas do brotamento de botões germinativos, localizados nos entrenós do caule, que poderiam dar origem a novas ramificações. Os ramos recém-brotados de botões germinativos monopolizam recursos, que não podem ser investidos na formação de estruturas reprodutivas, mesmo se condições ótimas de fotoperíodo estejam disponíveis (Ventura *et al.* 2011b). Consequentemente, a diferenciação no desenvolvimento das linhagens BTH1 e BTH2 foram expressas de forma mais marcante com o estabelecimento de condições ótimas de crescimento para *S. ambigua*.

Poucas características nutricionais das progênies de *S. ambigua* foram afetadas pelo experimento de irrigação, demonstrando o alto grau de adaptação desta espécie ao estresse hídrico/salino. A maioria das espécies glicófitas e mesmo muitas halófitas quando submetidas as mesmas condições de condutividade elétrica do solo e altos teores de NaCl seriam levadas um desbalanço iônico (Flowers *et al.* 2010, Ventura *et al.* 2011a, Rozema & Schat 2013). O espaçamento do período entre regas resultou na diminuição na suculência das plantas e em concentrações significativamente menores dos minerais Ca, Cu e Mn nos caules de *S. ambigua*, mas particularmente de BTH2-f3. Adicionalmente, o teor caulinar de N aumentou com o espaçamento da irrigação (T4).

A menor umidade e maiores teores salinos no canteiro T4 (*e.g.* verão-outono) podem ter levado as diferenças nos teores de Ca e N nos caules entre tratamentos de irrigação. Os teores de Ca e K nos caules de *Salicornia europaea* (Zheng *et al.* 2009) reduzem com o aumento da salinidade de cultivo. Estes elementos foram mantidas nas raízes das plantas, levando a estes autores concluírem que Ca e K estão fortemente envolvidos com a homeostase iônica das células da raiz. Os dados do experimento 2014 mostram que plantas BTH2 mantêm altos teores de Ca em suas raízes, sugerindo um mecanismo de preservação (alocação) dos teores de Ca nas raízes em solo salino, em detrimento de flutuações deste elemento nos caules possa também ocorrer em *S. ambigua*. Quanto ao N, sob estresse salino, tanto espécies de *Salicornia* (Davy *et al.* 2001) como de *Sarcocornia* (Davy *et al.* 2006), produzem e acumulam compostos nitrogenados de baixo peso molecular (marcadamente glicina-betaina), principalmente em cloroplastos (Duarte *et al.* 2014), permitindo um equilíbrio osmótico intracelular com o vacúolo, onde é compartimentada uma grande quantidade de NaCl (Glenn &

Brown 1999, Zheng *et al.* 2009, Ventura *et al.* 2011a, Duarte *et al.* 2014). Conseqüentemente, o aumento do teor de N nos caules de plantas do canteiro submetido ao maior estresse hídrico (*i.e.* T4) era esperado.

Quanto aos teores de Cu e Mn, menores teores podem ser o resultado do menor aporte (*via* carga de efluente) e acúmulo destes elementos no canteiro T4. Smillie *et al.* (2015) mostraram que o teor de Cu nos caules de *Salicornia* spp é diretamente relacionado aos teores no sedimento. Entretanto, estes mesmos autores destacam que, durante o período de rápido crescimento vegetativo da pré-frutificação, metais menos essenciais ou não essenciais, como o Cu, Fe e Mn, poderiam ser diluídos pela expansão do tecido. Devido ao maior crescimento de *S. ambigua* em T4, este processo de diluição pode ter sido mais marcado, levando as diferenças entre tratamentos de irrigação. Como as concentrações de Cu e Mn nos solos dos canteiros não foram quantificadas, a hipótese de diferenças entre as linhagens BTH1 e BTH2 na assimilação destes elementos não pode ser testada. Estudos fisiológicos sob condições controladas devem ser realizados para esclarecer as causas destes resultados.

#### 5.6. Potencial nutricional da *S. ambigua* para dieta humana e de animais

A comparação da composição mineral de *S. ambigua* em ambos os experimentos com valores recomendados a dieta humana (IOM 2005, 2011) e de animais de criação como ovelhas (NRC 1985, Norman *et al.* 2013, Lee 2014) e peixes (NRC 1993), apresentados na Tabela 5, Figuras 7 e 8, confirmam a alta qualidade nutricional das progênies cultivadas em efluentes salinos. Anteriormente, já havia sido destacada para *S. ambigua* a presença de compostos orgânicos bioativos (Costa *et al.* 2006, EPAGRI 2008, Bertin *et al.* 2014) e quantificados elementos minerais e ácidos graxos nos caules desta planta (Bertin *et al.* 2014, Costa *et al.* 2014a).

Apesar de não ter sido quantificado no atual estudo, altos teores de Na são encontrados nos caules de *S. ambigua* (87-139 g Kg<sup>-1</sup> PS; Bertin *et al.* 2014), e uma vez que a ingestão diária recomendada para humanos deste mineral não deveria superar 2 g dia<sup>-1</sup> (WHO 2012), o consumo recomendado diário de caules secos de *S. ambigua* seria de 20 g. Tendo como referência as progênies mais ricas em minerais no experimento 2014 (BTH1-f4) e no experimento 2015 (BTH2-f3 no canteiro T2), 20 g secas de *S. ambigua* é capaz de suprir parcialmente o requerimento para um homem adulto (31-50 anos; IOM 2005, 2011) de N (Experimento 2014-2015; 4-3%), P (9-

7%), K (8%), Ca (17-13%), Mg (33-77%), Cu (7-21%), Zn (3-4%), Fe (48-61%) e Mn (100-86%).

Considerando a nutrição das ovelhas, estes animais usualmente são susceptíveis a deficiências de sais (Norman *et al.* 2013), entretanto o consumo recomendado de sal é de 5-10% da massa seca da dieta, com ingestões acima desta faixa percentual acarretando perda de apetite e baixa taxa de conversão em peso do alimento ingerido (Masters *et al.* 2005). Conseqüentemente, para um macho adulto com cerca de 50 Kg a ingestão diária de sal não deve ultrapassar 75 g (5% da dieta seca) ou cerca de 30 g de Na. Logo, um consumo de 300 g diárias de *S. ambigua* seca pode ser recomendado para ovelhas. No caso dos peixes, a principal restrição nutricional do consumo de *S. ambigua* seca parece ser o alto teor de Mg nos caules das plantas (*e.g.*, progênie BTH2-f3 Experimento 2015). Conforme NCR (1993) ingestões de Mg maiores do que 0,32% do peso da alimentação diária pode ser tóxico para peixes da família Cyprinidae, o que para um animal de 500 g representaria o consumo igual ou maior do que 144 mg de Mg. Logo, até 8 g de matéria seca de BTH2-f3 poderiam ser consumidas diariamente por peixes de 500 g. A seguir serão discutidos aspectos específicos de cada mineral em relação a ingestão acima recomendada de *S. ambigua*.

O N é um dos elementos essenciais para o homem e outros animais, cujo consumo de *S. ambigua* pode ajudar a suprir parcialmente suas necessidades diárias, sendo este elemento o principal componente das proteínas após o carbono, em plantas e animais, bem como constitui 3% do peso do corpo humano (McGuire & Beerman 2013). A princípio, a ingestão diária de 8 g e 300 g de *S. ambigua* poderia contribuir com, respectivamente, 4-6% do N requerido por um peixe e 24-32% do N necessário para uma ovelha. Em halófitas, parte do nitrogênio não está associada a proteínas estruturais e enzimas, mas a nitrato concentrado no vacúolo e compostos nitrogenados, sintetizados no citosol para osmorregulação, incluindo glicina-betaína e prolina (Glenn & Brown 1999). A origem do N no tecido de *S. ambigua* deverá ser investigada para uma melhor avaliação de seu benefício nutricional. Por exemplo, em ruminantes, o consumo diário de nitrato em teores maiores do que 5 g Kg<sup>-1</sup> PS pode ter efeitos tóxicos, enquanto altos teores de glicina-betaína e prolina podem contribuir para saúde animal ou mesmo serem convertidos em proteína desde que haja energia metabólica disponível (Norman *et al.* 2013).

O P é um importante constituinte mineral dos ossos de vertebrados, em

humanos compõe de 80 a 85% dos ossos e dentes e sua deficiência pode contribuir para desenvolvimento de raquitismo e osteomalacia (McDowell 2003). Para todos os organismos o P é utilizado na construção do material genético (DNA e RNA), no armazenamento de energia (ATP), e o consumo de 300 g de caules secos de plantas dos experimentos 2014 e 2015 poderiam atender, respectivamente, a 37% e 29% do requerimento de P para ovelhas, enquanto 8 g destes supririam 7-9% para peixes.

O K é 3º mineral mais abundante no corpo humano, e frequentemente, há necessidade de ser suplementado em algumas dietas para ruminantes (McDowell 2003), sendo que caules secos de *S. ambigua* de ambos os experimentos seriam capazes de atender 78% e 100% das necessidades de K para, respectivamente, ovelhas e peixes. Já os teores de Ca de caules de *S. ambigua* possibilitariam suprir 86% (Experimento 2014) e 63% (Experimento 2015) do requerimento de ovelhas, já para peixes esta percentagem foram menores, correspondendo a respectivamente 46 e 33%. O Ca é o mineral mais abundante de animais vertebrados (1 a 2% do corpo e 99% de ossos e dentes), sua deficiência tem resultado similar ao P (McDowell 2003).

Como comentado anteriormente, *S. ambigua* apresentou altos teores de Mg em seus caules, ingestões diárias recomendadas de 8 g para um peixe e 300 g para uma ovelha poderiam suprir 100% da necessidade deste elemento nesses animais. Em animais monogástricos e humanos as deficiências de Mg são raras, porém em ruminantes a sua deficiência nutricional tem relação com a hipomagnesemia (McDowell 2003).

Quanto aos microelementos, as progênies de *S. ambigua* de ambos os experimentos apresentaram um grande potencial no acúmulo de Fe e Mn. No caso do Fe, ele é acumulado principalmente nas raízes, sendo que 2 g de biomassa seca de raiz (*i.e.* BTH2-f3 no experimento 2014, Tabela 5) seria capaz de suprir 95% do requerimento diário deste mineral para um homem adulto (Tabela 5). A ingestão de caules e raízes de *S. ambigua*, *in natura* ou em cápsulas, poderá contribuir na redução da deficiência de Fe, que é a mais recorrente em humanos dentre os minerais, ocasionando anemia (McDowell 2003), porém são necessários estudos quanto à biodisponibilidade deste elemento em caules de *S. ambigua*. Considerando a ingestão diária recomendada, o teor de Fe de caules de *S. ambigua* poderia suprir em 100% o requerimento de ovelhas e de 23-29% o necessário para peixes. O Mn é um elemento pouco tóxico (via oral) para humanos (WHO 1996). Sua deficiência em animais causa redução do apetite e do crescimento, pode prejudicar o metabolismo do ferro

(McDowell 2003). A inserção recomendada de caules de *S. ambigua* em dietas seria capaz de suprir 100% de Mn necessário para ovelhas e peixes.

O Cu tem geralmente seu requerimento suprido para humanos, devido a pequena quantidade necessária para a ingestão diária (0,9 mg dia<sup>-1</sup>), porém sua deficiência esta associada à anemia e anomalias hematológicas em humanos (Williams 1983). O Cu em excesso é tóxico (WHO 1996), de acordo com a Portaria do Secretário de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (SVS/MS) nº 685/1998 o limite de concentração em vegetais para comercialização corresponde a 10 mg Kg<sup>-1</sup> *in natura* e industrializados. Já a Organização Mundial da Saúde define o limite máximo de ingestão diária em 10 mg (WHO 1996). Contudo, os caules e raízes (Experimento 2014) contiveram teores de Cu abaixo do limite da SVS/MS nº 685/1998. Adicionalmente, os teores de Cu em caules de *S. ambigua* visando dietas animais seriam capazes de suprir de 9-27% de ovelhas e 19-54% de peixes.

A deficiência de Zn em humanos e animais pode resultar na redução do apetite, crescimento letárgico, anormalidades da pele e comprometimento da reprodução (McDowell 2003). Teores de Zn dos caules de *S. ambigua* seriam capazes de suprir cerca de 17-20% do recomendado em dietas de ovelhas e peixes.

## 6. Conclusão

O selecionamento genético por métodos tradicionais de *S. ambigua* (*e.g.* linhagens puras) propiciou a obtenção de progênies com características agrônômicas distintas em um curto prazo de tempo (4 anos). A linhagem BTH2 apresentou um maior desenvolvimento vegetativo e alocação de biomassa para formação de caules, assim como alto teor de minerais em diferentes condições de cultivo (subótima e ótima), tornando esta linhagem ideal a produção vegetal. A linhagem BTH1 produziu plantas com elevado teor de mineral em condições subótimas, bem como demonstrou alta capacidade de acúmulo de microelementos, destacando-se o Fe, além de maior alocação reprodutiva, sugerindo sua potencialidade para produção oleaginosa e em biorremediação de solos contaminados com metais. A prorrogação da frequência de irrigação (T4) teve influência no melhor desempenho de parâmetros como altura, floração, enquanto a maior frequência de irrigação (T2) estimulou o acúmulo de minerais como Ca, Cu e Mn. Contudo, a escolha do melhor manejo de irrigação dependerá do objetivo da produção. Estas linhagens halófitas apresentam-se como



alternativas para a produção de alimentos com efluentes salinos da aquicultura na costa brasileira, reduzindo a contaminação ambiental e melhorando a sustentabilidade dos sistemas aquícolas.

## 7. Referências

ADAMS, JB, BATE, GC. 1994. The effect of salinity and inundation on the estuarine macrophyte *Sarcocornia perennis* (Mill.) A.J. Scott. *Aquat. Bot.*, 47:341-348.

AGAWU, ET. 2012. Comparison between *Salicornia* and *Sarcocornia* ecotypes to optimize yield for vegetable production applying highly saline irrigation. Dissertação de mestrado. Israel: Ben-Gurion University of the Negev, 125 p.

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

AZEVEDO, AMG. 2000. Habitats, associações vegetais e fenologia das plantas das marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos. Dissertação de mestrado. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande. 102 p.

BERTIN, RL, GONZAGA, LV, BORGES, GSC, AZEVEDO, MS, MALTEZ, HF, HELLER, M, MICKE, GA, TAVARES, LBB, FETT, R. 2014. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (Amaranthaceae) using HPLC–ESI-MS/MS. *Food Res. Int.*, 55: 404-411.

BRATSCH, A. 2015. Specialty Crop Profile: Asparagus. Virginia Cooperative Extension publication. 438-102. Disponível em: [http://pubs.ext.vt.edu/438/438-102/438-102\\_pdf.pdf](http://pubs.ext.vt.edu/438/438-102/438-102_pdf.pdf). Acesso em: 28/04/2015.

BROWN, JJ, GLENN, EP, FITZSIMMONS, KM, SMITH, SE. 1999. Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, 175:255-268.

COSTA, CSB. 2006. A salicórnia: uma planta que pode ser utilizada no cultivo

integrado com o camarão. *Panorama da Aquicultura*, 98:28-33.

COSTA, CSB, ARMSTRONG, R, DETRÉS, Y, KOCH, EW, BERTILLER, M, BEESKOW, A, NEVES, LS, TOURN, GM, BIANCIOTTO, OA, PINEDO, LB, BLESSIO, AY, ROMAN, NS. 2006. Effect of ultraviolet-B radiation on salt marsh vegetation: trends of the genus *Salicornia* along the Americas. *Photochem. Photobiol.*, 82: 878-886.

COSTA, CSB. 2011. Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh plants. In: GREIPSSON, S (ed.). *Restoration Ecology*. Sudbury, Jones & Bartlett Learning. 333-338.

COSTA, CSB, VICENTI, JRM, MORÓN-VILLARREYES, J, CALDAS, S, CARDOSO, LV, FREITAS, RF, D'OCA, MGM. 2014a. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 86(2): 935-943.

COSTA, CSB, BONILLA, OH, OLIVEIRA, RD, ALVES, PR, LOPES, EF, LUCAS, DS. 2014b. Influence of different saline irrigation regimes on soil electrical conductivity and crop yield of *Sarcocornia ambigua* in the semi-arid region of NE Brazil. In: II INOVAGRI International Meeting. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada-INOVAGRI. 1:3234-3243.

CURADO, G, GREWELL, BJ, FIGUEROA, E, CASTILLO, JM. 2014. Effectiveness of the aquatic halophyte *Sarcocornia perennis* spp. *perennis* as a biotool for ecological restoration of salt. *Water Air Soil Pollut.*, 225: 1-14.

DAVY, AJ, BISHOP, GF, COSTA, CSB. 2001. Biological flora of the British Isles: *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). *J. Ecol.*, 89: 681-707.

DAVY, AJ, BISHOP, GF, MOSSMAN, H, REDONDO-GÓMEZ, S, CASTILLO,

JM, CASTELLANOS, EM, LUQUE, T, FIGUEROA, ME. 2006. Biological flora of the British Isles: *Sarcocornia perennis* (Miller) A.J. Scott. J. Ecol., 94: 1035-1048.

DAWES, CJ. 1998. Marine Botany. New York, John Wiley & Sons. 480 p.

D'OCA, MGM, MORÓN-VILLARREYES, JA, LEMÓES, JS, COSTA, CSB. 2012. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. An. Acad. Bras. Ciênc., 84: 865-870.

DUARTE, B, SANTOS, D, MARQUES, JC, CAÇADOR, I. 2013. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: Photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback - Implications for resilience in climate change. Plant Physiol. Biochem., 67: 178-188.

DUARTE, B, NOOMENE, S, CAÇADOR, I. 2014. Biophysical and biochemical constraints imposed by salt stress: Learning from halophyte. Front. Plant Sci., 746: 1-10.

EPAGRI. 2008. Panicêutico -Você sabe o que isto significa?. Agropec. Catarin., 21:13.

ESLAMZADEH, T. 2006. *Salicornia europaeae*, a bioaccumulator in Maharloo Salt Lake Region. Int. J. Soil Sci., 1 (1): 75-80.

FLOWERS, TF, HAJIBAGHERI, MA, CLIPSON, NJW. 1986. Halophytes. Q. Rev. Biol., 61(3):313-337.

FLOWERS, TF, GALAL, HK, BROMHAM, L. 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. Funct. Plant Biol., 37:604-612.

FAO. 2014. The State of World's Fisheries and Aquaculture. Opportunities and Challenges. Rome, FAO. 78 p.

FREITAS, RF, COSTA, CSB. 2014. Germination responses to salt stress of two

intertidal populations of the perennial glasswort *Sarcocornia ambigua*. *Aquat. Bot.*, 117: 12-17.

GLENN, EP, MIYAMOTO, S, MOORE, D, BROWN, JJ, THOMPSON, TL, BROWN, P. 1997. Water requirements for cultivating *Salicornia bigelovii* Torr. with seawater on sand in a coastal desert environment. *J. Arid Environ.*, 36: 711-730.

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

GLENN, EP, BROWN, JJ. 1999. Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. *Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. Crit. Rev. Plant Sci.*, 18(2):227-255.

GLENN, EP, ANDAY, T, CHATURVEDI, R, MARTINEZ-GARCIA, R, PEARLSTEIN, S, SOLIZ, D, NELSON, SG, FELGER, RS. 2013. Three halophytes for saline-water agriculture: an oilseed, a forage and a grain crop. *Environ. Exp. Bot.*, 92: 110-121.

GORHAM, AV, GORHAM, E. 1955. Iron, manganese, ash, and nitrogen in some plants from salt marsh and shingle habitats. *Ann. Bot.*, 19(76):571-577.

GREIS, G. 2009. Cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* moq. irrigada com efluente de camarão no clima temperado na costa sul do Brasil. Dissertação de mestrado. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande. 63 p.

HUNT, R. 2003. Growth Analysis, Individual Plants. In: THOMAS, B, MURPHY, DJ, MURRAY, D. (eds.). *Encyclopaedia of applied plant science*. London: Academic Press. 579-588.

IOM. 2005. Dietary reference intakes: Macronutrients. Washington, National Academies Press. Disponível em: [http://www.nal.usda.gov/fnic/DRI/DRI\\_Tables/macronutrients.pdf](http://www.nal.usda.gov/fnic/DRI/DRI_Tables/macronutrients.pdf). Acesso em: 10/10/2015.

IOM. 2011. Dietary reference intakes (DRIs): Recommended dietary allowances and adequate intakes, vitamins. Washington, National Academies Press. Disponível em: [http://www.nal.usda.gov/fnic/DRI/DRI\\_Tables/RDA\\_AI\\_vitamins\\_elements.pdf](http://www.nal.usda.gov/fnic/DRI/DRI_Tables/RDA_AI_vitamins_elements.pdf). Acesso em: 10/10/2015.

KATSCHNIG, D, BROEKMAN, E, ROZEMA, J. 2013. Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: Growth, morphology and physiology. Environ. Exp. Bot., 92:32-42.

KERBAUY, GB. 2008. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 431 p.

KONG, Y, ZHENG, Y. 2014. Potential of producing *Salicornia bigelovii* hydroponically as a vegetable at moderate NaCl salinity. HortScience, 49:1154-1157.

KSOURI, R, KSOURI, WM, JALLALI, I, DEBEZ, A, MAGNÉ, C, HIROKO, I, ABDELLY, C. 2011. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. Crit. Rev. Biotechnol., 1-38.

LIETH, H, AL MANSOOM, AA. 1993. Towards the rational use of high salinity tolerant plants. Vol. 1 Deliberations about High Salinity Tolerant Plants and Ecosystems. Serie: Tasks for vegetation science v 27. Springer. 509 p.

LIETH, H, MOCHTCHENKO, M. 2003. Cash Crop Halophytes: Recent Studies: 10 Years after Al Ain Meeting. Serie: Tasks for Vegetation Science v 38. Springer. 254 p.

LEE, IC. 2014. Sheep Nutrition and Feeding. In: LEE, IC. Animal Nutrition Handbook. Disponível em: <http://www.ag.auburn.edu/~chibale/animalnutrition.html>. Acesso em: 21/01/2015.

LEITE, MS, BARROS, FJA, KHOURY, SH, BONILLA, OH, COSTA, CSB. 2007. Cultivo de plântulas de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. para uso em biorremediação junto a viveiros de criação de camarão. R. bras. Bioci., 5: 297-299.

LU, D, ZHANG, M, WANG, S, CAI, J, ZHOU, X, ZHU, C. 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. LWT-Food Sci. Technol., 43:519-524.

LUQUE, C, CASTELLANOS, EM, CASTILLO, JM, GONZALEZ, M, GONZALEZ-VILCHES, MC, FIGUEROA, ME. 1999. Metals in halophytes of a contaminated estuary (Odiel Saltmarshes, SW Spain). Mar. Poll. Bull., 38 (1): 49-51.

MAKUS, DJ. 1994. Mineral nutrient composition of green and white Asparagus spears. HortScience, 29(12):1468–1469.

MASTERS, DG, RINTOUL, AJ, DYNES, RA, PEARCE, KL, NORMAN, HC, 2005. Feed intake and production in sheep fed diets high in sodium and potassium. Aust. J. Agric. Res., 56: 427-434.

MAYER, AM. 1997. Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables. Brit. Food J., 99:207-211.

MCDOWELL, LR. 2003. Minerals in animal and human nutrition. The Netherlands: Elsevier Science. 644 p.

MCGUIRE, M, BEERMAN, K. 2013. Nutritional Sciences: From Fundamentals to Food. Wadsworth, Cengage Learning. 645 p.

MEDINA, E, FRANCISCO, AM, WINGFIELD, R, CASAÑAS, OL. 2008. Halofitismo en plantas de la costa caribe de Venezuela: halófitas y halotolerantes. Acta Bot. Venez., 31: 49-80.

MILAN, S, STANISLAV, Ž. 2002. Vegetable lipids as components of functional foods. Biomedical papers, 146 (2):3-10.

MILIĆ, D, LUKOVIC, J, ĐAN, M, ZORIC, L, OBREHT, D, VESELIC, S, ANACKOV, G, PETANIDOU, T. 2011. Identification of *Salicornia* population: Anatomical characterization and RAPD fingerprinting. Arch. Biol. Sci., 63(4):1087-1098.

MILIĆ, D, LUKOVIC, J, NINKOV, J, ZEREMSKI-SKORIC, T, ZORIC, L, VASIN, J, MILIĆ, S. 2012. Heavy metal content in halophytic plants from inland and maritime saline areas. *Cent. Eur. J. Biol.*, 7(2):307-317.

NORMAN, HC, MASTERS, DG, BARRETT-LENNARD, E.G. 2013. Halophytes as forages in saline landscapes: Interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. *Environ. Exp. Bot.*, 92:96-109.

NRC. 1985. Nutrient requirements of sheep. Washington, National Academy Press.

NRC. 1993. Requirements of Fish. Washington, National Academy Press.

SHIAU, SY, HSIEH, JF. 2001. Quantifying the dietary potassium requirement of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*). *Br. J. Nutr.*, 85: 213-218.

SVS/MS nº 685/1998. Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos". Brasil, Secretaria de Vigilância Sanitária.

PORTIS, AR, HELDT, HW. 1976. Light-dependent changes of the  $Mg^{2+}$  concentration in the stroma in relation to the  $Mg^{2+}$  dependency of  $CO_2$  fixation in intact chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta*, 449:434-446.

REDONDO-GÓMEZ, S, WHARMBY, C, CASTILLO, JM, MATEOS-NARANJO, E, LUQUE, CJ, CIRES, A, LUQUE, T, DAVY, AJ, FIGUEROA, ME. 2006. Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*. *Physiol. Plant.*, 128: 116-124.

RDC nº 360/ 2003. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados. ANVISA. Brasília, Diário Oficial da União.

ROZEMA, J, SCHAT, H. 2013. Salt tolerance of halophytes, research questions reviewed in the perspective of saline agriculture. *Environ. Exp. Bot.*, 92:83-95.

SHEIKHI, J, RONAGHI, A. 2012. Growth and macro and micronutrients concentration in spinach (*Spinacia oleracea* L.) as influenced by salinity and nitrogen rates. Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci., 3(4):770-777.

SIEGEL, S. 1975. Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 350 p.

SINGH, D, BUHMANN, AK, FLOWERS, TJ, SEAL, CE, PAPENBROCK, J. 2014. *Salicornia* as a crop plant in temperate regions: selection of genetically characterized ecotypes and optimization of their cultivation conditions. AoB PLANTS, 1-20.

SMILLIE, C. *Salicornia* spp. as a biomonitor of Cu and Zn in salt marsh sediments. Ecol. Indic., 56:70-78.

STEFFEN, S, BALL, P, MUCINA, L, KADEREIT, G. 2015. Phylogeny, biogeography and ecological diversification of *Sarcocornia* (Salicornioideae, Amaranthaceae). Ann. Bot., 115: 353-368.

STRECK, EV; KÄMPF, N, DALMOLIN, RSD, KLAMT, E, NASCIMENTO, PC, SCHNEIDER, P, GIASSON, E, PINTO LFS. 2008. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS. 222p.

STRICKLAND, JDH, TR, PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Ottawa: Fishery Research Board Canada. 310p.

TEDESCO, MJ, VOLKWEISS, SJ, BOHNEN, H. 1995. Análise de solo, Plantas e outros Materiais. Porto Alegre, Departamento de Solos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p.

TOLLIFFE, PA, EATON, GW, DOUST, JL. 1982. Sequential analysis of plant growth. New Phytol., 92: 287-296.

UNESCO. 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring.



Paris, Intergovernmental Oceanographic Commission.

USHAKOVA, SA, KOVALEVA, NP, GRIBOVSKAYA, IV, DOLGUSHEV, VA, TIKHOMIROVA, NA. 2005. Effect of NaCl concentration on productivity and mineral composition of *Salicornia europaea* as a potential crop for utilization NaCl in LSS. Adv. Space Res., 36:1349-1353.

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

VENTURA, Y, WUDDINEH, WA, SHPIGEL, M, SAMOCHA, TM, KLIM, BC, COHEN, S, SHEMER, Z, SANTOS, R, SAGI, M. 2011b. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. Sci. Hortic., 130: 510-516.

VENTURA, Y, SAGI, M. 2013. Halophyte crop cultivation: The case of *Salicornia* and *Sarcocornia*. Environ. Exp. Bot., 92: 144-153.

VENTURA, Y, ESHEL, A, PASTERNAK, D, SAGI, M. 2015. The development of halophyte-based agriculture: past and present. Ann. Bot., 115 (3): 529-540.

WILLIAMS, DM. 1983. Copper deficiency in humans. Sem. Hematol., 20(2): 118-128.

WOO, I, TAKEKAWA, JY. 2012. Will inundation and salinity levels associated with projected sea level rise reduce the survival, growth, and reproductive capacity of *Sarcocornia pacifica* (pickleweed)?. Aquat. Bot., 102:8-14.

WHO. 2012. Guideline: Sodium intake for adults and children. Geneva, WHO. 46 p.

ZAR, JH. 2010. Biostatistical analysis. New York, Prentice-Hall. 944 p.

ZERAI, DB, GLENN, EP, CHATERVEDI, R, LU, Z, MAMOOD, AN, NELSON, SG, RAY, DT. 2010. Potential for the improvement of *Salicornia bigelovii* through selective breeding. *Ecol. Eng.*, 36: 730-739.

ZHENG, Q, LIU, L, LIU, Z, CHEN, J, ZHAO, G. 2009. Comparison of the response of ion distribution in the tissues and cells of the succulent plants *Aloe vera* and *Salicornia europaea* to saline stress. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 172: 875-883.

**Tabela 1** – Valores médios ( $\pm$  erro padrão) de umidade e condutividade elétrica ( $CE_{1:2}$ ) do solo em três pontos amostrais (P1 = ponto na fileira 1; P4 = ponto na fileira 4 e P8 = ponto na fileira 8) do canteiro de cultivo de *S. ambigua* do experimento 2014.

<b>Ponto</b>	<b>Umidade (%)</b>			<b><math>CE_{1:2}</math> (dS m<sup>-1</sup>)</b>		
P1	14,4	$\pm$	0,9	2,4	$\pm$	0,5
P4	14,0	$\pm$	0,9	2,9	$\pm$	0,7
P8	15,0	$\pm$	1,0	3,3	$\pm$	0,7

Não foram detectadas diferenças significativas entre as médias (ANOVA;  $p > 0,05$ ). (Umidade:  $F = 0,31$ ,  $p = 0,73$ ,  $GL1 = 2$ ,  $GL2 = 22$ ; Condutividade:  $F = 0,45$ ,  $p = 0,64$ ,  $GL1 = 2$ ,  $GL2 = 19$ ).

**Tabela 2** – Análises de Variância (ANOVA) dos parâmetros biométricos entre as progênies de *S. ambigua* do experimento 2014.

Variável	SQ	SQ total	QM	F	p
AI	1287,92	1821,36	429,31	53,12	***
RI	14,92	65,44	4,97	6,50	***
AF	31,43	49,34	10,48	38,61	***
RF	1484,06	9467,37	494,69	4,09	*
MR	1077,77	2468,71	359,26	17,05	***
PF	126,32	388,12	63,16	7,48	**
BFC	3,45	5,82	1,15	31,95	***
BFR	39,29	113,42	13,10	2,30	ns
BFT	3,27	6,44	1,09	22,63	***
ABC	0,05	0,09	0,02	4,77	*

\*  $p < 0,05$  \*\*  $p < 0,01$  \*\*\*  $p < 0,001$  ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); GL1 = 3; GL2 = 70.

SQ = soma dos quadrados; QM =quadrado médio; AI = altura inicial (cm); RI = número de ramificações inicial; AF = altura final (cm); RF = número de ramificações final; MR = comprimento da maior ramificação (cm); PF = período de floração (semana); BFC = biomassa fresca caulinar (g); BFR = biomassa fresca radicular (g); BFT = biomassa fresca total (g); ABC = alocação da biomassa caulinar.

**Tabela 3** – Médias ( $\pm$  erro padrão) da taxa absoluta de crescimento vertical (TAV; altura, cm semana<sup>-1</sup>), da taxa absoluta de formação de ramificações (TAR; ramificação semana<sup>-1</sup>), do tempo até o início da floração (TIF; semanas) e da suculência (S; %) das 4 progênies de *S. ambigua* crescendo em canteiro irrigado com efluente salino da carcinicultura no experimento 2014.

	<b>BTH1-f3</b>	<b>BTH1-f4</b>	<b>BTH2-f3</b>	<b>BTH2-f4</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
TAV	0,73 $\pm$ 0,06 a	0,79 $\pm$ 0,30 a	1,09 $\pm$ 0,04 b	1,08 $\pm$ 0,31 b	9,29	***
TAR	1,71 $\pm$ 0,12 a	1,64 $\pm$ 0,12 a	1,97 $\pm$ 0,13 a	1,95 $\pm$ 0,26 a	1,30	ns
TIF#	7,69 $\pm$ 0,61 a	- $\pm$ - -	6,18 $\pm$ 0,06 a	6,74 $\pm$ 0,13 a	1,89	ns
S	85,58 $\pm$ 0,09 ab	86,56 $\pm$ 0,06 b	85,09 $\pm$ 0,07 a	85,74 $\pm$ 0,08 ab	4,27	**

\*  $p < 0,05$  \*\*  $p < 0,01$  \*\*\*  $p < 0,001$  ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); GL1 = 3; GL2 = 70; # GL1 = 2.  
Diferentes letras minúsculas indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de Tukey.

**Tabela 4** – Análises de Variância (ANOVA) da composição de macroelementos e microelementos nos tecidos de caules e raízes entre as progênies de *S. ambigua* do experimento 2014.

Variável	SQ	SQ total	QM	F	p
N	169,72	215,94	56,57	19,59	***
P	7,79	10,27	2,60	16,74	***
K	203,96	297,13	67,99	11,68	**
Ca	18,02	44,06	6,01	3,69	*
Mg	0,91	3,88	0,30	1,62	ns
Cu	5,40	7,55	1,80	13,42	***
Zn	73,39	148,32	24,46	5,22	*
Fe	8127,25	43001,60	2709,08	1,24	ns
Mn	3056,75	7513,10	1018,92	3,66	*
N <sup>a</sup>	13,25	33,30	4,42	3,53	*
P <sup>a</sup>	0,41	3,20	0,14	0,79	ns
K <sup>a</sup>	43,58	148,63	14,53	2,21	ns
Ca <sup>a</sup>	95,71	481,26	31,90	1,32	ns
Mg <sup>a</sup>	1,44	2,53	0,48	7,00	**
Cu <sup>a</sup>	38,24	128,09	12,75	2,27	ns
Zn <sup>a</sup>	298,52	1534,95	99,51	1,29	ns
Fe <sup>a</sup>	24354421,72	82127503,39	8118140,57	2,25	ns
Mn <sup>a</sup>	287494,65	710260,49	95831,55	3,63	*

\* p< 0,05 \*\* p< 0,01 \*\*\* p< 0,001 ns: não significativo (p>0,05); GL1= 3; GL2= 5; <sup>a</sup> Análises dos componentes subterrâneos.

SQ = soma dos quadrados; QM =quadrado médio; macronutrientes em g Kg<sup>-1</sup> e micronutrientes em mg Kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 5** – Médias ( $\pm$  erro padrão) dos elementos minerais na composição dos caules (C) e raízes (R) das 4 progênes de *S. ambigua* no experimento 2014.

**A) Macrominerais (g Kg<sup>-1</sup>)**

Progênie	N		P		K		Ca		Mg		
	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	
<b>BTH1-f3</b>	17,18 (0,52)	b 9,43 (0,39)	a 2,24 (0,07)	b 2,61 (0,11)	20,39 (0,26)	b 11,54 (0,54)	8,41 (0,27)	ab 4,98 (0,61)	7,07 (0,10)	2,88 (0,09)	b
<b>BTH1-f4</b>	19,30 (0,46)	b 11,43 (0,19)	b 2,98 (0,04)	c 2,78 (0,03)	19,62 (0,57)	b 13,10 (0,24)	8,60 (0,16)	ab 6,59 (0,71)	6,88 (0,11)	2,73 (0,03)	b
<b>BTH2-f3</b>	11,75 (0,15)	a 9,46 (0,16)	ab 1,24 (0,09)	a 2,74 (0,11)	12,72 (0,49)	a 11,21 (0,70)	6,86 (0,43)	a 10,32 (1,87)	7,13 (0,10)	2,43 (0,06)	ab
<b>BTH2-f4</b>	13,89 (0,46)	a 10,22 (0,32)	ab 1,97 (0,15)	b 3,01 (0,13)	14,95 (0,91)	a 14,94 (0,90)	9,50 (0,36)	b 9,64 (1,28)	6,58 (0,12)	2,18 (0,07)	a
<b>Dieta</b>	N*		P		K		Ca		Mg		
<b>Humano<sup>1</sup></b>	9,70		0,70		4,70		1,00		0,40		
<b>Ovelha<sup>2</sup></b>	18,26		2,40		7,50		3,00		1,80		
<b>Peixe<sup>3,4</sup></b>	2,62		0,27		0,14		0,15		0,03		

**B) Microminerais (mg Kg<sup>-1</sup>)**

Progênie	Cu		Zn		Fe		Mn		
	C	R	C	R	C	R	C	R	
<b>BTH1-f3</b>	2,93 (0,09)	b 6,86 (0,40)	16,93 (0,91)	ab 25,98 (1,17)	187,21 (12,67)	3961,16 (394,77)	109,61 (5,00)	ab 338,37 (24,21)	a
<b>BTH1-f4</b>	3,24 (0,09)	b 7,83 (0,76)	19,20 (0,28)	b 32,28 (3,11)	193,57 (9,06)	3810,23 (516,05)	122,35 (1,95)	b 430,63 (57,57)	ab
<b>BTH2-f3</b>	2,16 (0,09)	a 4,06 (0,59)	14,01 (0,36)	a 36,55 (1,71)	177,35 (13,05)	6577,03 (511,35)	94,81 (4,29)	ab 655,87 (19,40)	b
<b>BTH2-f4</b>	2,00 (0,11)	a 6,33 (0,57)	15,49 (0,36)	ab 33,67 (2,31)	141,44 (11,49)	4580,69 (468,05)	91,36 (4,73)	a 549,33 (48,27)	ab
<b>Dieta</b>	Cu		Zn		Fe		Mn		
<b>Humano<sup>1</sup></b>	0,90		11,00		8,00		2,30		
<b>Ovelha<sup>2</sup></b>	10,50		30		45		30		
<b>Peixe<sup>3,4</sup></b>	0,14		0,90		6,75		0,59		

Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferenças estatísticas significativas, conforme o teste de Tukey ao nível de 5%.

<sup>1</sup> Requerimento em g ou mg da dieta diária de um homem adulto (31-50 anos), IOM (2005, 2011).

<sup>2</sup> Requerimento em g ou mg da dieta diária de uma ovelha adulta (50 Kg; ingerindo 3% do peso por dia em matéria seca), NRC (1985) Lee (2014) e Norman *et al.* (2013), sendo este último para N.

<sup>3</sup> Requerimento em g ou mg da dieta diária de um peixe (0,5 kg; ingerindo 3% do peso 3 vezes ao dia em matéria seca), NRC (1993) e Shiau & Hsieh (2001), sendo este último para K.

<sup>4</sup> Valores combinados para carpa comum e tilápia.

\* Convertido a partir da proteína utilizando o coeficiente para proteína vegetal (5,75) estabelecido na Legislação Brasileira (RDC nº. 360 de 23 de dezembro de 2003, da ANVISA).

**Tabela 6** – Valores médios ( $\pm$  erro padrão) e ANOVA trifatorial da umidade e condutividade elétrica ( $CE_{1;2}$ ) do solo nos níveis de tratamento de irrigação T2 (a cada 2 dias) e T4 (a cada 4 dias), três pontos amostrais (P1 = ponto na fileira 1; P4 = ponto na fileira 4 e P8 = ponto na fileira 8) e nos períodos primavera-verão (P-V) e verão-outono (V-O) de cultivo de *S. ambigua* do experimento 2015.

	Umidade		Condutividade	
	P-V	V-O	P-V	V-O
T2	17,94 (0,79)	9,72 (0,40)	8,83 (1,62)	15,56 (0,83)
T4	16,71 (0,92)	7,90 (0,47)	7,34 (0,96)	15,07 (0,96)
	F	p	F	p
Tratamento	4,11	*	0,54	ns
Ponto	0,38	ns	0,19	ns
Período	125,99	***	19,37	***
Tratamento* Ponto	0,27	ns	1,09	ns
Tratamento*Período	0,15	ns	0,07	ns
Ponto*Período	0,05	ns	0,44	ns
Tratamento*Ponto*Período	0,01	ns	0,08	ns

\*  $p < 0,05$  \*\*  $p < 0,01$  \*\*\*  $p < 0,001$  ns: não significativo ( $p > 0,05$ ).  
Umidade: GL1= 1, GL2 = 70; Condutividade: GL1 = 1, GL2 = 68.



**Tabela 7** – Análises de Variância (ANOVA) bifatorial dos parâmetros biométricos entre as progênies de *S. ambigua* no experimento 2015.

Variável	F progênie	p	F tratamento	p	F p x t	p
AI	46,66	***	1,01	ns	4,44	**
RI	19,72	***	0,89	ns	4,28	**
MRI	28,19	***	12,80	***	1,06	ns
AF	18,66	***	4,88	*	3,18	*
RF	2,67	*	1,66	ns	6,24	***
MRF	15,74	***	1,30	ns	0,84	ns
TAV	3,24	*	2,18	ns	1,90	ns
TAR	2,09	ns	0,57	ns	4,61	**
TMR	1,70	ns	1,43	ns	1,93	ns
TIF	55,2	***	11,90	***	1,60	ns
BFC	10,47	***	2,93	ns	0,76	ns
BFV	13,29	***	0,53	ns	0,74	ns
BFR	0,77	ns	0,01	ns	0,41	ns
ABR	10,67	***	0,50	ns	0,59	ns
S	37,29	***	12,29	***	13,26	***

\* p< 0,05 \*\* p< 0,01 \*\*\* p< 0,001 ns: não significativo (p>0,05); GL1 = 3; GL2 =70.

AI = altura inicial (cm); RI = número de ramificações iniciais; MRI = comprimento da maior ramificação inicial (cm); AF = altura final (cm); RF = número de ramificações final; MRF = comprimento da maior ramificação final (cm); TAV = taxa absoluta de crescimento vertical (cm semana<sup>-1</sup>); TAR = taxa absoluta de formação de ramificações (ramificação semana<sup>-1</sup>); TMR = taxa absoluta do comprimento da maior ramificação (cm semana<sup>-1</sup>); TIF = tempo até o início da floração (semana); BFC = biomassa fresca caulinar (g); BFV = biomassa fresca vegetativa; BFR = biomassa fresca reprodutiva (g); ABR = alocação da biomassa reprodutiva; S= suculência (%).

**Tabela 8** – Médias ( $\pm$  erro padrão) da altura inicial (AI; cm); número de ramificações inicial (RI); comprimento da maior ramificação inicial (MRI; cm); taxa absoluta de crescimento vertical (TAV; altura, cm semana<sup>-1</sup>), taxa absoluta de formação de ramificações (TAR; ramificação semana<sup>-1</sup>), taxa absoluta do comprimento da maior ramificação (TMR; cm semana<sup>-1</sup>) e da suculência (S; %) das 4 progênies de *S. ambigua* crescendo em canteiro irrigadas com efluente salino da carcinicultura no experimento 2015.

	BTH1-f3				BTH1-f4				BTH2-f3				BTH2-f4			
	T2		T4		T2		T4		T2		T4		T2		T4	
AI	20,84	ab	18,38	a	22,14	bc	25,37	c	22,34	bc	23,86	bc	29,56	d	31,05	d
	(0,52)		(0,61)		(0,89)		(1,02)		(0,78)		(1,17)		(0,99)		(1,29)	
RI	18,40	b	11,47	a	22,58	bc	24,85	bc	22,00	bc	19,84	b	24,80	bc	27,50	c
	(0,93)		(0,90)		(1,87)		(2,01)		(1,43)		(1,51)		(1,62)		(1,64)	
MRI	7,97	ab	6,57	a	13,72	bc	11,52	ab	13,88	bc	7,67	a	23,42	d	21,31	cd
	(0,70)		(0,85)		(1,40)		(1,60)		(1,59)		(1,09)		(1,45)		(1,89)	
TAV	0,88	ab	0,96	ab	0,80	a	1,00	ab	0,99	ab	1,25	b	1,21	ab	1,04	ab
	(0,06)		(0,08)		(0,07)		(0,09)		(0,07)		(0,09)		(0,14)		(0,11)	
TAR	1,70	c	1,36	abc	1,13	a	1,25	ab	1,17	a	1,59	bc	1,62	bc	1,14	a
	(0,12)		(0,16)		(0,16)		(0,14)		(0,10)		(0,12)		(0,14)		(0,15)	
TMR	0,94	a	0,79	a	0,82	a	0,93	a	0,90	a	1,19	a	0,84	a	0,90	a
	(0,04)		(0,09)		(0,09)		(0,11)		(0,09)		(0,11)		(0,10)		(0,09)	
S	78,95	ab	79,49	bc	81,42	cd	76,80	a	84,72	f	81,81	cde	82,66	def	84,12	ef
	(0,40)		(0,65)		(0,64)		(0,90)		(0,25)		(0,41)		(0,48)		(0,47)	

Diferentes letras minúsculas indicam valores significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes para o teste de Tukey. GL1 = 3; GL2 = 70.

**Tabela 9** – Médias ( $\pm$  erro padrão) da composição mineral dos caules das 4 progênes de *S. ambigua* nos tratamentos de irrigação T2 (a cada 2 dias) e T4 (a cada 4 dias) e Análises de Variância (ANOVA) bifatoriais da composição de elementos minerais.

Progênie/ irrigação	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
T2									
BTH1-f3	10,22 a (0,33)	2,13 ab (0,12)	20,36 (0,99)	5,65 ab (1,05)	12,26 a (0,54)	10,39 bc (0,59)	17,27 (0,84)	358,14 c (82,74)	62,01 a (4,24)
BTH1-f4	11,40 ab (0,73)	2,10 ab (0,22)	18,73 (1,32)	5,31 ab (0,48)	13,79 ab (1,03)	13,13 c (1,69)	16,60 (1,84)	265,22 abc (51,57)	75,77 ab (7,54)
BTH2-f3	14,43 abc (1,18)	2,34 ab (0,14)	19,44 (1,72)	6,26 b (0,39)	16,18 b (0,73)	9,41 bc (1,01)	19,91 (2,60)	244,03 abc (46,98)	99,33 b (13,56)
BTH2-f4	14,22 abc 2,53	2,44 ab (0,43)	18,15 (2,13)	6,58 b (0,35)	13,69 ab (1,05)	10,78 bc (1,58)	24,10 (3,62)	230,50 abc (35,63)	101,32 b (8,05)
T4									
BTH1-f3	16,14 bc (1,28)	2,73 ab (0,27)	20,20 (0,48)	5,31 ab (0,64)	13,50 ab (0,57)	8,43 abc (0,91)	23,17 (1,76)	272,88 bc (17,38)	72,67 ab (5,32)
BTH1-f4	13,08 abc (0,66)	1,84 a (0,10)	20,78 (0,71)	5,05 ab (0,61)	11,56 a (0,72)	7,25 ab (0,24)	20,17 (1,22)	224,89 abc (8,27)	72,30 ab (7,66)
BTH2-f3	13,36 abc (0,42)	2,17 ab (0,11)	17,78 (1,84)	4,60 a (0,04)	13,84 ab (0,70)	5,29 a (0,39)	18,36 (1,03)	181,49 a (29,35)	59,65 a (4,69)
BTH2-f4	16,84 c (0,98)	2,97 b (0,21)	22,34 (1,83)	5,52 ab (0,36)	13,87 ab (0,48)	7,45 ab (0,91)	23,79 (2,02)	201,92 ab (26,26)	71,68 ab (2,82)
F p	2,64 ns	3,70 *	0,55	0,94 ns	3,97 *	3,76 *	2,89	3,12 *	2,40 ns
F t	10,58 **	1,27 ns	1,11	4,18 *	2,16 ns	33,21 ***	1,72	2,65 ns	8,77 **
F pxt	3,44 *	2,27 ns	1,48	0,71 ns	2,78 ns	1,24 ns	1,41	0,13 ns	4,89 **

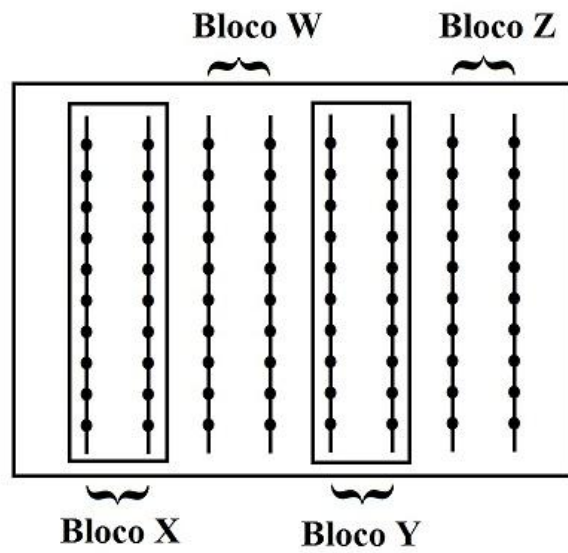
\*  $p < 0,05$  \*\*  $p < 0,01$  \*\*\*  $p < 0,001$  ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); GL1= 3; GL2= 5.

F p = progênes F t = tratamento de irrigação F pxt = interação de progênie e tratamento; K e Zn = ns. Macronutrientes em  $g\ Kg^{-1}$  e micronutrientes em  $mg\ Kg^{-1}$ .

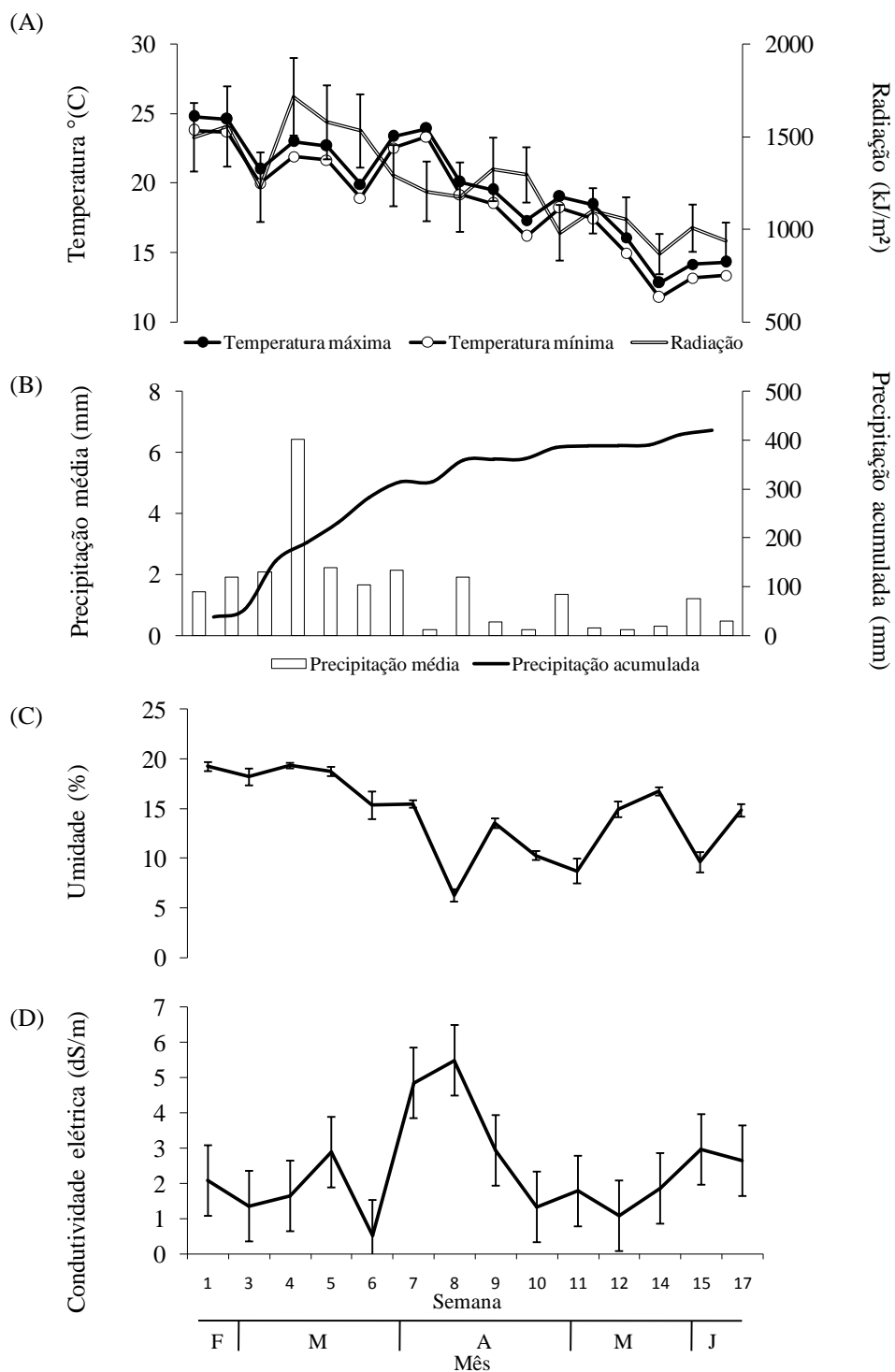
Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferenças significativas entre variedades, conforme o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.



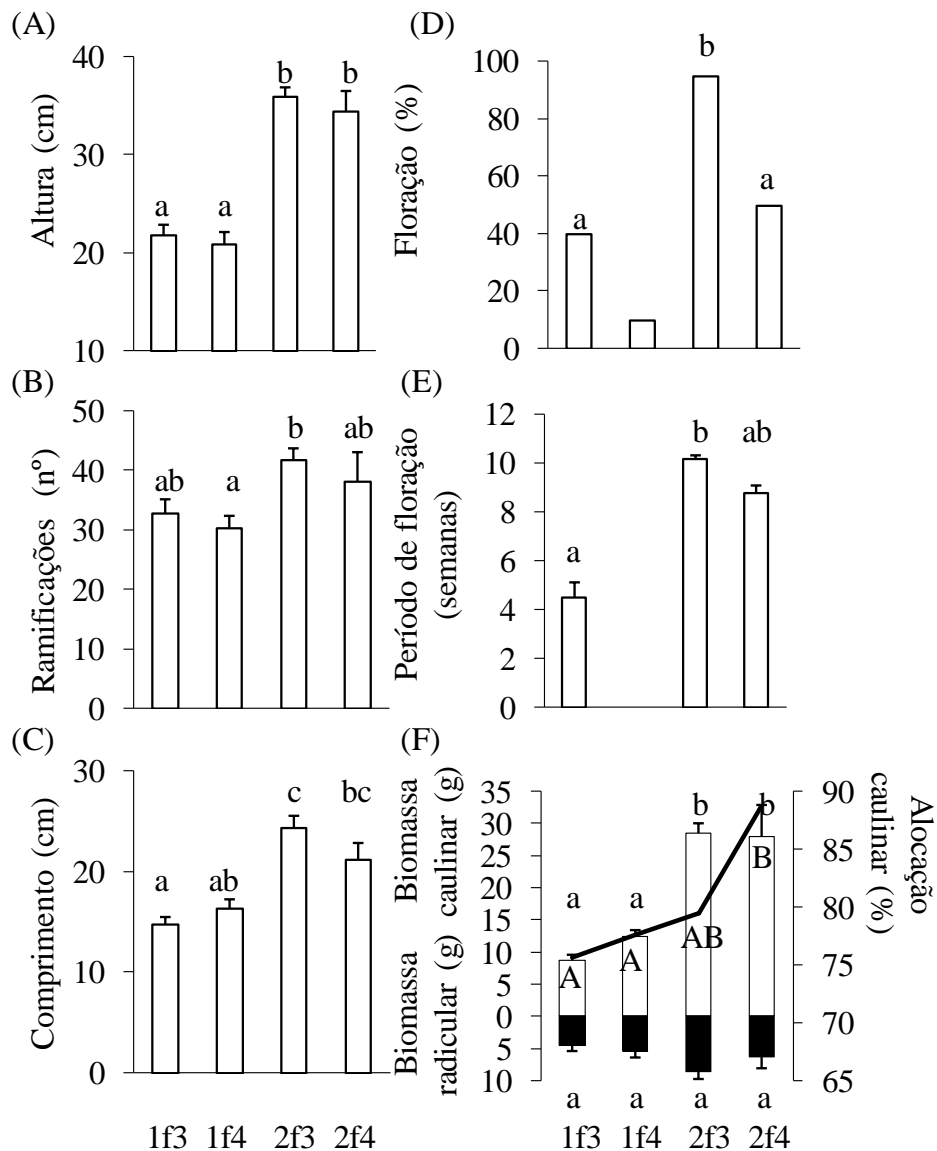
**Figura 1.** Biótipos BTH1 (esquerda) e BTH2 (direita) de *S. ambigua* em cultivo de campo em Rio Grande (RS).



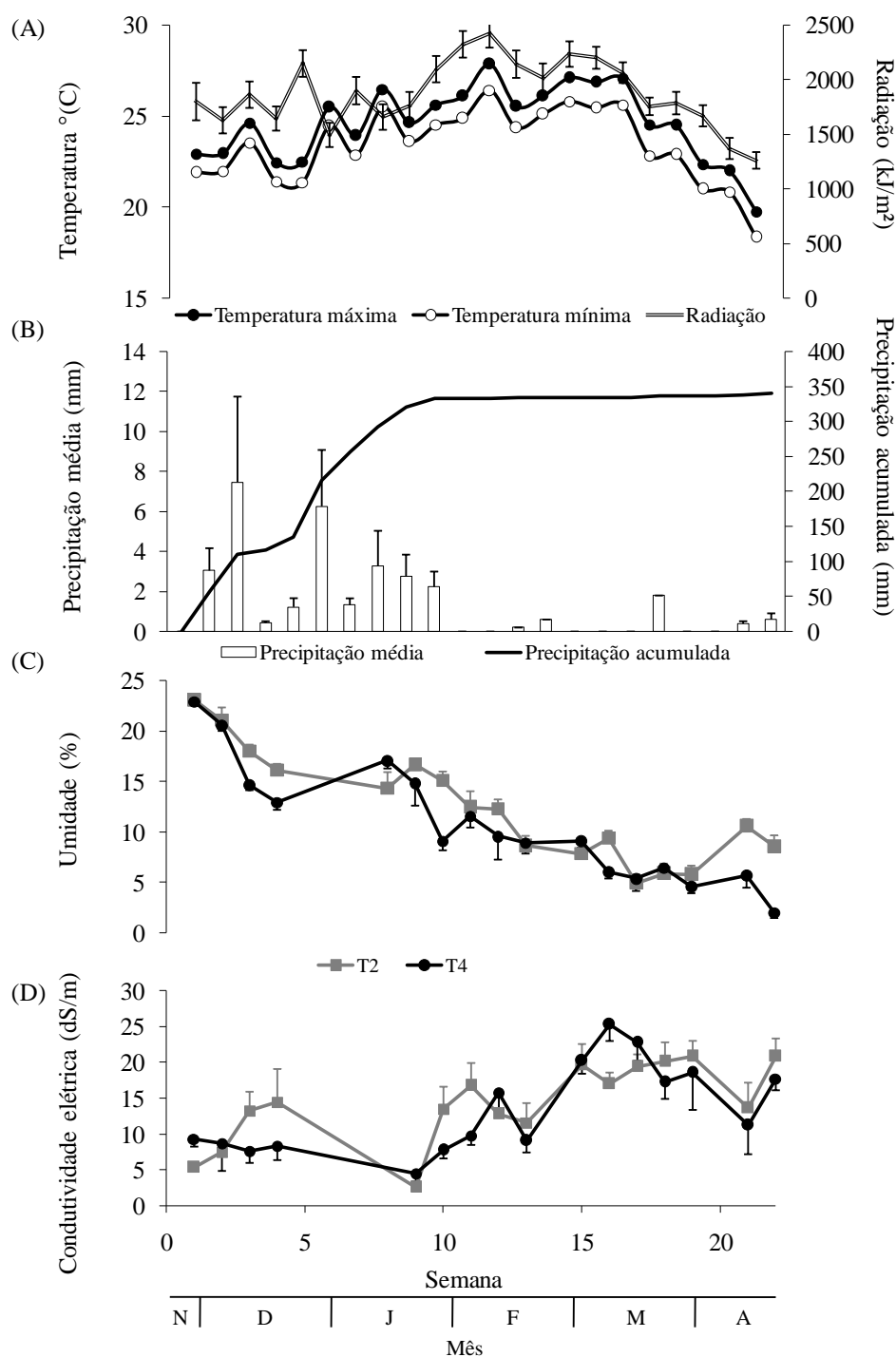
**Figura 2.** Delineamento amostral nos canteiros dos experimentos 2014 e 2015 revestidos com geomembrana. Letras X, W, Y e Z representam as progênies (bloco) que foram aleatorizadas dentro de cada canteiro.



**Figura 3.** Valores médios semanais ( $\pm$  erro padrão) da temperatura do ar e radiação solar (A), da precipitação (média e acumulada (B), do teor de umidade (C) e da condutividade elétrica (CE<sub>1:2</sub>) do solo (D) durante o cultivo de *S. ambigua* entre fevereiro e junho de 2014 no município de Rio Grande (RS).

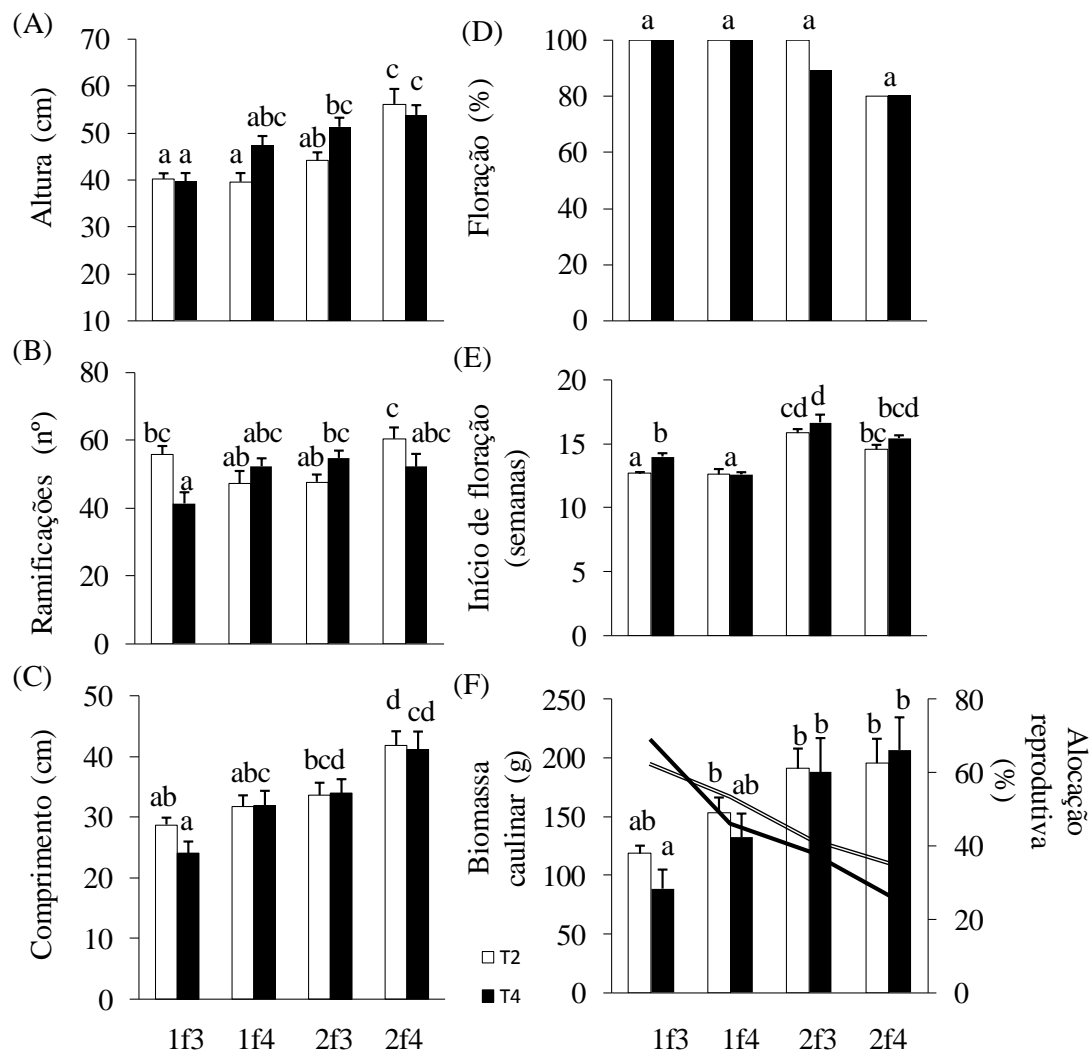


**Figura 4.** Valores médios da altura final (A), número de ramificações final (B), comprimento da maior ramificação (C), percentagem das plantas que floresceram (D), período de floração (E), biomassa caulinar e radicular (barra preenchida de preto), além da percentagem de alocação para biomassa de caules (linha preta) em relação a biomassa total (F) das 4 progênes de *S. ambigua* cultivadas no experimento 2014 em Rio Grande (RS). Códigos: linhagens 1 (BTH1) e 2 (BTH2); progênes f3 e f4. Diferentes letras minúsculas e maiúsculas (F, alocação da biomassa) entre progênes indicam médias e frequências (D) significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes conforme o teste de Tukey e do Chi-quadrado (D).

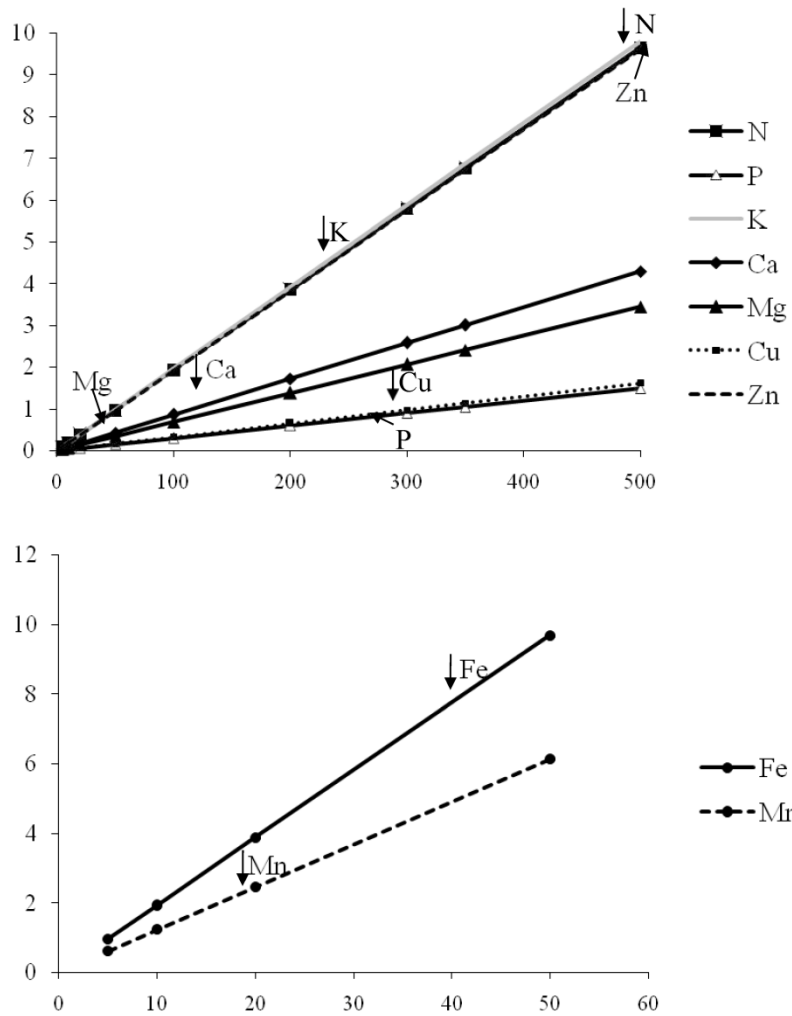


**Figura 5.** Valores médios semanais ( $\pm$  erro padrão) da temperatura do ar e radiação solar (A), da precipitação média e acumulada (B), do teor de umidade (C) e da condutividade elétrica ( $CE_{1:2}$ ) do solo (D) dos tratamentos T2 (irrigação a cada 2 dias) e T4 (irrigação a cada 4 dias) durante o cultivo de *S. ambigua* novembro a abril de 2015 no município de Rio Grande (RS).

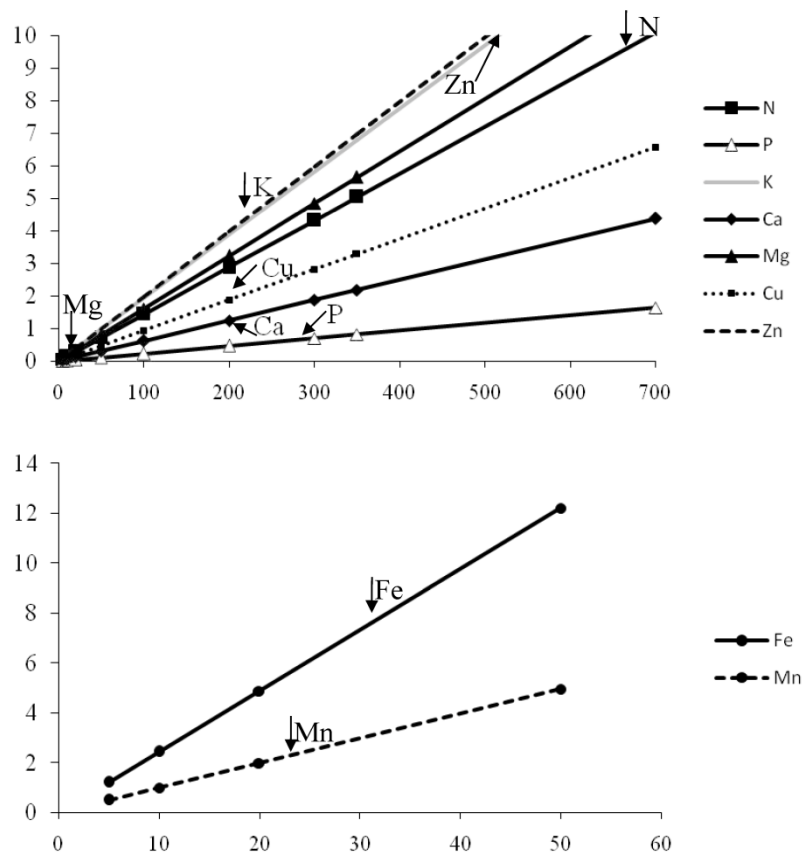




**Figura 6.** Valores médios da altura final (A), do número de ramificações final (B), do comprimento da maior ramificação (C), da percentagem das plantas que floresceram (D), do período até o início da floração (E), da biomassa aérea total, bem como a percentagem de alocação para biomassa de reprodutiva (linha vazada= T2; linha em preto= T4) (F) das progênies de *S. ambigua* cultivadas em Rio Grande (RS) no experimento 2015. Códigos: linhagens 1 (BTH1) e 2 (BTH2); progênies f3 e f4. Diferentes letras minúsculas entre progênies indicam médias e frequências (D) significativamente ( $p < 0,05$ ) diferentes conforme o teste de Tukey e do Chi-quadrado (D).



**Figura 7.** Quantidade de matéria seca de caules de *S. ambigua* (BTH1-f4) necessária para suprir o requerimento nutricional humano no experimento 2014. Eixo x = gramas de matéria seca para suprir as necessidades nutricionais e eixo y = teor do elemento das plantas. Setas indicam o recomendado pela IOM (2005, 2011). Macronutrientes em g e micronutrientes em mg.



**Figura 8.** Quantidade de matéria seca de caules de *S. ambigua* (BTH2-f3 do T2) necessária para suprir o requerimento nutricional humano no experimento 2015. Eixo x = gramas de matéria seca para suprir as necessidades nutricionais e eixo y = teor do elemento das plantas. Setas indicam o recomendado pela IOM (2005, 2011). Macronutrientes em g e micronutrientes em mg.