

Capítulo 11

Melhoramento genético do sorgo para o semiárido brasileiro

José Nildo Tabosa
Alexandre Hugo César Barrros
Ana Rita de Moraes Brandão Brito
Aluizio Low Simões
Josimar Bento Simplicio
Eric Xavier de Carvalho
José Alves Tavares
José Avelino Santos Rodrigues
Marta Maria Amâncio do Nascimento
José Geraldo Eugênio de França
Venézio Felipe dos Santos
Cícero Beserra de Menezes
José Jorge Tavares Filho

Introdução

O semiárido brasileiro (SAB) apresenta condições climáticas particulares, caracterizadas por um período seco, que se estende por seis a oito meses do ano. As precipitações pluviais são irregulares e situam-se na faixa de 400 a 800 mm, chegando a atingir, em muitas áreas, valores abaixo destes (Araújo Filho et al., 2019). As concentrações de chuvas ocorrem no primeiro quadrimestre do ano, mas na maioria das vezes intercaladas de secas severas.

Esse semiárido abrange uma área de 1.128.697 km², em 1.262 municípios (IBGE, 2017), englobando partes de nove estados da região Nordeste e um estado da região Sudeste, Minas Gerais. Nessa delimitação foram incluídos dois municípios do estado do Maranhão (Araioses e Timon), que não figuravam antes de 2017, de acordo com o IBGE (2019) e com a nova delimitação do SAB, segundo o Ministério de Integração Nacional e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – Diretoria de Planejamento e Articulação de políticas (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2017).

A abrangência e a importância socioeconômica da região semiárida demandam estudos sistemáticos e interdisciplinares, no sentido de disponibilização de tecnologias adaptadas ao local. Nesse âmbito, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) se enquadra no elenco de alternativas para a produção de grãos e biomassa de qualidade, para atender a demandas como forragem, produção de silagem e/ou como alternativa na produção de biocombustível. Apresentando características xerofílicas, além de outros mecanismos que conferem tolerância à seca e adaptação a diferentes tipos climáticos, o sorgo vem ocupando área de cultivo na região.

De acordo com dados do IBGE, os números de municípios por estado, com registro de área colhida na safra de 2019, são: Piauí – 06; Ceará – 10; Rio Grande do Norte – 27; Pernambuco – 28; Alagoas – 3; Sergipe – 3; Bahia – 46; e Minas Gerais – 38 (IBGE, 2019).

O intervalo entre os anos 2012 e 2018 ficou caracterizado como o maior período de seca sequencial dos últimos 200 anos, quando comparado com as ocorrências das secas que antecederam, ficando também esse espaço identificado como prenúncio de mudanças climáticas (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021).

A título de comparação, a área colhida de milho, em 2019, apresentou resultados de produtividade bem abaixo da média regional (2.900 kg/ha) nos municípios localizados exclusivamente no semiárido. Esses níveis de produtividade podem ser considerados irrisórios nessas áreas semiáridas de sequeiro, principalmente, nos estados do Rio Grande do Norte, da Paraíba, do Ceará, de Alagoas e de Pernambuco, onde foram registrados valores de 385 a 1.924 kg/ha, nesse ano de 2019 (IBGE, 2019). A exceção é o estado de Sergipe, onde na sua porção semiárida ocorre uma faixa de solos profundos com adequada retenção de umidade e aptidão plena para a cultura do milho, que soma em torno de 120 a 140 mil hectares. Nessas áreas, os níveis de produtividade obtidos em 2019 foram de cerca de 5.000 kg por hectare (IBGE, 2019). Assim, nas áreas onde as precipitações não chegam a atender as exigências (dotação hídrica) do cultivo do milho o sorgo poderá ser uma alternativa e apresentar adequação e exequibilidade quanto ao comportamento produtivo, reduzindo substancialmente a frustração de safras.

O potencial do sorgo para o semiárido e as diferentes aptidões e utilizações das cultivares levam as instituições de pesquisa, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa e o Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, a seguirem em constante estudo sob os diferentes

aspectos de produção e aproveitamento. Essas atividades são consideradas importantes para o desenvolvimento de novas cultivares, cada vez mais produtivas, no atendimento à demanda da agropecuária.

Como objeto do segmento melhoramento genético do sorgo, a procura de novas cultivares adaptadas a diferentes ambientes agroecológicos é a base mais importante dessa atividade, principalmente as de ciclo precoce. Além disso, há foco na adaptabilidade, direcionado aos fatores ambientais adversos como estresse hídrico, salinidade do solo e temperaturas elevadas.

Existem dois aspectos de grande relevância quanto ao melhoramento do sorgo em face da tolerância às condições físicas do ambiente. O primeiro é respaldado no desenvolvimento de materiais genéticos tolerantes às flutuações de curta duração das condições ambientais. O outro é pertinente à geração de genótipos de restrita adaptação e que se pretende introduzir em locais onde as condições ambientais são limitantes por adversidades naturais.

Mesmo diante da disponibilidade de modernas ferramentas biotecnológicas, cultura de tecidos, marcadores moleculares e outras estratégias que viabilizem a obtenção de novos materiais, é importante e imprescindível se recorrer também ao uso do melhoramento clássico, em que a seleção de genótipos será sempre fundamental para a obtenção de materiais genéticos superiores.

O presente capítulo segue abordando o potencial do sorgo, sobretudo na manutenção estratégica de germoplasma e possibilidades de aproveitamento destes nas suas aptidões, além de particularidades e possibilidades do melhoramento genético, favorecendo a disponibilização de materiais cada vez mais apropriados e adaptados às condições mencionadas.

Por fim, a importância das cultivares recomendadas (de diferentes naturezas e de tipos de sorgo nos multivariados ambientes da região), que foram desenvolvidas pelo IPA e pela Embrapa, é relatada no decorrer do capítulo. São mencionadas, além da Embrapa e do IPA, diferentes instituições de ensino e pesquisa da região como a UFC - Universidade Federal do Ceará e a UFERSA – Universidade Federal Rural do Semiárido, além de outras, que vêm desenvolvendo atividades produtivas a partir dessas cultivares e de outras desenvolvidas em épocas anteriores.

Importância e Utilização de Cultivares de Sorgo – Tipos Cultivados e Uso Potencial no Semiárido

De acordo com a natureza da exploração, são relatados cinco tipos de sorgo: granífero, sacarino, forrageiro, vassoura e biomassa.

O primeiro tipo inclui plantas de porte baixo e de porte médio, adaptadas à colheita mecanizada (colheita realizada com máquina automotrizes colhendo exclusivamente o grão, que é o produto final desse tipo de exploração). Ainda como forrageiro existe um tipo herbáceo denominado de sorgo sudão ou capim sudão, que é de ciclo precoce e pode ser utilizado como pastejo e na confecção de feno (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf). Derivações do grupo de sorgo granífero são também denominadas de sorgo de duplo propósito ou de dupla finalidade, como exemplo, o sorgo granífero, de porte baixo e porte médio, que tanto pode ser explorado para colheita do grão seco, quanto para a colheita da planta inteira para confecção de silagem (com grãos moles na fase leitosa/pastosa) ou mesmo o sorgo de colmo sacarino que pode ser utilizado como forrageiro ou para exploração de etanol ou açúcar.

O segundo tipo inclui plantas de porte alto, apropriadas para produção de silagem e/ou como alternativa para produção de açúcar e álcool. O sorgo forrageiro é utilizado como complemento alimentar, na alimentação de ruminantes, na forma de corte, silagem e fenação, podendo ser também utilizado na forma de cobertura morta, antecedendo o cultivo de grandes culturas, como soja e milho.

Além desses, ressalta-se o sorgo do tipo vassoura que é explorado para confecção do produto que o denomina. É uma atividade artesanal e encontrada em muitas regiões do Brasil e de países da Ásia. Esse tipo não é explorado no semiárido, todavia poderá apresentar oportunamente potencial de utilização. Por fim, os tipos do grupo de biomassa/energia, que são destinados à produção de energia. Apresentam poder calorífico similar ao da cana, do eucalipto e do capim elefante. Geralmente são materiais de porte alto, tardios, de baixo valor nutricional e ricos em celulose e lignina (Tabosa et al., 2019). Também podem ter utilização forrageira inadequadamente em regiões onde existe escassez de volumosos.

Desses mencionados grupos, o sorgo granífero é o que apresenta maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados em todo o globo, ficando atrás de trigo, milho, arroz e cevada (FAO, 2019).

O Sorgo Granífero

Esse tipo de sorgo é utilizado como importante componente da alimentação animal, nos Estados Unidos, na Austrália e em países da América do Sul, com extensão para o semiárido brasileiro. Além disso, eventualmente atende também como forragem ou cobertura de solo (Rodrigues et al., 2015).

Nessa região, na série histórica de 2011/2019, a área colhida de sorgo foi bem variada em face também de ocorrências de anos secos em sua grande maioria. No período entre 2012 e 2018 aconteceu na região a maior seca sequencial dos últimos 200 anos, quando comparada com as ocorrências das secas históricas anteriores. Além disso, esses anos de seca severa também ficaram configurados como prenúncio de mudanças climáticas (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021).

Esse fato culminou com frustrações sucessivas de safras da grande maioria das culturas. No decorrer dessa série histórica mencionada, a área colhida de sorgo granífero (exclusivamente na região semiárida) variou de 104 mil hectares em 2011 (ano hídrico regular e de adequada distribuição de chuvas) até 28 mil hectares em 2018. Esses valores correspondem a um percentual de 13,8 a 3,9% da área total colhida de sorgo no Brasil (Tabela 1).

Na Tabela 2 pode ser observada a posição da cultura do sorgo granífero nos principais estados produtores, notadamente nas áreas exclusivamente pertencentes à porção semiárida, no biênio 2018 e 2019. Esses resultados podem ser considerados de baixa magnitude, quando comparados com as áreas colhidas de sorgo de outras regiões, principalmente no período de seca entre 2012 e 2018. Todavia, é importante mencionar o incremento de rendimento obtido no semiárido mineiro quando comparado com os rendimentos representados pela média nacional. Provavelmente isso se deve a novas cultivares zoneadas. Antecedendo a esse período adverso mencionado existem registros de áreas colhidas de sorgo da ordem de mais de 100 mil hectares nessa mesma região (IBGE, 2019).

Tabela 1. Área colhida (ha) de sorgo granífero exclusivamente no semiárido brasileiro (SAB*) em cada Unidade Federativa de acordo com o IBGE (2019) e com a Nota Técnica nº 023/2017. DPLAN/CGEP.

UF	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PI	2210	-	-	-	1.500	-	-	500	3.065
CE	2.100	600	580	690	400	-	-	-	400
RN	8.087	1.001	2.206	912	162	490	769	435	425
PB	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PE	2.761	30	-	220	350	-	344	309	2.287
AL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SE	-	362	-	-	-	-	-	-	-
BA	88.880	41.371	84.570	86.236	74.948	41.415	24.953	28.134	28.781
MG	2.890	2.858	1.817	2.904	1.569	2.140	1.249	1.137	1.215
SAB**	104.948	46.222	89.173	88.058	78.929	44.045	27.398	30.565	36.183
BR	757.410	687.952	792.838	840.093	732.281	558.189	744.571	793.575	818.301
SAB/ BR(%)	13,8	6,7	11,2	10,5	10,8	7,9	3,4	3,9	4,4

* Número de municípios no SAB por Estado: MA – 02; PI – 185; CE – 175; RN – 147; PB – 194; PE – 123; AL – 38; SE – 29; BA – 278; MG – 91.

** Número de municípios com registro de área cultivada de sorgo por Estado incluídos no SAB: MA – nenhum; PI - 06; CE – 10; RN – 27; PB – nenhum; PE – 28; AL – 03; SE – 03 BA – 46; MG – 38.

Tabela 2. Área colhida, produção obtida e rendimento do sorgo granífero na porção semiárida dos principais estados produtores localizados no semiárido brasileiro, no biênio 2018 e 2019.

UF	2018			2019		
	Área colhida (ha)	Produção obtida (t)	Rendimento (kg/ha)	Área colhida (ha)	Produção obtida (t)	Rendimento (kg/ha)
PI	500	900	1.800	3.065	6.366	2.077
BA	28.134	45.014	1.600	28.781	48.639	1.690
MG	1.137	3.638	3.200	1.215	4.070	3.350
PE	410	212	517	2.545	2.264	889
RN	435	830	1.908	425	298	701
CE	-	-	-	400	1.120	2.800
BR	800.175	2.281.316	2.851	818.301	2.672.245	3.266

Fonte: IBGE (2019).

As cultivares objeto de uso nessa região compreendem materiais da Embrapa, cultivares de empresas privadas e também de empresas estaduais de pesquisa. A discriminação desses materiais constam nas portarias estaduais dos zoneamentos de risco climático para os estados da região (Brasil, 2021). Complementando, segundo dados relatados pela Associação Paulista dos Produtores de Sementes e Mudanças (APPS) e pelo Grupo Pró Sorgo, referentes à safra 2017/2018, a área cultivada com sorgo granífero, no Brasil, foi de 846.951 hectares e com sorgo forrageiro foi de 410.387 hectares. Nesse levantamento, não são levados em consideração os materiais varietais regionais, fato esse que iria incrementar a área de cultivo da cultura, principalmente na região (Associação Paulista de Produtores de Sementes, 2020).

Cultivares de Sorgo Forrageiro para Corte, Feno e Silagem

Não existe no Brasil, e nem por regiões, uma estatística oficial de sorgo forrageiro. O que está disponível nas estatísticas do IBGE/SIDRA, da Conab e da FAO correspondem ao sorgo granífero. Através da APPS e do Grupo Pró-Sorgo (Associação Paulista dos Produtores de Sementes e Mudanças, 2020), estimou-se a provável área de sorgo forrageiro cultivada, em função da quantidade de sementes comercializadas: para cada 8 kg comercializados de semente, computa-se um hectare plantado. Esse ponto remonta sobre cultivares comerciais e com controle fiscal. Em contrapartida, no semiárido, grande parte de “sementes” produzidas em fazendas não são incluídas nesse tipo de contabilidade.

Com relação à produção de biomassa, em média poderá ser obtido, de um hectare, um valor de 15 t de matéria seca. Esse quantitativo atende às necessidades de consumo em volumoso de oito unidades animais (1 U.A. = 450 kg de peso vivo), consumindo 2,5% ao dia do seu peso vivo em matéria seca, por um período de 150 dias, equivalente a cinco meses, período estival do ano. No caso de caprinos ou de ovinos, 40 animais poderão ser atendidos nessas mesmas condições. Quanto aos diferentes tipos de sorgo forrageiro, são cultivadas na região principalmente as cultivares de sorgo forrageiro tradicionais, de porte elevado e cultivares de porte médio, com dupla aptidão (Figura 1).

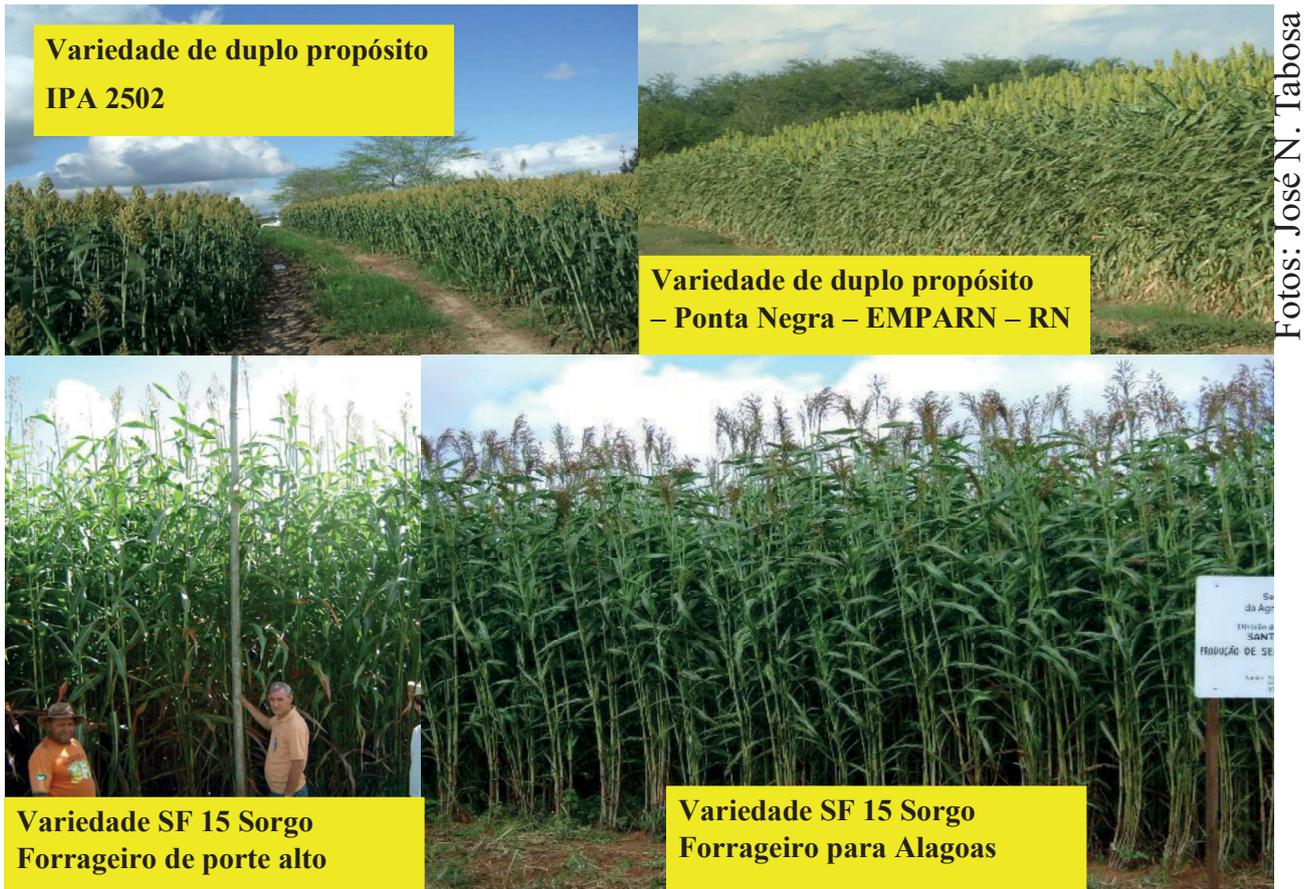


Figura 1. Variedades de sorgo: de duplo propósito e forrageiro de porte alto.

Na Tabela 3 são visualizados os comportamentos produtivos e características agrônômicas de variedades de sorgo (cultivares do IPA) recomendadas para a região. A variedade IPA 467-4-2 apresenta aptidão para silagem e possui o colmo de natureza sacarina; a variedade IPA SF 25 apresenta colmo seco e é de ciclo precoce; a variedade SF 11 é de aptidão para silagem e é considerada, dentre as demais, a mais tolerante ao estresse hídrico (Montalvan; Faria, 1999); e a variedade SF 15 é apropriada para silagem e foi desenvolvida pelo IPA, conjuntamente com a Seagri- AL (Secretaria de Agricultura de Alagoas).

Tabela 3. Resultados de produção de matéria verde e seca, % de matéria seca e altura de planta das variedades de sorgo forrageiro, sob diferentes condições ambientes do semiárido brasileiro (estresse hídrico, irrigação, temperaturas elevadas, solos salinizados e ácidos) - 2007/2008/2009.

Variedade/Local	Variáveis observadas			
	Matéria verde (t/ha ⁻¹)	Matéria seca (t/ha ⁻¹)	Matéria seca (%)	Altura de planta (cm)
IPA 467-4-2 (estresse)	24,2	6,9	28	320
IPA SF 25 (estresse)	26,2	6,0	23	300
IPA SF 25 (250-350 mm)	46,5	14,4	31	410
IPA 467-4-2 (250-350 mm)	25,7	8,3	32	260
IPA SF 11 (250-350 mm)	45,9	12,8	28	370
SF 15 (250-350 mm)	42,3	14,8	34	460
SF 15 (250-350 mm)	50,4	14,6	29	400
IPA SF 11 (250-350 mm)	39,8	11,2	28	420
IPA SF 25 (250-350 mm)	26,6	10,8	40	380
IPA SF 11 (250-350 mm)	48,9	16,6	34	360
IPA 467-2-2 (Sertão)	31,0	9,2	30	310
IPA 467-4-2 (Agreste)	32,0	10,2	32	300
SF 15 (irrigado)	70,8	21,9	31	380

Com as exigências do mercado em qualidade e em preço competitivo, há uma interferência direta no aumento do profissionalismo da pecuária de leite e de corte de uma forma geral. O milho, na qualidade de componente principal na alimentação animal, é de difícil acesso e utilização em face de elevados preços do mercado, principalmente no período seco do ano, nas regiões semiáridas. Com isso, o sorgo surge, então, como a principal alternativa ao milho na dieta de ingredientes forrageiros.

A Recomendação da Cultivar de Sorgo Forrageiro

As cultivares de sorgo denominadas forrageiras, com ciclos mais longos e alturas superiores a 300 cm, tardias e de elevado potencial forrageiro, podem ser subdivididas da seguinte forma:

- a) Cultivares com alta produtividade de biomassa e com reduzida

produção de grãos e de açúcares solúveis - são materiais de utilização para silagem. No geral esses materiais produzem uma silagem de baixa qualidade, com poucos grãos e são de reduzida digestibilidade.

b) Cultivares com baixa produção de grãos, colmo suculento e sacarino e altura próxima aos 300 cm - são de natureza sacarina, o que possibilita também a sua industrialização para a produção de etanol. Os colmos fornecem um caldo rico em açúcares fermentescíveis e os grãos, pelo processo de sacarificação, podem transformar seu alto teor de amido em significativas quantidades de açúcares. Esses materiais são também utilizados na produção de silagem.

c) Cultivares com aptidão para corte e fenação, podendo ser também utilizadas em pastejo: sorgo sudão ou capim sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) e seus híbridos interespecíficos com o *Sorghum bicolor* - produzem silagem de qualidade inferior, em face do elevado teor de água e baixo percentual de grãos, na planta, por ocasião do ponto de colheita.

Cultivares de panícula com muitos grãos e altura de até 300 cm - são consideradas silageiras de qualidade elevada, em face da alta relação grãos/massa verde, apresentam elevado valor nutricional e elevada digestibilidade de fibras.

Na Tabela 4 são apresentadas cultivares (forrageiras, de dupla finalidade e graníferas) adaptadas para produção de silagem, feno e outros usos que são desenvolvidas e comercializadas pelas várias instituições públicas e privadas.

O Sorgo Sacarino

O sorgo sacarino, no universo dos biocombustíveis, hoje se apresenta como mais uma alternativa de uso, além dos combustíveis fósseis. A demanda mundial por biocombustíveis favoreceu a sua retomada de pesquisas para a produção do etanol. Esse tipo de sorgo, apresenta como vantagem o ciclo curto, permitindo sua utilização nos períodos de entressafra da cana-de-açúcar, ou mesmo o seu cultivo no semiárido, sob condições irrigadas (em substituição à cana-de-açúcar, que representa exigência hídrica cerca de nove vezes a dotação hídrica do sorgo) ou mesmo de sequeiro, em áreas espacialmente zoneadas. Além do ciclo curto, de cerca de 130 dias, apresenta vantagens por permitir a mecanização total de sua produção e demandar menos irrigação do que a cultura do milho, sendo mais adaptável às áreas secas.

Tabela 4. Cultivares de sorgo forrageiro (H - híbrido, HBM - híbrido biomassa, V - variedade, VCF - variedade para corte e feno, VSF - variedade sacarina de uso forrageiro, VDP - variedade duplo propósito ou dupla finalidade) para silagem e feno ou corte, e grão e forragem).

Corte/silagem dupla finalidade	Empresa	Corte/silagem dupla finalidade	Empresa
BRS 655 – H	Embrapa	SF 15 - V	IPA
BRS 658 – H	Embrapa	SUDAN 4202 - VCF	IPA/Embrapa
Ponta Negra - VDP	Embrapa/Emparn	BRS 506 – V	Embrapa
BRS 511 - VSF	Embrapa	Podium – H	Biomatrix
Volumax – H	Agroceres	20XB01 – H	Semeali
AG2005E – H	Agroceres	Topsilo – H	Semeali
Chopper – H	Nuseed	AGN 10S20 – H	Agromen
Dominator – H	Nuseed	ADV 2499 – H	Advanta
Maxisilo – H	Nuseed	BRS 716 – HBM	Embrapa
Qualysilo – H	Nuseed	Agri-002E- HBM	Agricomseeds
BRS 508 - VSF	Embrapa	AG 2002 – H	Agroceres
BRS 509 - VSF	Embrapa	20XB01 – H	Semeali
IPA 467-4-2 – V	IPA	IPA SF 11 – V	IPA
IPA 1011 – VDP	IPA	IPA 2502 – VDP	IPA

Adaptado de relatórios de levantamento da Associação Paulista dos Produtores de Sementes e Mudanças (2020) e dos sites das empresas de sementes e empresas de pesquisas regionais.

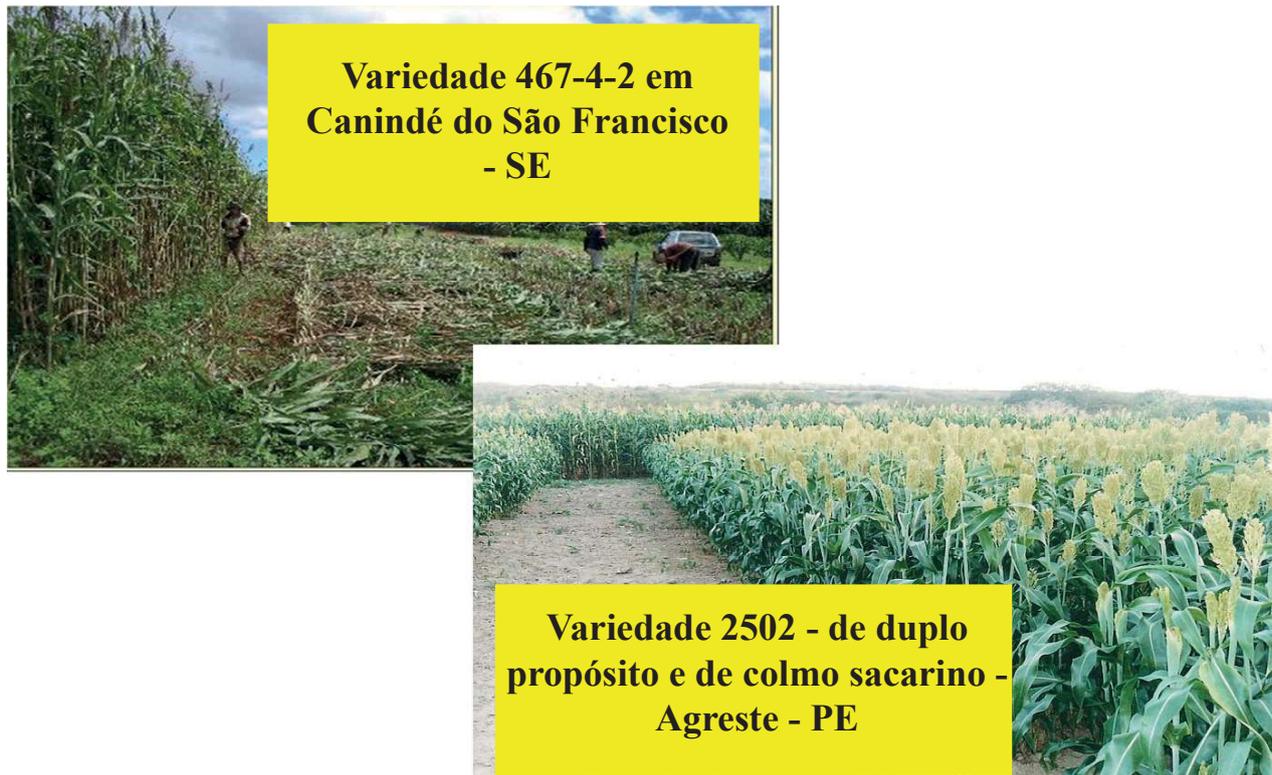
Nas áreas marginais, onde a cana não é cultivada, o sorgo sacarino poderá se constituir em alternativa viável. Outra vantagem é a geração de renda à agricultura familiar, pois os pequenos agricultores podem utilizar o sorgo sacarino em mini e microdestilarias, para produção de etanol ou aguardente, em regiões com baixo índice de chuvas e solos ácidos, onde a cana não se desenvolve bem.

O cultivo do sorgo sacarino pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável para o fornecimento da matéria-prima a microdestilarias, evitando o corte antecipado da cana-de-açúcar. Assim, essa cultura poderá se tornar uma alternativa para produção de álcool em áreas de escassez e de distribuição errática das chuvas.

Outra utilização do sorgo sacarino é seu uso forrageiro, como os

materiais da Embrapa BRS 506, BRS 508, BRS 509 e BRS 511, além dos materiais do IPA 467 e SF 15.

Na Figura 2, pode ser observada uma área de sorgo sacarino, variedade IPA 467-4-2 (comercialmente utilizada como forrageira, cultivada sob irrigação e fertilizada orgânica e quimicamente, com produção de até 100 t/ha de biomassa) e IPA 2502, material de duplo propósito de colmo sacarino cultivado na região.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 2. Variedades de sorgo sacarino - cultivo no semiárido brasileiro.

Em primeiro plano, ressalta-se a importância de cultivares de sorgo de ciclo curto e médio, para produção intensiva de forragem sob condições de baixo suprimento hídrico. Na Figura 3 pode ser observado o contraste (porte e potencial produtivo) entre a cultivar de sorgo sacarino (estádio de grão pastoso) e o milho (grãos secos), sob condições adversas de suprimento hídrico em ambiente do semiárido.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 3. Sorgo variedade SF 15 x milho variedade catingueiro.

Outro ponto importante é a exploração de forragem de sorgo de colmo sacarino, com a ocupação imediata nos leitos das áreas em processo de secamento dos reservatórios (açudes e barragens) do semiárido, aproveitando a umidade remanescente. Uma vez implantado e com o consequente aprofundamento do sistema radicular, a cultura “escapa” da salinidade do solo concentrada na superfície. Nas Figuras 4 e 5, pode ser observado este fato no reservatório Açude do Saco, na unidade do IPA de Serra Talhada (localidade do sertão central de Pernambuco), em anos de severo estresse hídrico e em solo salinizado.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 4. Sorgo forrageiro/sacarino implantado na área seca do Açude do Saco, sertão central de Pernambuco - Serra Talhada-PE, 2015.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 5. Rebrotas do sorgo sacarino/forageiro SF 15 em área salinizada, no leito seco de açude em Serra Talhada-PE, 2016.

Outros aspectos ocorrentes nesses anos secos é a possibilidade limitada da irrigação com água comprometida pela salinidade, desde que se desenvolvam procedimentos de subsolagem, drenagem adequada e rotação de cultivo (sorgo-leguminosa-sorgo). Na Figura 6 abaixo pode ser observada uma lavoura de sorgo que foi implantada seguindo esse procedimento.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 6. Sorgo SF 15, fase juvenil, cultivado com água salinizada (C2S3), de poço às margens do Rio Moxotó, Ibimirim-PE, 2016.

Na Figura 7 pode ser observada a cultivar IPA 467 de colmo sacarino, destinada à produção de forragem. Nesse ponto destaca-se o elevado potencial

de biomassa, ressaltando-se o elevado porte da variedade.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 7. Vista parcial de área de sorgo sacarino IPA 467, de 5,0 m de altura, para produção de silagem. Cultivo de sequeiro no sertão alagoano, localidade de Pão de Açúcar, 2013.

Cultivares de Sorgo de Duplo Propósito e Sudanense em Áreas do Semiárido – Manejo Diversificado

Na Figura 8 abaixo pode ser observada no estágio de colheita para silagem a variedade BRS Ponta Negra, da Embrapa. Essa cultivar vem apresentando características adaptativas ao ambiente de cultivo irrigado no semiárido com água salinizada classificada como C2S3, originária de poço.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 8. Sorgo variedade Ponta Negra, fase de colheita, cultivado com água (C2S3) de poço, às margens do Rio Moxotó, Ibimirim-PE, 2016.

Nas Figuras 9 e 10 podem ser observadas áreas de cultivo de sorgo para produção de grãos e aproveitamento de restolho. No ponto de colheita do grão observa-se que o restolho continua verde, caracterizando o “stay green” da cultivar, que pode também ser explorada para silagem, desde que colhida na fase de grãos leitosos/pastosos. Essa cultivar considerada de duplo propósito poderá ainda ser utilizada para pastejo direto, visando a exploração do restolho, após a colheita dos grãos (Tabosa et al., 2013).



Fotos: José N. Tabosa

Figura 9. Área de sorgo granífero/duplo propósito – IPA 1011 seleção 2000. No detalhe: grãos secos e biomassa ainda verde. No caso vertente a exploração é para grãos, seguida do restolho e/ou feno. Caruaru-PE, 2011



Fotos: José N. Tabosa

Figura 10. Vista parcial de um campo de produção de grão e de restolho da variedade de sorgo IPA 1011.

O sorgo forrageiro tradicional é de porte alto, altura de planta superior a 3 m, ciclo de médio a tardio e elevada produção de forragem. Já o tipo forrageiro silageiro possui porte médio, ciclo precoce e altura média de 2,50 m, com panícula compacta e bem granada, que pode ser colhida na fase leitosa/pastosa, para uma silagem enriquecida, como pode ser observado na Figura 11.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 11. Vista parcial de uma área de sorgo forrageiro/silageiro tradicional, tardio e de porte alto – SF 15. No detalhe, o sorgo de porte baixo é o forrageiro precoce para silagem com grão enriquecido – IPA 2564. Agreste de Pernambuco, 2011.

Na Figura 12 pode ser visto uma área de sorgo forrageiro de duplo propósito, precoce, para colheita de silagem enriquecida com os grãos, na fase leitosa/pastosa.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 12. Vista parcial de uma área de sorgo forrageiro precoce de porte médio – IPA 2502. São José do Egito, Sertão de Pernambuco, 2010.

Na Figura 13 abaixo pode ser observado o comportamento da variedade de sorgo sudanense IPA Sudan 4202, em áreas salinizadas de leitos secos de reservatórios de água no sertão central de Pernambuco. A variedade em tela foi selecionada para produção de biomassa em ambientes adversos de solos salinizados conforme registros configurados na literatura (Feijão et al., 2011; Medeiros, 2021; Nóbrega, 2020; Oliveira, 2011; Tabosa et al., 2007). Esse material genético vem apresentado comprovadamente tolerância

a esse fator adverso sob investigação bioquímica e também em condições de campo, tanto em solos salinos quanto sob irrigação com água salinizada.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 13. Sorgo sudão, em área salinizada, do leito seco do Açude do Saco. Serra Talhada, Sertão de Pernambuco, 2001.

Essa mencionada variedade apresenta ciclo precoce porte médio e elevado valor nutritivo de forragem, podendo ser colhida a intervalos de 40-50 dias. A sua aptidão principal é para feno. Pode, oportunamente, ser utilizada também para silagem. Na Figura 14, uma visão parcial de cultivo dessa variedade para exploração de corte e de feno.



Fotos: José N. Tabosa

Figura 14. Vista parcial de uma área de sorgo sudão IPA 4202, para corte e feno. No detalhe: fase de colheita para feno com intenso perfilhamento e fase de florescimento. Agreste de Pernambuco, 2013.

Níveis Máximos de Produtividade Experimental de Biomassa e de Grãos das Cultivares Desenvolvidas pelo IPA e Embrapa para a Região Semiárida

Na Tabela 5, a seguir, podem ser observados valores máximos de produtividade de grãos, matéria verde e de matéria seca (obtidos de um ou mais cortes) sob irrigação, sequeiro e condições adversas de salinidade e de estresse hídrico. Esses registros foram obtidos a partir de cultivares do IPA desenvolvidas para a região e também de cultivares da Embrapa potencialmente produtivas, frutos dos programas de melhoramento em diversos anos a partir de 1979. É importante colocar que esses ganhos em rendimentos foram obtidos de forma crescente ao longo dos anos, independentemente das variações de ordem climática.

Tabela 5. Níveis máximos de produtividade de sorgo no semiárido brasileiro: grãos, biomassa, sob rebrota e cortes sucessivos. Com e sem irrigação.

Localidade/ ambiente	Ano	Cultivares avaliadas	Nível de produtividade Alcançado	Fonte
Serra Talhada: Sertão central de Pernambuco sob irrigação com água de salinidade C3S2.	2015	Forageira/ sacarina: SF 15 e Ponta Negra	SF 15 – 35,8 (t/ ha de MS) Ponta Negra – 33,9 (t/ha MS)	Tabosa et al. (2016)
Piranhas: semiárido de Alagoas sob condição irrigada com água C1S1, somatório de quatro cortes sucessivos.	2015	Forageiras/ sacarinas: SF 15, EP 17, BRS 508, BR 506 e Qualimax	SF15 – 198 t/ha de MV e 63,3 t/ ha de MS; EP 17 – 211 t/ha de MV e 69,3 t/ ha de MS	Simplício et al. (2019)

Continua..

Tabela 5. Continuação

Localidade/ ambiente	Ano	Cultivares avaliadas	Nível de produtividade Alcançado	Fonte
Canindé do São Francisco: semiárido de Sergipe, sob condições irrigadas com água C1S1.	2008	Forageira/ sacarina: SF 15	194 t/ha de MV e 58 t/ha de MS	Tabosa et al. (2010)
Gararu: semiárido de Sergipe sob condição de sequeiro	1986	Forageira/ sacarina: 467-4-2	126 t/ha de MV e 50 t/ha de MS sob condição de sequeiro	Carvalho e Aragão (1989)
Upanema: semiárido do RN, sob irrigação de diferentes lâminas de água	2017	Forageiras/ sacarinas: SF 15 Ponta Negra BR 506 BRS 511 467-4-2	SF 15 – 58,2 e 25,6 P. N. – 48,0 e 21,9 BR 506 – 29,6 e 12,5 BRS 511 – 36,1 e 16,2 467-4-2 – 46,5 e 19,0 (de MV e MS em t/ha)	Costa (2017)
Sertânia: semiárido do sertão de PE, sob condição de estresse hídrico.	2013	Forageira/ sacarina: SF 15	32 t/ha de MV 10,2 t/ha de MS	Tabosa et al. (2013)

Tabela 5. Continuação

Localidade/ ambiente	Ano	Cultivares avaliadas	Nível de produtividade Alcançado	Fonte
Santa Maria da Boa Vista: sertão semiárido de PE, sob condição irrigada com água C1S1, em três colheitas sucessivas.	1978	Híbrido comercial de sorgo granífero/dupla finalidade	1º corte: 9.313 2º corte: 6.426 3º corte: 3.602 Total: 19.391 kg de grãos por hectare	Aguiar (1979)
Barreira-BA: área comercial, condição de sequeiro.	2015	Variedade de dupla finalidade IPA 1011	4.700 kg de grãos por hectare	Tabosa et al. (2013)
Perímetro irrigado de Bebedouro em Petrolina, 2017-2020: irrigação por gotejamento	2020	Variedades do IPA para silagem EP 17 e IPA SF 11; Variedades Embrapa 9910032, Ponta Negra	120,0 e 121,8 t/ ha de MV e 45,0 e 37,1 t/ha de MS de grãos respectivamente 13.393 e 10.285 kg/ha, de grãos respectivamente.	Regitano Neto e Santos (2020)

MV - matéria verde; MS - matéria seca

Os destaques do potencial de materiais genéticos de cultivares de sorgo são: 1 - níveis de produtividade de matéria seca de sorgo sob irrigação da ordem de 69,3 t/ha obtido a partir do somatório de quatro cortes sucessivos em um período de 280 dias; 2 - maior nível de produtividade de matéria seca de sorgo sob condição de sequeiro em um único corte, de 50,0 t/ha; 3 - maior produtividade de grãos de sorgo - somatório de três colheitas sucessivas em condições de irrigação: 19.391 kg/ha; 4 - maior produtividade de grãos de sorgo (variedade experimental da Embrapa 9910032) em uma única colheita sob regime de irrigação, 13.393 kg/ha. Estes resultados evidenciam o potencial produtivo do sorgo para a região.

Um ponto importante para se obter elevadas produtividades de lavoura é utilizar o zoneamento de risco climático do Mapa. Atualmente

é válido para as cultivares graníferas, em função principalmente do ciclo e da região de recomendação. A partir de 2021/2022 será implementado o zoneamento para as cultivares forrageiras.

O Zarc (Zoneamento Agrícola de Risco Climático) é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O estudo é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. De acordo com a Embrapa Milho e Sorgo, o Zarc referente ao ano-safra 2020/2021, para as culturas do sorgo granífero e do milheto, foi estabelecido pelas Portarias DOU de 303 a 350 (Brasil, 2021).

Recursos Genéticos / BAG - Banco Ativo de Germoplasmas - Caracterização, Conservação, Potencial de Uso e Inovação e Perspectivas Futuras

Os recursos genéticos compreendem um grupo de genótipos com o objetivo de disponibilizar características genéticas favoráveis e portadores de valores atuais e potenciais passivos de investigação, com o devido manejo, utilização e, sobretudo, conservados (Martins Netto, 2010). Esses denominados recursos genéticos vegetais são organizados no mundo, e também no Brasil, em forma de coleções que podem ser disponibilizadas ou mesmo trocadas: os bancos de germoplasmas.

O Banco de Germoplasma de Sorgo do IPA foi iniciado em 1973. Esse BAG foi implantado concomitantemente com a criação de um programa denominado de Sorgo e Milheto (PSM) na região Nordeste, com apoio da Fundação Ford, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e Banco do Nordeste do Brasil (BNB - FUNDECI). Este programa ficou a cargo do IPA até o final de 1979, e contou com a participação dos pesquisadores Mohamed A. Faris (pesquisador egípcio e líder de programa de pesquisas oriundo do órgão financiador) e Mário de Andrade Lira (emérito pesquisador e melhorista do IPA e professor da UFRPE, formador de escola e de equipes de pesquisadores, com atividades voltadas para o semiárido brasileiro).

Em prosseguimento ao desenvolvimento das pesquisas, apenas o BNB e a Sudene apresentaram expressivo apoio financeiro, até o início de 1990 (Swearing et al., 1971; Jonhson, 1978; Lira et al., 1986). A partir daí, o programa contou com recursos do estado de Pernambuco, da Financiadora

de Estudos e Projetos (Finep), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e de convênios com a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). O BAG do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, atualmente se localiza na sede da instituição, na cidade do Recife, constituindo suporte de armazenagem e de conservação.

Quanto à natureza, os acessos compreendem: materiais graníferos com e sem tanino no grão; materiais forrageiros, de dupla finalidade para grão e forragem e para etanol e forragem; materiais sacarinos e para energia; e acessos de natureza herbácea, de sorgo sudão [*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.]. Em cerca de 20% do BAG, já foi realizada caracterização molecular.

A criação do BAG de sorgo, do IPA, remonta ao final dos anos 60 e vem, de forma ininterrupta, através das décadas seguintes, dando continuidade ao trabalho inicial, visando enriquecer o acervo.

A caracterização molecular de parte do BAG de sorgo do IPA foi iniciada tomando como base aspectos ligados à recomendação para o semiárido. Assim, de acordo com Santos et al. (2010), esse trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a diversidade genética na coleção de acessos de materiais de sorgo do IPA, visando sua utilização em futuros trabalhos de seleção. Foram avaliados, nessa fase, acessos cultivados a partir de genótipos de sorgo gerados pelo IPA. A diversidade genética foi analisada por meio de marcadores do tipo RAPD. Com os 20 *primers* utilizados, foi amplificado um total de 737 bandas, sendo 34 polimórficas e 10 monomórficas, gerando 77% de genótipos polimórficos (Santos et al., 2010).

A partir dos acessos do BAG, o IPA desenvolve atividades de geração de novos materiais (cultivares) de sorgo, utilizando metodologias de melhoramento a partir de blocos de cruzamento, evoluindo até gerações avançadas e mantidas por autofecundação. As caracterizações são realizadas a partir de observações e mensurações, em condições de laboratório e campo, que compreendem caracteres de crescimento e fenologia, com base nos descritores específicos para esta espécie botânica.

Na Tabela 6 consta a descrição dos principais acessos de sorgo do BAG do IPA, que vêm sendo utilizados em programas de melhoramento, para o desenvolvimento de novos genótipos, para diferentes aptidões, no ambiente do semiárido brasileiro.

Tabela 6. Acessos do BAG do IPA

Grupo de acesso/ Aptidão	Dupla finalidade G/F	Dupla finalidade F/Em	FG	SC	HB	Coleção trabalho (F2/FN)	Total
Em avaliação/ mantidas	33	60	45	35	12	886	1.071
Cultivares registradas	2	2	2	1	1	-	8
RNC/Mapa Acessos obtidos via	15	10	-	-	3	-	28
Radiação gama							
Total	50	72	47	36	16	886	1.107

G/F – Granífero/forageiro; F/Em – Forrageiro/energia; SC – sacarino; FG – Forrageiro; SC – Sacarino; HB – Híbridos

Inicialmente, o BAG do IPA foi formado por mais de mil acessos originários de diversos institutos internacionais de conservação de germoplasma e pesquisas de melhoramento genético de sorgo, como ICRISAT; Texas A & M, Kansas e Purdue University (Estados Unidos); Colorado State University – Forth Collins, Estados Unidos; Instituições da Etiópia e da África do Sul, antiga Agrocere e Embrapa Milho e Sorgo.

Introduções, intercâmbio e avaliações de germoplasma vêm sendo realizados em cooperação com entidades de pesquisa como a Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Universidade Federal Rural de Pernambuco UFRPE, além de Institutos Federais (IFs). A partir desses materiais são desenvolvidos outros através de técnicas de cruzamento, seleção e de gerações avançadas por processos de autofecundações sucessivas.

O tipo de conservação executado, no Instituto, é por semente (do tipo *ex situ*) e varia de médio a curto prazo, sendo a coleção ativa sempre renovada. São usadas, para o acondicionamento das sementes, embalagens impermeáveis e herméticas e conservadas em câmara fria. Os acessos mantidos nessas condições são agrupados por variedade e chamados de

coleção de base de germoplasma semente. A coleção ativa (coleção de trabalho) é utilizada para pesquisa e caracterização e avaliação visando a exploração da variabilidade genética dos germoplasmas de sorgo, voltada para uso em programas de melhoramento.

A conservação dos acessos de sorgo é feita em câmara fria com temperatura de 10 °C e 30% de umidade relativa do ar. A viabilidade das sementes é periodicamente monitorada. O teste padrão de germinação das sementes, por acesso, é realizado no Laboratório de Análise de Sementes do IPA.

Aspectos do Melhoramento do Sorgo no Desenvolvimento de Materiais Genéticos para Região

Nos programas de melhoramento de sorgo direcionados para o semiárido, é necessário atentar para questões relacionadas principalmente às adversidades ambientais prevaletentes, como o estresse hídrico e a resistência à salinidade do solo, além da obtenção de cultivares precoces, tendo em vista, principalmente, a economia hídrica, por parte das plantas.

Entre os objetivos específicos do melhoramento genético do sorgo destacam-se principalmente: o aumento da produtividade (forragem, grão e energia na forma de etanol, como brix e ATR); adaptação ao semiárido brasileiro; elevação da qualidade nutricional das cultivares, dependendo da exigência do produto final para uso animal; além da obtenção de cultivares de ciclo precoce. Aliado a tudo isso, é importante destacar a necessidade de um manejo cultural e ambiental sustentável, por parte dos produtores, de modo a possibilitar a máxima expressão fenotípica dos novos materiais genéticos selecionados e recomendados (Amabile et al., 2018).

Para obtenção de novas variedades de sorgo, o método mais simples e prático é o de *pedigree* ou método genealógico, sendo as gerações avançadas através de seleção e autofecundações sucessivas, em conformidade com Poehlman e Sleper (1995). Esse processo também é utilizado nos materiais obtidos por indução e radiação gama, em que uma fonte de cobalto 60 (Co 60) poderá induzir possíveis e favoráveis mutações genéticas. *A posteriori*, seleções serão realizadas no foco da obtenção de novas progênies em atendimento às exigências da demanda regional. Nesse processo de utilização de radiação gama, foram obtidos resultados de genótipos de sorgo tolerantes à salinidade sob níveis de condutividade elétrica entre 15 e 30 dSm⁻¹. A dose de radiação gama que permitiu esse ganho foi de 450 Gy. As alterações

genéticas obtidas foram comprovadas através de análises decorrentes do uso de marcadores moleculares do tipo microssatélites SSR – Sequências Simples Repetidas que caracterizaram essas alterações configuradas pelas diferenças de respostas observadas entre os materiais irradiados e o material sem irradiação (Tabosa et al., 2007).

Uma das principais características utilizadas para selecionar genótipos de plantas cultivadas tolerantes à seca é a produtividade. Mas essa variável é respaldada em outras diversas características secundárias: capacidade da planta de permanecer verde (“stay green”), relação favorável e adequada raiz/parte aérea, comprimento e volume das raízes, ciclo curto, etc. Outro fato relevante consiste na adaptação às condições de estresse hídrico, que poderão ser determinadas pelos alelos favoráveis à essa característica, quando em condições de seca.

O controle genético da tolerância a estresses ambientais e a eficiência de utilização desses atributos pela planta abrangem aspectos quantitativos, envolvendo muitos genes localizados, de forma aleatória, em muitos pontos do genoma. Esses aspectos tornam complexo esse tipo de seleção para tolerância ao estresse hídrico (Wu et al., 2008). Em face disso, é importante e necessária a possível utilização de caracteres secundários, contribuindo para que o processo de seleção apresente maior precisão. O controle genético dos caracteres de tolerância ao déficit hídrico é quantitativo. Nesse âmbito, novos modelos estatísticos-genéticos foram desenvolvidos no sentido de possibilitar o mapeamento e o entendimento dos locos (QTLs) que, possivelmente, são responsáveis pelo controle dos mencionados caracteres (Araus et al., 2012).

Assim, a utilização do melhoramento de sorgo compreende processos de obtenção de populações, linhagens e de hibridação de progenitores distintos que possibilitem combinações de alelos adequados oriundos de genitores distintos, no sentido de desenvolver a formação de novas cultivares que reúnam a maior quantidade de características desejáveis (Gomes et al., 2006). No caso de sorgo para produção de silagem, segundo Rodrigues (2014), a seleção somente baseada em características como a produção de matéria seca nem sempre proporciona maior rendimento animal, sendo mais importante o equilíbrio entre colmo, folha e panícula, associado a uma elevada produtividade de matéria seca e um adequado e alto valor nutritivo.

A diversificação das opções de cultivares de sorgo é fundamental para uma maior competitividade no âmbito da cadeia produtiva. Nesse processo, as cultivares promissoras previamente identificadas na população-

base são avaliadas em ensaios regionais, que possivelmente permitirão avaliar e visualizar aquelas que apresentem ampla adaptação geral ou específica, direcionando o processo de lançamento. Ensaios de competição entre cultivares são realizados todos os anos, em diversas regiões do País, pela Embrapa Milho e Sorgo e, em extensão, pelas empresas estaduais de pesquisa agropecuária, almejando avaliar várias cultivares (variedades e híbridos experimentais) no sentido de atender à demanda de cultivares e informações sobre esta cultura (Almeida Filho et al., 2012).

Como resultado do melhoramento do sorgo no semiárido no caso de cultivares que apresentaram resposta significativa e adequada para o aspecto de produção de biomassa e de grãos, existe na literatura uma grande quantidade de informações. No caso da produção de grãos, resultado da ordem de 19 toneladas por hectare já foi obtido por Aguiar (1979), considerado o maior já registrado, isso sob irrigação e em três colheitas sucessivas. Todavia, essa vertente vem atualmente sendo avaliada no tocante ao sorgo irrigado para alta produtividade. Nesse ponto, as informações são praticamente escassas quando comparadas com outras culturas anuais e mesmo com novos materiais de sorgo desenvolvidos para a região semiárida. Em publicação de Regitano Neto e Santos (2020), são veiculadas informações significativas e promissoras para a adequada resposta de cultivares de sorgo sob irrigação por gotejamento no semiárido das localidades de Petrolina e de Nossa Senhora da Glória, nos estados de Pernambuco e de Sergipe, respectivamente. As mais elevadas produtividades de matéria verde foram de 121,8 e 120,0 t/ha, e de matéria seca foram de 37,1 e 45,0 t/ha para as cultivares EP 17 e IPA SF 11, respectivamente, em um único corte. Nesses mesmos ambientes foram também obtidas produtividades de grãos de 13.393 e 10.285 kg/ha, para as cultivares da Embrapa 9910032 e BRS Ponta Negra, respectivamente. Esses níveis de produtividade são considerados muito elevados quando comparados aos resultados obtidos na literatura, não só no semiárido, mas em todo Brasil.

Com relação ao estudo da exploração da interação genótipos x ambientes, é relatado que a expressão das características das plantas cultivadas está ligada ao controle genético, ao ambiente e também sofre interferências da interação entre esses dois fatores (Mohammad; Amri, 2009). No melhoramento genético de plantas, o estudo da interação genótipo x ambiente é de extrema importância, quando a pretensão é a recomendação de genótipos. Entretanto, o estudo desta interação não informa a resposta de cada cultivar diante das variações ambientais, sendo necessárias as análises

de adaptabilidade e estabilidade (Cruz et al., 2012).

Existem diferentes metodologias voltadas para estudos de estabilidade, as quais são amplamente discutidas e distinguem-se pelos conceitos de estabilidade, adaptabilidade e princípios estatísticos empregados. Molina (2007), ao estudar métodos estatísticos na avaliação de interação genótipo x ambiente, relata 17 metodologias fundamentadas nos seguintes princípios: cinco métodos baseados em análise de variância; quatro métodos baseados em análise de regressão linear simples; quatro métodos baseados em análise de regressão linear bissegmentada; um método baseado em regressão quadrática; quatro métodos baseados em análise não lineares; três métodos baseados em análises não paramétricas, como a ordem de classificação genotípica. Além desses, são também relatados os métodos baseados em análises multivariadas que integram a análise comum de variância (método univariado) com a análise de componentes principais (método multivariado): método de análise da interação multiplicativa dos efeitos principais aditivos (AMMI), SREG, GREG, SHMM e COMM (Cornelius et al., 1996).

Com isso, e com o auxílio dessas técnicas mencionadas, como fruto de cultivares desenvolvidas pelos programas de melhoramento no semiárido brasileiro, vem sendo alvo de investigação científica um grande número de cultivares de uso multivariado que foram desenvolvidas pelo IPA e pela Embrapa.

Importância das Cultivares de Sorgo Desenvolvidas para o Semiárido Brasileiro – Registro de Atividade em Instituições de Ensino e Pesquisa da Região

Além do IPA, outras instituições localizadas na região, a partir dos anos 1970, vêm desenvolvendo atividades com a cultura do sorgo e utilizando cultivares (desenvolvidas em sua maioria pelo IPA e pela Embrapa) objeto e fruto do melhoramento, conforme pode ser observado na Tabela 7. Destacou-se também desse modo a UFC - Universidade Federal do Ceará, com um programa de sorgo e milheto com aporte técnico e financeiro da Fundação Ford. Nesse período, a UFC desenvolveu diversos materiais de sorgo forrageiro e granífero com a denominação EA (BAG da antiga Escola de Agronomia). Dentre esses materiais destacaram-se como produtivas e adaptadas à região semiárida as variedades EA 116 e EA 955, além de híbridos experimentais EA 1906 e EA 1907. Da Tabela abaixo, a UFC representa 52% das atividades desenvolvidas e divulgadas com a cultura do sorgo na

região. Além da UFC, outra instituição que vem atualmente desenvolvendo atividades com a cultura do sorgo é a UFERSA – Universidade Federal Rural do Semiárido, antigamente representada pela ESAM – Escola Superior de Agronomia de Mossoró. A grande maioria das cultivares aí trabalhadas são oriundas da Embrapa e do IPA, no âmbito da resistência a fatores adversos ocorrentes da região – estresse hídrico e salinidade.

Tabela 7. Cultivares de sorgo utilizadas em atividades de pesquisa na região (além da Embrapa e IPA) por instituições locais, linhas temáticas e ano.

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFC	Forragicultura	Barrocas (1983)	Cultivar EA 116
IFCE	Fitotecnia	Gonçalves et al. (2012)	IPA SF 15 e Ponta Negra
EMPARN / UFRN	Fitomelhoramento	Cunha e Lima (2010)	Progênie avançada IPA/ Embrapa
EMPARN – RN	Fitomelhoramento	Lima et al. (2010)	Variedades e híbridos IPA/ Embrapa
UFC	Bioquímica e Fisiologia Vegetal: sorgo tolerante à salinidade	Silva (2015)	Cultivares IPA SF 11 e SF 15
UFERSA	Ecofisiologia	Silva et al. (2014)	Ponta Negra
UFERSA	Ecofisiologia e Melhoramento	Costa et al. (2017)	BRS 506, BRS 511, BR 506, IPA SF 11 e SF 15, Ponta Negra.
UFERSA	Ecofisiologia e Melhoramento	Costa et al. (2019)	BRS 506, Ponta negra e IPA 2502.

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFERSA	Ecofisiologia e Melhoramento	Medeiros (2021)	Ponta Negra
UFERSA	Ecofisiologia/ Engenharia Agrícola	Nóbrega (2020)	IPA Sudan 4202
UFERSA	Fitomelhoramento	Fernandes et al. (1988)	IPA 467
UFMG	Fitotecnia e Manejo Animal	Nascimento (2019)	Híbridos Embrapa/ Variedades do IPA
UFPB	Agroclimatologia aptidão do sorgo para a Paraíba	Francisco et al. (2016)	Genótipos do Zoneamento
EMEPA	Fitotecnia e aptidão forrageira	Santos e Granjeiro (2013)	Ponta Negra/ IPA Sudan 4202
UFERSA	Melhoramento	Fernandes et al. (1992)	EA 116 / IPA 1011
EMBRAPA	Melhoramento	Carvalho e Aragão (1989)	Progênes avançadas IPA/ EMBRAPA
EMBRAPA	Melhoramento	Carvalho et al. (2006)	Progênes avançadas IPA/ Embrapa
EMBRAPA	Melhoramento	Carvalho et al. (2006)	Progênes avançadas IPA/ Embrapa

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
EMBRAPA	Melhoramento	Carvalho e Serpa (1995)	Cultivares comerciais de sorgo granífero.
UFC	Bioquímica vegetal/ melhoramento	Ferreira (2012)	Cultivar CSF 20 tolerante à salinidade.
UNEB	Genótipos comerciais e sorgo	Quadros et al. (2019)	BRS-610, IPA-1011, IPA-467, SF-15 e SS-318
UFC	Interação genótipo /ambiente	Lacerda et al. (2006)	Genótipo CSF 20.
UFC	Bioquímica/ Genética	Miranda (2011)	Genótipo CSF 20.
UFERSA	Fitotecnia	Costa (2017)	BRS 511, BRS 508, IPA 467, IPA SF 15 e Ponta Negra.
UFC	Bioquímica/ Melhoramento	Oliveira (2017)	IPA Sudan 4202 e CSF 20
UFC	Bioquímica/ melhoramento	Oliveira e Gomes Filho (2009)	CSF 18 e CSF 20.
UFC	Fitotecnia	Ruppenthal (2016)	CSF 18 e CSF 20.

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFC	Bioquímica/ melhoramento	Marinho (2020)	CSF 20
UFC	Bioquímica	Oliveira e Gomes Filho (2009)	IPA 1011
UFC	Fitotecnia	Xavier (1985)	EA – 955, EA - 116
UFC	Seleção para estresses abióticos	Nunes et al. (2020)	EA 116, Ponta Negra.
UFC	Bioquímica vegetal e Ecofisiologia	Aquino et al. (2007)	CSF18 e CSF 20.
UFC	Bioquímica vegetal e Ecofisiologia.	Feijão et al. (2011)	IPA SUDAN 4202
UFCG	Engenharia de Processos	Silva (2019)	SF 15
UFCG	Engenharia de Processos - Etanol de 1ª e 2º geração	Silva (2017)	BRS 506, SF 15, IPA 2502 e EP 17.
UFC	Forragicultura Agroecológica	Vasconcelos Filho et. al. (2010)	EA – 955
UFC	Nutrição de Plantas	Castañon (2015)	Ponta Negra.

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFRPE/ UNIVASF	Ciências do Solo	Coelho (2017)	BRS 506, SF 15, IPA 467, EP 17.
UFB	Híbridos silageiros para o semiárido	Perazzo et al. (2017)	Híbridos Embrapa 944007 e outros.
UFPB	Eficiência em uso de água: genótipo tolerante à seca	Santos et al. (2020)	IPA SUDAN 4202
UFB	Cultivares para o semiárido	Perazzo et al. (2013)	IPA 1011, 2502, 467, SF 15.
UFC	Genótipos tolerantes à salinidade do solo.	Vieira et al. (2005)	IPA CSF 18 e CSF 20.
UFC	Fisiologia e bioquímica do sorgo	Queiroz et al. (2020)	IPA CSF 20
UFPI	Cultivares de sorgo para o semiárido	Nascimento et al. (2020)	Cultivares da Embrapa e do IPA
UFERSA	Ecofisiologia do sorgo	Medeiros (2021)	IPA Sudan 4202
UFC	Ecofisiologia e Bioquímica do sorgo	Oliveira (2011)	IPA Sudan 4202
UFERSA	Manejo do solo e da água	Lira (2016)	BRS Ponta Negra, BRS 506 e IPA 2502

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFC	Ciências do solo	Pinto (2011)	EA 955
UFC	Fisiologia vegetal	Carmo e Braga Sobrinho (1975)	EA 116, EA 955
UFC	Fisiologia vegetal	Akil e Araújo (1980)	EA 116, EA 955
UFC	Bioquímica vegetal	Prisco et al. (1975a)	EA 116
UFC	Bioquímica e fisiologia vegetal	Prisco et al. (1975b)	EA 116
UFC	Tecnologia de sementes	Prisco et al. (1975c)	EA 116
UFC	Bioquímica vegetal	Martins et al. (1977)	EA 116, AF 28
UFC	Tecnologia de sementes	Aragão et al. (1978)	EA 145
UFC	Fitomelhoramento	Santos e Mesquita (1980)	EA 116, EA 955
UFC	Fitomelhoramento	Carmo et al. (1975a)	BAG de sorgo da UFC – Coleção EA
UFC	Tecnologia de sementes	Akil e Queiroz (1978)	BAG de sorgo da UFC – Coleção EA

Continua...

Tabela 7. Continuação

Instituição ¹	Linha temática	Autores	Notas/ Genótipos de sorgo utilizados
UFC	Fitomelhoramento	Carmo et al. (1976)	Híbridos da UFC (EA) x Variedades
UFC	Fitomelhoramento	Nunes et al. (1975)	BAG sorgo da UFC – Coleção EA
UFC	Fitomelhoramento	Carmo et al. (1975b)	Híbridos comerciais x variedades EA
UFC	Fitomelhoramento	Carmo et al. (1972)	Linhagens Purdue x BAG da UFC – EA
UFC	Fitomelhoramento	Alves et al. (1985)	Híbridos EA 1906 e EA 1907 x variedades EA 949 e EA 952
UFC	Fitomelhoramento	Brasil et al. (1980)	Indian sorghum x coleção EA

* Instituições relacionadas: UFC – Universidade Federal do Ceará; IFCE – Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia do Ceará; EMPARN – Empresa de pesquisa agropecuária do Rio Grande do Norte; UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte; UFERSA-RN – Universidade Federal Rural do Semiárido; UFCG – Universidade Federal de Campina Grande; UFPB – Universidade Federal da Paraíba; EMEPA-PB – Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba; EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; UFAL – Universidade Federal de Alagoas; UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco; UNIVASF – Universidade Federal do Vale do São Francisco; UFPI – Universidade Federal do Piauí.

Referências

AGUIAR, P. A. A. Potencial anual de produção de sorgo granífero sob condições irrigadas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 12., 1978, Goiânia, GO. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa-DID, 1979. p. 119.

AKIL, B. A.; ARAÚJO, A. X. A. Seed deterioration and induction of secondary dormancy in grain sorghum. **Ciência Agronômica**, v. 10, n. 1, p. 15-21, 1980.

AKIL, B. A.; QUEIROZ, G. M. Seed storage capacity of different grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) cultivars. **Ciência Agronômica**, v. 8, n. 1/2, p. 65-71, 1978.

ALMEIDA FILHO, J. E. **Avaliação agronômica e de estabilidade e adaptabilidade de híbridos de sorgo granífero**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

ALVES, J. F.; CARMO, C. M.; PAULA, P. H. F. Estabilidade de produção em sorgo forrageiro, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 16, n. 2, p. 7-11, 1985.

AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. (ed.). **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. 108 p.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS PRODUTORES DE SEMENTES E MUDAS. **Grupo Pró-Sorgo: evolução da área e produção do sorgo no Brasil**. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/dado-estatisticos/>. Acesso em: 2 fev. 2020.

AQUINO, A. J. S. de; LACERDA, C. F. de; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 961-971, 2007.

ARAGÃO, R. G. M.; CORDEIRO, J. A. D.; ALBUQUERQUE, M. C. E.; ALVES, J. F. Efeitos do ácido giberélico (AG3) na porcentagem e velocidade de germinação de sorgo - *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 8, n.1/2, p. 97-102, 1978.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; CORREIA, R. C.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; ARAÚJO, J. L. P.; SILVA, M. M. de L. Ambientes e solos do semiárido: potencialidades, limitações e aspectos socioeconômicos. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (ed.). **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. p. 19-84.

ARAUS J. L.; SERRET M. D.; EDMEADES G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. **Front Plant Physiology**, v. 3, article 305, 2012.

BARROCAS, F. A. L. **Efeito do Estádio de maturidade sobre o valor nutritivo da silagem de sorgo forrageiro - *Sorghum bicolor* (L) Moench, cultivar EA-116**. 1983. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1983.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 20. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 547 p.

BRASIL, G. A.; CARMO, C. M.; ALVES, J. F. Comportamento do sorgo forrageiro. **Ciência Agronômica**, v. 10, n. 1, p. 83-87, 1980.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Novos zoneamentos do sorgo granífero e do milho orientam produção agrícola**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/novos-zoneamentos-do-sorgo-granifero-e-do-milho-orientam-producao-agricola>. Acesso em: 2 mar. 2021.

CARMO, C. M.; FARIS, M. A. E.; AGUIAR, P. A. A. Ensaio internacional de produção em sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Ciência Agronômica**, v. 2, n. 1, p. 71-74, 1972.

CARMO, C. M.; BRAGA SOBRINHO, R. Influência do tamanho da semente no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 33-38, 1975.

CARMO, C. M.; NUNES, R. P.; MAMEDE, F. B. F. Comportamento do sorgo granífero, *Sorghum bicolor* (L.) Moench., no estado do Ceará, Brasil: I – Produção de grãos de dez variedades em seis microrregiões homogêneas. **Ciência Agronômica**, v. 6, n.1/2, p. 71-74, 1976.

CARMO, C. M.; NUNES, R. P.; BOUTY, F. A. C. Comportamento do sorgo forrageiro, *Sorghum bicolor* (L.) Moench., no estado do Ceará, Brasil: II – Produção de massa verde de híbridos comerciais em duas microrregiões homogêneas. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 25-32, 1975a.

CARMO, C. M.; NUNES, R. P.; BOUTY, F. A. C. Comportamento do sorgo granífero, *Sorghum bicolor* (L.) Moench., no estado do Ceará, Brasil: III – Produção de grãos de híbridos comerciais em duas microrregiões homogêneas. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 103-108, 1975b.

CARVALHO, A. L. S. **Seleção de genótipos de sorgo para produção de silagem**. 2019. 80 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

CARVALHO, H. W. L. de; ARAGÃO, W. M. **Avaliação de cultivares de sorgo forrageiro no estado de Sergipe. I - Comportamento de Progênes avançadas em Nossa Senhora da Glória, Gararu e Propriá**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1989. 29 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa, 4).

CARVALHO, H. W. L. de; PACHECO, E. P.; TABOSA, J. N.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G. dos; BRITO, A. R. de M. B.; OLIVEIRA, V. D. de; RODRIGUES, K. F.; SOUZA, E. M. de; RIBEIRO, S. **Adaptabilidade e estabilidade de linhagens avançadas de sorgo forrageiro no estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 17 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 14).

CARVALHO, H. W. L. de; SERPA, J. E. S. **Avaliação de cultivares de sorgo granífero no estado de Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1995. 6 p. (Pesquisa em Andamento, 33).

CASTAÑON, T. H. F. M. **Efeitos de diferentes formas e fontes de enxofre na produção de biomassa, nas características nutricionais do sorgo forrageiro e nas propriedades do solo.** 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

COELHO, D. S. **Potencial de cultivares de sorgo sacarino irrigadas com águas salinas.** 2017. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

CORNELIUS, P. L.; CROSSA, J.; SEYEDSADR, M. S. Statistical test and estimator of multiplicative model for genotype-by environment interaction. In: KANG, M. S.; GAUCH JÚNIOR, H. G. (Ed.). **Genotype-by environment interaction.** New York: Boca Raton, 1996. p. 199-234.

COSTA, A. R. F. C. da; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F. de; SILVA, M. V. T. da; LINO, V. A. da S. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417-428, 2019.

COSTA, J. P. N. da. **Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação.** 2017. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, R. M. de A.; CAVALCANTE JÚNIOR, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 449-459, 2017.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 4. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 514 p.

CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P. de. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010.

FAO. Food Agriculture Organization. **Faostat 2019.** Roma, 2019. Disponível em: <http://www.faostat.org/site/567/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

FEIJÃO, A. R.; SILVA, J. C. B. da; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. **Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 675-683, 2011.

FERNANDES, M. B.; CASTRO, J. R. de; AQUINO, B. F. de; FERNANDES, V. L. B.; ALVES, J. S.; GÓIS, F. C. de. Adaptabilidade de cultivares de sorgo granífero à solos salinos da microrregião salineira do estado do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 217-222, 1992.

FERNANDES, M. B.; CASTRO, J. R. de; FERNANDES, V. L. B.; AQUINO, B. F. de; ALVES, J. S.; GOIS, F. C. de. Adaptabilidade de cultivares de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) às condições de salinidade da microrregião salineira norterio-grandense. **Ciência Agronômica**, v. 19, n. 1, p. 135-140, 1988.

FERREIRA, T. M. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BANDEIRA, M. M.; GUIMARÃES, C. L.; CABRAL, D. E. C. Aptidão climática do sorgo (*Sorghum bicolor*) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1043-1057, 2016.

GOMES, M. de S.; VON PINHO, R. G.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Alternativas para seleção de híbridos de milho envolvendo vários caracteres visando à produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 3, p. 406-421, 2006.

GONÇALVES, J. F. A.; FROTA, M. V. A.; VIEIRA, M. M. M. Desenvolvimento de sistema de produção para o cultivo do sorgo nos vales do Curu e Aracatiaçu-Ceará. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas. **Ciência, tecnologia e inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional: anais**. Palmas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, 2012.

GRIFFING, B. Concept general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v. 39, n. 6, p. 789-809, 1954.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**: produção agrícola municipal. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 6 nov. 2017.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**: produção agrícola municipal. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 6 fev. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 25 abr. 2021.

JONHSON, D. O sorgo granífero no nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 9, n. 4, p. 483-500, 1978.

LACERDA, C. F. de; MORAIS, H. M. de; MICHAEL, H.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 258-263, 2006.

LIMA, J. M. P.; MEDEIROS, A. C.; GONÇALVES, R. J. de S.; LIMA, J. G. A.; TABOSA, J. N.; LIRA, M. A.; SOBRINHO, E. E. Comportamento de cultivares de sorgo sacarino no agreste potiguar no estado do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 354-358.

LIRA, R. B. **Cultivo do sorgo usando água de esgoto doméstico tratado como fonte hídrica**. 2016. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

LIRA, M. A.; ARAÚJO, M. R. A.; MACIAL, G. A.; FREITAS, E. V.; ARCOVERDE, A. S. S.; LEIMIG, G. Comportamento de novas progênes de sorgo forrageiro para o semiárido pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 11, p. 1239-1246, 1986.

MARINHO, S. de O. P. **Respostas fisiológicas e metabólicas mediadas pela fonte de nitrogênio: papel do NH₄⁺ na tolerância de plantas de sorgo sob salinidade**. 2020. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MARTINS, A. J.; SANTOS, J. G. R.; ARAGÃO, R. G. M.; VIEIRA, F. V.; CARMO, C. M. Influência do teor de tanino em genótipos de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench., sobre o ataque da *Contarinia sorghicola* (Coquillet, 1898) (Dip., Cecidomyiidae). **Ciência Agrônômica**, v. 7, n. 1/2, p. 125-134, 1977.

MARTINS NETTO, D. A. **Coleção de base e coleção ativa: banco de germoplasma de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 27 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 99).

MEDEIROS, J. F. **Pesquisa comprova viabilidade da produção de sorgo em ambientes com alta salinidade**. Disponível em: <https://www.fundaj.gov.br/index.php/plantas-xerofilas/11752-pesquisa-comprova-viabilidade-da-producao-de-sorgo-em-ambientes-com-alta-salinidade>. Acesso em: 5 abr. 2021.

MIRANDA, R. D. E. S. **Influência de diferentes fontes de N inorgânico na regulação da homeostase K⁺/Na⁺ e nas respostas fisiológicas de plantas de sorgo forrageiro ao estresse salino**. 2011. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Analysis of genotype x environment interactions for grain yield in durum wheat. **Crop Science**, v. 49, n. 4, p. 1177-1186, 2009.

MOLINA, L. M. R. **Um estudo sobre métodos estatísticos na avaliação de interação genótipo x ambiente em linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

MONTALVAN, R.; FARIA, R. T. Variabilidade genética e germoplasma. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999. p. 27-38.

NASCIMENTO, R. R. do. **Características agronômicas e composição química entre híbridos de sorgo forrageiro**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

NASCIMENTO, R. R.; EDVAN, R. L.; PEREIRA FILHO, J. M.; RODRIGUES, J. A. S.; ARAÚJO, M. J.; SILVA, A. L. da; NASCIMENTO, K. dos S.; SANTOS, C. O. Identification of sorghum hybrids for silage production in the semiarid (BSh) region of northeastern Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 6, p. 2803-2814, 2020.

NÓBREGA, R. F. da. **Efeito da salinidade e lâminas de irrigação sobre o crescimento e produtividade do sorgo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020.

NUNES, L. R. de L.; CRUZ, M. C.; PINHEIRO, C. L. Germination and vigour in genotypes of forage sorghum at different levels of water and salt stress. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, p. 1975-1986, 2020.

NUNES, R. P.; CARMO, C. M.; MAMEDE, F. B. F. Comportamento do sorgo forrageiro, *Sorghum bicolor* (L.) Moench., no estado do Ceará, Brasil: I - Produção de massa verde em dez variedades em sete microrregiões homogêneas. **Ciência Agrônômica**, v. 5, n. 1/2, p. 109-114, 1975.

OLIVEIRA, F. D. B. **Análise fisiológica e proteômica de plantas de sorgo sob estresse salino e nutridas com diferentes doses de nitrogênio**. 2017. 104 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

OLIVEIRA, V. P. de. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de *Sorghum bicolor* e *Sorghum sudanense* sob condições de salinidade**. 2011. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

OLIVEIRA, A. B. de; GOMES-FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 48-56, 2009.

PERAZZO, A. F.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, E. M.; BEZERRA, H. F. C.; SILVA, T. C.; PEREIRA, G. A.; RAMOS, R. C. S.; RODRIGUES, J. A. S. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, article 1088, 2017.

PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; CAMPOS, F. S.; RAMOS, J. P. de F.; AQUINO, M. M. de; SILVA, T. C. da; BEZERRA, H. F. C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013.

PINTO, O. R. O.; AZEVEDO, B. M.; MARINHO, A. B.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. A.; BRAGA, E. S. Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo método convencional de irrigação. **Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 132-140, 2011.

POEHLMAN, J. M.; SLEPER, D. **A Breeding field crops**. 4rd ed. Ames: Iowa State University Press, 1995.

PRISCO, J. T.; BARBOSA, L.; FERREIRA, L. G. R. Efeitos da salinidade na germinação e vigor de plântulas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 13-17, 1975a.

PRISCO, J. T.; BARBOSA, L.; FERREIRA, L. G. R. Reguladores do crescimento e a reversão dos efeitos inibitórios da salinidade na germinação e vigor de plântulas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 25-32, 1975b.

PRISCO, J. T.; BARBOSA, L.; FERREIRA, L. G. R. Pré-embebição como meio para sobrepujar os efeitos inibitórios da salinidade na germinação de sementes de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Ciência Agronômica**, v. 5, n. 1/2, p. 19-23, 1975c.

QUADROS, D. G. de; TELES, E. B. de S.; SANTOS, L. H. B. dos; ANDRADE, A. P. Características agronômicas e rendimento forrageiro de genótipos comerciais de sorgo forrageiro na região oeste da Bahia. **Revista Agraria Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 45-59, 2019.

QUEIROZ, C. S. de; PEREIRA, I. M. C.; LIMA, K. R. P.; BRET, R. S. C.; ALVES, M. S.; GOMES-FILHO, E.; CARVALHO, H. H. de. Combined NaCl and DTT diminish harmful ER-stress effects in the sorghum seedlings CSF 20 Variety. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 147, p. 223-234, 2020.

REGITANO NETO, A.; SANTOS, R. D. Agronomic traits evaluation in irrigated sorghum in the brazilian semiarid. **Revista brasileira de milho e Sorgo**, v. 19, e1179, 2020.

RODRIGUES, J. A. S. Híbridos de sorgo forrageiro: Onde estamos? Para onde vamos? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 7., 2014, Viçosa. **Anais....** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014. p. 301-328.

RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; TABOSA, J. N. Utilização do sorgo na nutrição animal. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 229-246. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

ROONEY, L. W. **Food and nutritional quality of sorghum and millet**. Nebraska: INTSORMIL, 2007. 115 p.

RUPPENTHAL, V. **Respostas fisiológicas e bioquímicas de plântulas de sorgo sob estresse salino e supridas com silício e fósforo**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. H. M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F.; ARAÚJO, L. S.; GONZAGA, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 265, p. 14-21, 2020.

SANTOS, J. H. R.; MESQUITA, A. L. M. Estudo da idade para desbaste em sorgo granífero *Sorghum bicolor* (L.) Moench, no estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, v. 1, n. 2, p. 25-38, 1980.

SANTOS, I. L. V. L.; SILVA, P. G.; LIMA JÚNIOR, S. F.; SOUZA, P. R. E.; TABOSA, J. N.; MAIA, M. D. Utilização de RAPD na caracterização molecular de acessos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. (Moench.) recomendados para Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 60-66, 2010.

SANTOS, J. F. dos; GRANGEIRO, J. T. Performance of sorghum cultivars for forage and grain in Paraíba state. **Tecnologia & Ciencia Agropecuária**, v. 7, n. 2, p. 49-55, 2013.

SILVA, J. L. de A.; MEDEIROS, J. F. de; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. de A. de; SILVA JÚNIOR, M. J. da; NASCIMENTO, I. B. do. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 566-572, 2014. Suplemento.

SILVA, M. J. V. da. **Avaliação no potencial de diferentes cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de etanol de 1ª e 2ª geração**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SILVA, M. L. dos S. **Avaliação da Tolerância à salinidade em quatro genótipos de sorgo sacarino**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, R. de A. **Produção de enzimas celulolíticas e xilanolítica a partir do bagaço do sorgo sacarino por fermentação semissólida e submersa**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

SIMPLÍCIO, J. B.; TABOSA, J. N.; BARROS, A. H. C.; SILVA, F. G.; SILVA FILHO, J. G.; ANDRADE, J. J. Avaliação de diferentes cultivares de sorgo irrigado e submetidos a quatro cortes sucessivos no semiárido alagoano. In: PEREIRA, A. I. A. (Org.). **De grão em grão**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2019. p. 22-32.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Nota Técnica nº 023/2017**. Recife, 2017. Disponível em: <http://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/nota-tecnica-23-2017-sudene>. Acesso em: 15 de jan. 2021.

SWEARINGIN, M. L.; FOLEY, J. R.; MORRIS, W. H. B.; NEVES, J. D. **Sorgo granífero para o nordeste brasileiro**: estudo de viabilidade. Washington: Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional, 1971. 148 p.

TABOSA J. N.; BARRROS, A. H. C.; SILVA, F. G. da; BRITO, A. R. de M. B.; SIMÕES, A. L.; MESQUITA, F. L. T. de; NASCIMENTO, M. M. A. do; SILVA FILHO, J. G. da; FRANÇA, J. G. E. de; SILVA, A. B. da; FERRAZ, I.; CARVALHO, E. X. de; CORDEIRO, A. L.; SIMPLÍCIO, J. B. Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do agreste, sertão e afins do semiárido brasileiro. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (ed.). **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. p. 515-569.

TABOSA, J. N.; RODRIGUES, J. A. S.; SIMPLÍCIO, J. B.; BRITO, A. R. M. B.; SANTOS, V. F.; NASCIMENTO, M. M. A. Variedades experimentais de sorgo forrageiro no semiárido brasileiro - Parâmetros genéticos de produção em solos salinos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo**: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

TABOSA, J. N.; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. de M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo do sorgo no semiárido brasileiro: potencialidades e utilizações. In: FIGUEIREDO, M. do V. B.; SILVA, D. M. P. da; TABOSA, J. N. BRITO, J. Z. de; FRANÇA, J. G. E. de; WANDERLEY, M. de B.; SANTOS FILHO, A. S. dos; GOMES, E. W. F.; LOPES, G. M. B.; OLIVEIRA, J. de P.; SANTIAGO, A. D.; SILVA, F. G. da; PACHECO, M. I. N.; SILVA, C. C. F. da (Ed.). **Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável**. Recife: IPA, 2013. p. 133-162.

TABOSA, J. N.; COLAÇO, W.; REIS, O. V.; SIMPLÍCIO, J. B.; CARVALHO, H. W. L.; DIAS, F. M. Sorghum genotypes evaluation under salinity levels and gamma ray doses. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 3, p. 339-350, 2007.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V. dos; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, J. M. P. de; SILVA, F. G. da; FILHO, J. G. S.; BRITO, A. R. M. B.; RODRIGUES, J. A. S. O sorgo sacarino no semi-árido brasileiro: elevada produção de biomassa e rendimento de caldo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Anais...** Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.

VASCONCELOS FILHO, A. R. B.; SIZENANDO FILHO, F. A.; OLIVEIRA, M. J. de S.; SALES, R. de O. Composição químico-bromatológica do sorgo. **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 1-16, 2010.

VIEIRA, M. R.; LACERDA, C. F. de; CÂNDIDO, M. J. D.; CARVALHO, P. L. de; COSTA, R. N. T.; TABOSA, J. N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 42-46, 2005.

WU, J. M.; LIU, C.; SHI, Y. S.; SONG, Y. C.; CHI, S. M.; MA, S. Y.; WANG, T. Y.; LI, Y. QTL analysis of flowering related traits in maize under different water regimes. **Journal of Maize Sciences**, v. 16, n. 5, p. 61-65, 2008.

XAVIER, J. J. B. N. **Densidade populacional de sorgo e seus efeitos na produtividade e qualidade da semente**. 1985. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1985.