

# 3

## Recursos genéticos

Visêlto Ribeiro de Oliveira  
Carlos Antonio Fernandes Santos  
Clóvis Eduardo de Souza Nascimento  
Marcos Antonio Drumond

## Introdução

Grande parte da diversidade biológica do Bioma Caatinga não é encontrada em nenhum outro lugar do mundo, além do Nordeste do Brasil. No entanto, essa posição única entre os ecossistemas brasileiros não assegura a atenção necessária no que se refere à conservação dos seus recursos genéticos (SILVA et al., 2004). Nessa região, destacam-se as espécies perenes de uso múltiplo e as fruteiras nativas (GIACOMETTI, 1993).

Os recursos genéticos vegetais representam a fração da biodiversidade que compreende variedades tradicionais, variedades melhoradas e espécies nativas. As sementes, raízes, frutos e as árvores destacam o potencial que tais recursos têm para uso no melhoramento de plantas. Agricultores e pesquisadores, envolvidos em experimentações empíricas e científicas, os utilizam para melhorar a qualidade, a produtividade, a resistência aos estresses bióticos e tolerância aos fatores abióticos das culturas. Os referidos recursos podem ser definidos como qualquer material genético de origem vegetal, de valor atual ou potencial para uso na alimentação e na agricultura (GOEDERT, 2007).

A conservação desses recursos requer um conhecimento de genética, visto que, em muitas coleções de germoplasma ex situ, são realizadas coletas representativas em populações para a caracterização e avaliação detalhada dos processos necessários ao conhecimento da variabilidade existente de uma determinada espécie.

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) é a principal espécie frutífera perene, nativa do Semiárido brasileiro. É um bom exemplo de recurso genético vegetal do Bioma Caatinga para a qual existem variadas opções de exploração e usos considerando a sua estratégia adaptativa e reprodutiva. A espécie floresce e se reproduz no período mais crítico de seca na região. O principal produto é o fruto, cuja coleta contribui para viabilizar atividades agrícolas que geram renda e estimulam práticas conservacionistas no

meio rural. Sua importância tem sido comprovada com base no elevado número de publicações e produtos gerados por empresas de pesquisa, como a Embrapa Semiárido e outras instituições públicas e privadas, que interagem para o desenvolvimento ecorregional.

Neste capítulo, as informações sobre os recursos genéticos do umbuzeiro são detalhadas a variabilidade, a conservação de acessos *ex situ*, o comportamento da espécie em condições de campo e estudos populacionais, objetivando a identificação de acessos promissores no que se refere às propriedades físico-químicas de frutos e produção de plantas.

## Variação genética em populações de umbuzeiro para alguns caracteres de crescimento

As populações são unidades evolutivas sobre as quais são medidas as variações genéticas. Assim, uma população é descrita como um grupo de indivíduos da mesma espécie que ocupa determinada região geográfica, compartilha um mesmo complexo gênico e se intercrusa (FUTUYMA, 1992).

Uma das formas de quantificar a variação genética nas populações em ensaios experimentais de campo é a avaliação de espécies e procedências. Em geral, para esses casos, a distribuição da variação é mensurada utilizando-se caracteres quantitativos (WENDT et al., 2007). Para validar ensaios desse tipo, Oliveira et al. (2004) avaliaram caracteres silviculturais de umbuzeiro para detectar a variabilidade genética entre e dentro de populações. Um experimento (Figura 1) foi instalado em 1991, no Campo Experimental de Manejo da Caatinga (CEMC), pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE, contendo acessos de três procedências (Ouricuri, PE, Massaroca, BA e Petrolina, PE) e 42 progênies, desbalanceado em relação ao número de progênies por procedência.



Foto: Visêido Ribeiro de Oliveira

**Figura 1.** Vista geral do ensaio no Campo Experimental de Manejo da Caatinga (CEMC), pertencente à Embrapa Semiárido, de procedências e progênies de *Spondias tuberosa* Arruda.

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso com arranjo hierárquico de subparcelas dentro de parcelas, similar ao de parcelas subdivididas, denominado *compact family block* (WRIGHT, 1978), parcelas lineares constituídas de cinco plantas e espaçamento de 8 m x 3 m. Os caracteres analisados aos nove anos de idade foram: altura de plantas (ALP), maior diâmetro de copa (MAC), menor diâmetro de copa (MEC), diâmetro do colo (DIC) e número de ramos primários (NRP). A estimação dos parâmetros genéticos foi realizada por meio do modelo misto baseado no método da máxima verossimilhança restrita (REML) e da melhor predição linear não viesada (BLUP) (RESENDE, 2002).

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios de cinco caracteres que equivaleram a  $1,60 \pm 0,40$ ;  $3,86 \pm 1,09$ ;  $3,35 \pm 0,97$ ;  $6,95 \pm 1,48$  e  $2,96 \pm 1,02$  para ALP, MAC, MEC, DIC e NRP, respectivamente. Os três primeiros foram avaliados em metros, DIC em centímetros e NRP, por simples contagem.

**Tabela 1.** Estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos para os caracteres maior diâmetro de copa (MAC) e menor diâmetro de copa (MEC), em teste de procedências e progênies de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) no Semiárido brasileiro.

Parâmetro genético	MAC	MEC
Herdabilidade individual sentido restrito ( $h^2$ )	0,1400	0,0800
Variância genética aditiva dentro de procedências ( $\sigma_a^2$ )	0,1655	0,0771
Variância genética dentro de procedências ( $\sigma_p^2$ )	0,0102	0,0084
Variância ambiental entre parcelas ( $\sigma_c^2$ )	0,2345	0,2329
Variância ambiental dentro de parcelas ( $\sigma_e^2$ )	0,7486	0,6195
Variância fenotípica individual ( $\sigma_i^2$ )	1,1597	0,9379
Herdabilidade individual entre procedências ( $p^2$ )	0,0000	0,0000

Não foi constatada variabilidade genética para os caracteres altura da planta, diâmetro do colo e número de ramos primários. No entanto, Santos (1997) também encontrou pequena variabilidade para o caráter altura das plantas em ambientes de ocorrência natural. Constatou-se que a variabilidade genética entre procedências foi praticamente nula para todos os caracteres, resultando em estimativas nulas de herdabilidade entre procedências. Este fato revela que não foi possível a seleção entre procedências para os caracteres na idade avaliada.

Existe considerável variabilidade genética em populações, o que resultou em estimativas da herdabilidade individual, no sentido restrito, variando de 8% a 14%. Apesar de essas estimativas terem sido de baixa magnitude, a seleção individual pelo procedimento BLUP considera também as informações de parentes (informação da família), fato que propicia

uma razoável acurácia seletiva. Em geral, herdabilidades individuais de baixa magnitude são comuns para os caracteres quantitativos e, via de regra, conduzem a moderadas magnitudes no que se refere às médias de famílias (RESENDE, 2002).

## Conservação e avaliação da variabilidade genética in situ e ex situ do umbuzeiro no Semiárido do Nordeste brasileiro

Os bancos ativos de germoplasma (BAGs) são considerados formas alternativas de conservação ex situ, em condições de campo, de uso imediato ou com potencial de uso futuro de materiais genéticos com variabilidade suficiente. Para atender essa condição, os BAGs devem conter alelos comuns e raros que servirão de base para a realização de estudos de caracterização morfológica e avaliação agrônômica. Preferencialmente, a caracterização deve ser iniciada com descritores morfológicos mínimos e, posteriormente, com aqueles que apresentem maior capacidade de discriminação dos acessos, os quais poderão servir de apoio a futuros programas de melhoramento genético da espécie.

Algumas instituições de pesquisa desenvolvem atividades com várias espécies do gênero *Spondias*. Souza (2008), citando alguns autores, destacou as ações de pesquisa em relação ao cultivo desse gênero em Ilhéus, BA, com mudas de cajazeira (*Spondias mombin* L.) produzidas por sementes e clones enxertados sobre umbuzeiro na Chapada do Apodi, CE. Sacramento et al. (2008) também destacaram a importância da cajazeira e de outras duas espécies, a cerigueleira (*Spondias purpurea* L.) e a cajaraneira (*Spondias dulcis* Park), no contexto dos recursos genéticos das *Spondias*.

Cassimiro (2008) salientou essas mesmas espécies na Paraíba, relatando informações de dois BAGs, formados por meio de mudas de sementes e de estaquia, com dados de produção e de caracterização físico-química de frutos. Carvalho e Alves (2008) apresentaram informações de cajazeira na Amazônia. Os autores destacaram o germoplasma coletado, composto de 30 acessos na forma de clones e mencionaram os estudos sobre a análise de rendimento e características físico-químicas da polpa.

Saturnino (2008) descreveu o número de acessos umbuzeiro, conservados em Minas Gerais, apresentando informações da massa média de fruto e rendimento de polpa. Lira Júnior et al. (2008) informaram sobre os bancos de germoplasma de cajazeira, cerigueleira e cajá-umbuzeiro (*Spondias* sp.) ou umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) e relataram sobre a produção e as características físico-químicas de 40 acessos dessas espécies. Ritzinger et al. (2008) realizaram estudos com umbu-cajá (*Spondias* sp.) e forneceram informações de caracterização morfológica e físico-químicas de 11 acessos selecionados.

Todas essas citações demonstraram a importância das *Spondias* como alternativas de usos e destacaram a sua potencialidade no melhoramento genético do gênero. Além desses estudos, existem também informações sobre o uso do umbuzeiro como porta-enxerto de outras *Spondias* (SANTOS; LIMA-FILHO, 2008). Em experimento de campo, esses autores mostraram a viabilidade da enxertia com essas espécies e informações de crescimento e produção de frutos. Esse procedimento pode representar uma forma de manejo dos diversos recursos genéticos das *Spondias* para o cultivo sistematizado em condições de sequeiro.

A Embrapa Semiárido, como instituição de pesquisa no Nordeste, é pioneira na formação de um banco de germoplasma de umbuzeiro (BGU) de abrangência ecorregional considerando o número de acessos coletados e implantados em campo. O plantio se iniciou em 1994, no Campo Experimental de Manejo da Caatinga em delineamento de blocos ao acaso,

parcelas constituídas de dois clones duas repetições, espaçamento de 8 m x 8 m, contemplando atualmente 78 acessos (Tabela 2), obtidos por meio de propagação vegetativa do tipo enxertia por garfagem em fenda cheia. Nesse banco, estão representados acessos dos Estados de Pernambuco, Bahia, Rio Grande do Norte, Minas Gerais.

Santos et al. (1999) apresentaram informações detalhadas dos caracteres das plantas matrizes in situ e dos respectivos frutos com a finalidade de orientar futuros estudos relacionados ao melhoramento de caracteres de importância econômica da espécie (Tabela 2). Segundo os autores, a frutificação de alguns genótipos clonados ex situ se iniciou por volta dos cinco anos de idade. Porém, baseado em uma produção incipiente e com altas taxas de aborto de frutos, decorrente de baixas precipitações pluviométricas, o acompanhamento da produção de frutos foi programado para idades posteriores como forma de minimizar desigualdades da produção de alguns acessos.

Nascimento et al. (2003), avaliaram a produção de frutos em 69 acessos entre 8 (2002) e 9 anos (2003) após a implantação do BGU (1994). Entretanto, observaram produção em apenas 30 e, destes, somente sete somaram mais de 1.000 g [BGU12 (1.197 g), BGU19 (2.252 g), BGU16 (2.697 g), BGU05 (2.960 g), BGU02 (2.963 g), BGU18 (4.178 g), BGU20 (6.446 g)]. Apesar disso, os resultados parciais em 2 anos de coleta revelaram ampla variabilidade na produção de frutos, que, provavelmente, está associada ao potencial genético dos acessos, às diferenças no desenvolvimento vegetativo, ao abortamento de flores e frutos decorrentes da escassez de chuvas, ou por danos causados por insetos no período de florescimento.

Dando continuidade à introdução de acessos no BGU, Santos et al. (1999) obtiveram as seguintes amplitudes dos caracteres estudados (Tabela 2): massa de fruto (2,80 g a 120,00 g); largura de fruto (1,60 mm a 56,70 mm); massa de casca (0,69 g a 24,30 g); massa de semente (0,30 g a 19,20 g); massa de polpa (1,70 g a 95,00 g); sólidos solúveis totais (8,00 °Brix a 13,60 °Brix); altura de árvore (3,50 m a 8,50 m); circunferência do caule a

**Tabela 2.** Procedências e valores de alguns caracteres observados nas árvores de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), identificadas como promissoras ou excêntricas para formação do Banco de Germoplasma do Umbuzeiro (BGU). Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

BGU1	Procedências	Caractere <sup>(1)</sup>											
		MMF	LRG	MSC	MSS	MSP	BRI	ALP	CCS	MAC	MEC	MDC	NRP
01-94	Juazeiro, BA	9,97	25,1	1,37	0,64	7,96	11,51	4,70	0,40	9,00	8,50	8,75	06
02-94	Juazeiro, BA	24,81	33,2	4,33	2,30	18,18	11,80	6,25	0,45	11,30	10,90	11,10	07
03-94	Juazeiro, BA	17,26	29,3	3,68	2,53	11,1	10,1	7,25	1,17	11,50	10,50	11,00	06
04-94	Juazeiro, BA	22,82	33,0	3,18	1,98	17,66	11,60	4,75	0,70	9,30	8,00	8,65	03
05-94	Juazeiro, BA	26,09	33,9	4,35	2,38	19,36	11,00	4,50	1,02	8,60	8,60	8,60	12
06-96	Juazeiro, BA	40,00	40,5	8,43	4,23	27,8	9,80	4,50	1,35	9,00	8,50	8,75	12
07-94	Juazeiro, BA	16,38	29,8	4,93	2,81	8,64	10,40	6,50	2,55	11,60	11,00	11,30	15
08-94	Juazeiro, BA	15,41	28,5	2,75	1,33	11,33	12,20	6,00	1,30	11,20	10,80	11,00	12
09-94	Afrânio, PE	4,88	21,9	0,98	0,30	3,60	11,00	4,72	1,03	10,10	8,60	9,35	05
10-94	Afrânio, PE	26,57	32,9	6,56	5,75	14,26	11,20	6,50	1,68	14,60	13,20	13,90	12
11-94	Afrânio, PE	-	-	-	-	-	-	6,00	1,90	10,60	9,80	10,20	05
12-94	Petrolina, PE	35,52	53,6	9,38	6,88	19,26	11,60	6,70	2,14	12,00	11,20	11,60	04
13-96	Petrolina, PE	39,00	39,8	7,80	5,13	26,07	14,80	5,70	2,20	10,50	10,30	10,40	06
14-94	Petrolina, PE	-	-	-	-	-	-	8,00	1,50	14,60	12,90	13,75	07
15-94	Juazeiro, BA	28,45	-	9,18	4,92	14,35	10,40	4,00	1,64	12,80	12,80	12,80	08
16-94	Juazeiro, BA	32,70	37,5	8,38	3,86	20,90	-	4,25	1,46	10,10	9,00	9,65	10

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

BGU1	Procedências	Caractere <sup>(1)</sup>											
		MMF	LRG	MSC	MSS	MSP	BRI	ALP	CCS	MAC	MEC	MDC	NRP
17-96	Juazeiro, BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18-94	Casa Nova, BA	19,67	31,5	3,67	1,36	14,64	-	5,90	1,40	12,50	11,50	12,00	06
19-94	Casa Nova, BA	31,40	36,2	4,34	1,88	25,18	-	5,10	1,64	12,80	11,70	12,25	04
20-94	Casa Nova, BA	24,98	33,3	4,45	1,87	18,66	-	4,10	1,43	13,00	11,30	12,15	05
21-94	Sta. Ma. B.Vista, PE	35,63	39,8	8,30	5,59	21,74	10,60	5,20	1,65	15,20	13,60	14,40	14
22-94	Petrolina, PE	28,66	37,8	4,86	3,30	20,50	8,90	4,30	1,97	12,40	9,70	11,05	13
23-94	Juazeiro, BA	29,19	34,0	6,50	2,71	19,98	10,40	8,00	2,04	14,10	13,40	13,75	22
24-94	Petrolina, PE	27,80	35,2	5,89	3,97	17,94	-	6,50	1,95	14,70	14,60	14,65	11
25-94	Casa Nova, BA	39,10	42,0	9,97	5,61	23,52	-	5,50	1,95	12,40	9,70	11,05	04
26-94	Casa Nova, BA	25,49	35,1	7,32	4,93	13,24	-	5,50	1,83	11,30	10,20	10,75	08
27-94	Lagoa Grande, PE	36,76	40,5	9,93	7,18	19,65	-	4,10	1,06	10,0	9,70	9,85	10
28-94	Uauá, BA	9,59	22,8	3,75	2,33	3,51	11,20	5,50	1,28	11,00	9,00	10,00	06
29-96	Uauá, BA	29,74	35,0	7,92	4,83	16,99	12,40	6,20	1,30	10,30	9,60	9,95	09
30-96	Afrânio, PE	37,24	37,4	9,82	6,81	20,61	11,40	4,20	2,01	10,60	9,90	10,25	07
31-96	Uauá, BA	16,80	30,3	4,48	3,21	9,11	13,60	5,25	1,13	11,90	10,90	11,40	07
32-96	Uauá, BA	23,47	35,0	6,29	5,22	11,96	10,80	5,00	1,10	12,00	10,80	11,40	07
33-96	Uauá, BA	25,73	33,6	6,70	4,39	14,65	-	5,70	1,30	11,00	10,30	10,65	05

Continua...

Tabela 2. Continuação.

BGU1	Procedências	Caractere <sup>(1)</sup>											
		MMF	LRG	MSC	MSS	MSP	BRI	ALP	CCS	MAC	MEC	MDC	NRP
34-96	Uauá, BA	26,44	33,5	6,44	4,64	15,36	12,20	4,50	1,12	9,20	8,30	8,75	06
35-96	Uauá, BA	29,26	34,7	7,10	3,78	18,38	-	5,60	1,71	13,70	13,60	13,65	11
36-96	Uauá, BA	31,23	34,9	8,67	6,98	15,58	11,40	4,50	1,90	11,60	10,50	11,05	08
37-96	Uauá, BA	41,67	39,4	9,07	6,76	25,84	10,30	5,70	1,30	11,30	10,80	11,05	08
38-96	Uauá, BA	28,28	36,0	2,24	5,18	16,86	12,60	5,00	1,75	11,70	9,10	10,40	07
39-96	Petrolina, PE	32,03	37,4	8,32	4,01	19,70	-	4,60	1,56	11,60	10,00	10,80	16
40-96	Petrolina, PE	34,23	39,0	8,34	5,30	20,59	-	5,60	1,21	13,40	10,40	11,90	08
41-96	Juazeiro, BA	9,66	23,2	-	-	-	-	3,50	1,81	11,00	10,00	10,50	11
42-96	Juazeiro, BA	44,28	41,5	8,17	5,25	28,08	9,50	5,50	3,00	14,00	12,50	13,25	10
43-96	Uauá, BA	34,32	39,2	6,44	3,61	24,27	-	3,70	0,80	9,40	7,10	8,25	06
44-96	Anagé, BA	86,70	53,3	18,70	10,0	58,00	12,10	8,50	1,90	13,81	12,80	13,31	04
45-96	Brumado, BA	75,30	50,7	14,90	5,40	55,00	10,40	5,60	1,10	11,10	10,60	10,85	08
46-96	Guanambi, BA	55,30	46,0	15,00	5,70	34,60	9,90	5,00	1,70	11,70	11,50	11,60	06
47-96	São Gabriel, BA	9,00	25,0	2,50	4,80	1,70	11,90	3,50	0,70	7,50	6,00	6,75	16
48-96	A. Dourada, BA	85,00	52,0	22,50	9,80	52,70	12,70	4,00	1,10	8,80	8,20	8,50	12
49-96	Miguel Calmon, BA	48,50	43,0	14,50	6,70	27,30	10,70	6,20	1,90	11,00	9,80	10,40	11
50-96	Santana, BA	75,30	53,0	17,70	10,00	47,60	12,80	8,20	2,30	12,20	11,80	12,00	03

Continua...

Tabela 2. Continuação.

BGU1	Procedências	Caractere <sup>(1)</sup>											
		MMF	LRG	MSC	MSS	MSP	BRI	ALP	CCS	MAC	MEC	MDC	NRP
51-96	Santana, BA	51,30	45,3	9,70	6,30	35,30	12,80	5,50	0,90	14,50	13,00	13,75	07
52-96	Parnamirim, PE	41,80	41,0	4,80	9,70	27,30	11,50	5,20	1,08	10,40	10,30	10,35	04
53-96	Petrolina, PE	45,70	45,0	6,60	4,00	44,4	10,50	6,20	1,78	12,00	10,20	11,10	04
54-96	Caiçara, RN	43,00	44,3	12,10	3,70	27,2	9,00	4,00	0,90	10,00	10,00	10,00	08
55-96	Lagoa Grande, PE	51,00	37,6	7,40	10,00	33,60	-	5,10	1,46	11,00	9,80	10,40	08
56-96	Januária, MG	62,79	45,30	8,53	19,20	35,06	10,6	7,20	1,20	12,70	10,70	11,70	05
57-96	Januária, MG	50,00	44,7	9,80	8,30	31,90	11,10	6,40	0,90	11,20	11,00	11,10	04
58-96	Januária, MG	56,70	42,0	8,30	9,30	39,10	9,30	5,30	1,30	9,60	8,40	9,00	07
59-96	Januária, MG	51,70	42,0	10,70	6,70	34,30	8,00	6,30	1,30	5,20	4,00	4,60	02
60-96	Januária, MG	50,00	45,0	10,10	8,00	31,90	9,70	6,30	1,00	12,40	11,80	12,10	08
61-96	Januária, MG	85,30	53,0	16,70	14,30	54,30	10,00	5,20	1,20	10,70	9,90	10,30	06
62-96	Januária, MG	6,50	22,3	1,80	1,10	3,60	9,30	7,40	1,70	12,10	12,00	12,05	08
63-96	Janaúba, MG	-	-	-	-	-	-	5,80	0,80	8,00	7,50	7,75	04
64-96	Janaúba, MG	-	-	-	-	-	-	5,50	0,70	4,50	4,00	4,25	05
65-96	Sta. M. da Vit., BA	43,00	42,3	11,76	7,13	24,11	9,430	5,00	1,40	12,60	12,40	12,50	06
66-96	Ibipitanga, BA	36,70	39,7	4,15	8,17	24,37	10,20	7,20	1,90	8,20	8,10	8,15	02
67-96	Ibipitanga, BA	61,00	47,3	17,30	11,70	32,00	10,20	6,80	1,78	13,20	11,30	12,25	06

Continua...

Tabela 2. Continuação.

BGU1	Procedências	Caractere <sup>(1)</sup>												
		MMF	LRG	MSC	MSS	MSP	BRI	ALP	CCS	MAC	MEC	MDC	NRP	
68-96	Lontra, MG	96,70	56,7	24,30	13,30	59,10	10,00	4,50	1,35	13,10	11,40	12,25	08	
69-96	Lontra, MG	58,70	45,7	13,30	9,00	36,40	11,00	4,80	1,20	9,00	8,30	8,65	04	
70-97	Paulo Afonso, BA	8,70	24,0	3,70	2,70	2,30	9,20	5,80	1,80	10,60	9,60	10,10	08	
71-02	Capim Grosso, BA	2,80	16,0	0,69	0,45	1,44	10,80	5,80	1,80	13,40	13,00	13,20	08	
72-02	Paramirim, BA	43,30	43,7	7,70	3,33	32,27	11,30	6,30	1,20	11,50	11,00	11,25	04	
73-02	Paramirim, BA	45,00	44,0	9,30	4,70	31,00	12,30	6,20	2,00	13,00	12,00	12,50	04	
74-02	Paramirim, BA	52,00	45,3	8,70	5,30	38,00	13,00	4,80	1,30	14,80	13,50	14,15	04	
75-02	Macatúbas, BA	120,00	-	15,00	10,00	95,00	-	4,00	0,79	10,00	9,20	9,60	04	
76-02	Brumado, BA	73,30	52,0	13,30	9,00	51,00	11,00	4,70	1,00	6,30	6,00	6,15	04	
77-02	Brumado, BA	59,30	46,7	11,00	6,67	41,63	13,30	5,20	0,98	9,30	8,80	9,05	05	
78-02	Manoel Vitorino, BA	70,00	-	-	-	-	11,20	5,00	1,70	12,00	11,80	11,90	09	

<sup>(1)</sup> Caracteres do fruto: MMF = massa média do fruto (g); LRG = diâmetro do fruto (mm); MSC = massa da casca (g); MSS = massa da semente (g); MSP = massa da polpa (g); BRI = sólidos solúveis totais (oBrix). Caracteres da planta: ALP = altura da planta (m); CCS = circunferência do caule a 20 cm do solo (m); MAC = maior diâmetro da copa (m); MEC = menor diâmetro da copa (m); MDC = média do diâmetro da copa (m); NRP = número de ramos primários.

Fonte: Santos et al. (1999).

20 cm do solo (0,40 m a 3,00 m); maior diâmetro de copa (4,50 m a 15,20 m); menor diâmetro de copa (4,00 m a 14,60 m) e número de ramos primários (2 a 22). Estas variações indicam a grande variabilidade fenotípica observada no umbuzeiro. Detalhes morfológicos dos frutos de alguns acessos podem ser observados na Figura 2.

A ocorrência de acessos com frutos em cacho, contendo mais de 45 frutos, com superfície pilosa e variações na coloração do fruto (amarelada, avermelhada, esverdeada, esbranquiçada, entre outras), foram alguns dos caracteres qualitativos encontrados, mostrando uma grande variabilidade entre genótipos no BAG.

Em relação à avaliação de frutos de umbuzeiro, Silva et al. (1987) verificaram que os mesmos são constituídos, em média, de 10% de caroço, 22% de casca e 68% de polpa, com massa total do fruto variando de 13 a 22 g. Observou-se, contudo, que frutos pesando entre 9,97 g a 15,41 g, apresentaram um conteúdo de polpa de 79% a 73%, respectivamente (Tabela 2). No entanto, também foram encontrados frutos com pouca polpa (19% para frutos com massa de 9,0 g), concentrando a maior massa do fruto na semente. Foi observado também que em todos os frutos com massa média acima de 70 g, a polpa representou mais de 60% da massa.

Além da implantação do BGU, Santos et al. (2002) instalaram dois ensaios de competição de clones, utilizando os acessos com maior tamanho de frutos. Os clones selecionados foram: BGU30 (Afrânio, PE), BGU37 (Uauá, BA), BGU44 (Anagé, BA), BGU48 (América Dourada, BA), BGU52 (Parnamirim, PE), BGU55 (Lagoa Grande, PE) e BGU68 (Lontra, MG), os quais apresentaram massa média dos frutos na planta matriz de 37 g, 42 g, 87 g, 85 g, 41 g, 51 g, e 97 g, respectivamente. Os referidos ensaios foram instalados em 1997, em delineamento de blocos ao acaso, em solo Bruno não calcico, no CEMC, pertencente à Embrapa Semiárido (Figura 3) e em Latossolo, na Embrapa Produtos e Mercados (SPM), ambos em Petrolina, PE. Cada parcela foi formada por dois clones enxertados, no espaçamento de 10 m x 10 m.





**Figura 2.** Vista detalhada de frutos dos acessos pertencentes aos acessos BGU-16 (A), BGU-06 (B), BGU-43 (C), BGU-52 (D), BGU-48 (E), BGU-47 (F), BGU-39 (G) e BGU-44 (H) do Banco de Germoplasma de Umbuzeiro da Embrapa Semiárido.



**Figura 3.** Detalhe do ensaio de competição de clones de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) instalado no Campo Experimental da Caatinga. Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

Nos dois primeiros anos de instalação, foram realizadas irrigações eventuais com auxílio de mangueira ou com microaspersão (SPM). Cinco anos após o transplântio, observou-se a floração em quase todos os clones dos BGU37, BGU55 e BGU30 no ensaio do SPM, e início de produção de frutos no ano de 2002, com produção inferior a 1,5 kg. A altura das plantas variou de 0,95 m a 1,70 m e de 1,30 m a 2,40 m no CEMC e no SPM, respectivamente. Estes dados indicam que, apesar da floração se iniciar após o quarto ano de transplântio, a produção de frutos e o desenvolvimento desta espécie são dependentes das condições edafoclimáticas.

Em avaliações posteriores, Oliveira et al. (2008) caracterizaram os acessos do BGU, com base em caracteres de crescimento e reprodutivos, dos anos de 1994, 1996, 1997, 2000, 2002 e 2003. Foram avaliados, altura de plantas (ALP), maior e menor diâmetro de copa (MAD, MED), diâmetro do

caule (DIC) e efetuada a contagem do número de inflorescências (NINF) e de ramos primários (NRP). No entanto, nesse trabalho, foram considerados apenas os clones dos três primeiros anos de implantação, correspondente a 89% (70) do total de acessos (79). Com relação aos genótipos implantados em 1994 (25), pode-se afirmar que, para, ALP, MAD, MED, DIC, NINF e NRP, os valores mínimos e máximos foram respectivamente: 0,60 m–2,10 m; 1,80 m–5,50 m; 1,00 m–5,30 m; 3,10 cm–12,60 cm; 1–1.820 e 1–5.

No ano de 1996, quando foram introduzidos 44 acessos, os valores observados foram: 1,10 m–1,30 m; 1,80 m–2,00 m; 1,60 m–2,00 m; 4,70 cm–6,50 cm; 0; 2–2. Os resultados obtidos representam informações importantes para o conhecimento e diferenciação dos acessos coletados nos estados da BA, PE, MG e RN, bem como no estabelecimento de descritores mínimos para caracterização do umbuzeiro. Verificou-se que há acessos precoces, intermediários e tardios em relação à idade de florescimento. O não florescimento do BGU 70 nesta avaliação pode ter sido resultante de sua implantação posterior ou de seu comportamento tardio quanto ao início da fase reprodutiva.

Em outro estudo sobre a dispersão da variabilidade fenotípica do umbuzeiro, Santos (1997) realizou a caracterização de 340 árvores em pleno estágio vegetativo, distribuídas em 17 regiões ecogeográficas, contemplando sete estados do Polígono da Seca (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Piauí, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte). Para a definição das áreas de amostragens, utilizaram-se informações do IBGE para identificar os municípios ou regiões socioeconômicas com produções extrativistas de umbu. Associado a essa informação, os municípios identificados foram plotados por unidade de paisagem com base no mapa do *Zoneamento agroecológico do Nordeste* (SILVA et al., 1993) para a definição de uma região com grande similaridade edafoclimática e de pequena extensão territorial, considerando que a distribuição geográfica é um dos fatores que pode exercer influência sobre a variabilidade de populações.

Foram definidas 24 áreas para a amostragem de árvores de umbuzeiro. No entanto, o trabalho desenvolveu-se efetivamente em apenas 17 regiões, considerando-se a similaridade no tipo de vegetação e nas condições edafoclimáticas. Em cada ecorregião, caracterizaram-se, ao acaso, 20 árvores, quanto aos seguintes caracteres: número de ramos principais (NRP), altura de plantas (m) (ALT), circunferência do caule à altura de 20 cm do solo (cm) (CCS), maior diâmetro da copa (m) (MAC), menor diâmetro da copa (m) (MEC), massa do fruto (g) (MMF), massa da semente (g) (MSS), massa da casca do fruto (g) (MSC), massa da polpa do fruto (g) (MSP), diâmetro do fruto (cm) (LGR) e sólidos solúveis totais da polpa (BRI).

Os dados das 17 regiões ecogeográficas e dos 340 indivíduos foram submetidos à análise multivariada por meio da técnica de componentes principais e do agrupamento com base nos procedimentos “princom” do SAS (SAS INSTITUTE, 1989a) e “fastclus” (SAS INSTITUTE, 1989b). Entre as conclusões observadas, pode-se destacar que as árvores foram reunidas em 17 grupos independentemente da região de origem, sugerindo que as diferenças climáticas e as distâncias geográficas existentes não interferiram de forma marcante na diferenciação do umbuzeiro. As ecorregiões de Tanquinho, Jeremoabo e Ipupiara (BA); Petrolina, (PE); e Pio IX (PI), por apresentarem mais de 40% de indivíduos similares (dentro do grupo), são indicadas como regiões de dispersão do umbuzeiro.

Os caracteres massa do fruto, maior diâmetro de copa, diâmetro do fruto, massa da casca do fruto e altura da planta foram os de menor importância para a discriminação das árvores avaliadas. Apesar de a variabilidade do umbuzeiro estar distribuída por todo o Semiárido brasileiro, as ecorregiões de Porteirinha (MG), Irecê e Livramento do Brumado (BA) são indicadas para a prospecção de plantas com frutos de maior massa da polpa, boa relação polpa/fruto e com teores de sólidos solúveis totais (°Brix), acima de 12,5.

Com base nas informações apresentadas, o padrão fenotípico geral do umbuzeiro é constituído por árvores com altura de 6,3 m, seis ramos

principais, copa arredondada de 11 m de diâmetro, fruto com massa de 18,4 g, °Brix de 12, massa da polpa de 10,7 g e relação polpa/fruto de 0,58.

Além da avaliação do fenótipo, que, por definição, refere-se ao conjunto de caracteres visíveis, como os descritores morfológicos, que podem ser modificados pela ação do ambiente, o genótipo do umbuzeiro também pode ser acessado utilizando-se marcadores moleculares. Esses referidos marcadores são definidos como todo e qualquer fenótipo molecular originado de um gene expresso. Os mesmos têm muita importância na conservação e na utilização dos recursos genéticos vegetais por serem usados na caracterização de indivíduos, no mapeamento genético, na identificação de clones superiores, entre outros.

Os primeiros estudos com marcadores moleculares foram realizados para auxiliar na análise, mapeamento e transferência de genes específicos. Recentemente, estudos sobre filogenia e evolução de espécies têm sido evidenciados por meio de marcadores de DNA. Outro uso dos marcadores moleculares está relacionado ao estudo da distribuição e da extensão da variação genética dentro e entre espécies (HODGKIN, 1995).

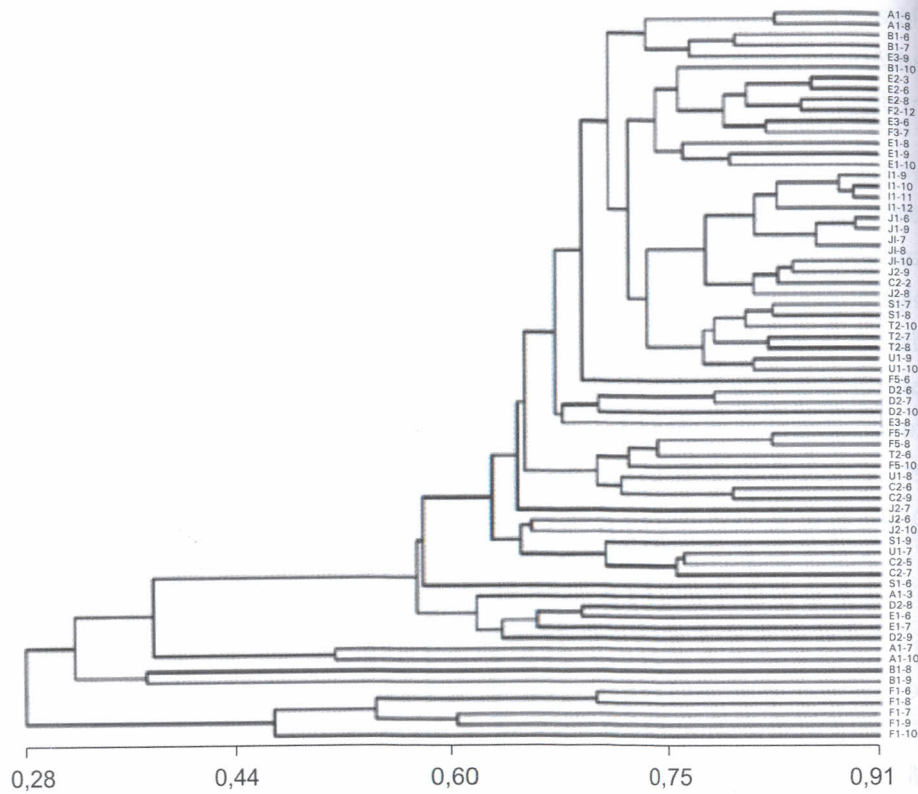
Os marcadores moleculares revelam polimorfismos de DNA tanto entre indivíduos geneticamente relacionados como em relação aos não relacionados, dependendo da origem dos indivíduos analisados. Assim, um loco molecular que apresenta segregação mendeliana é considerado um "marcador genético". Com base nessas informações, os marcadores de DNA são utilizados em estudos de genética de populações, mapeamento e análises de similaridade e distância genética (LOPES et al., 2002).

Com o objetivo de avaliar a estrutura populacional, Santos et al. (2008) realizaram estudos com marcadores do tipo AFLP (Polimorfismo de Comprimento de Fragmento Amplificado). Foram analisados 68 indivíduos de umbuzeiro, amostrados em 15 regiões ecogeográficas, em sete estados do Polígono da Seca obedecendo a seguinte distribuição: em sete dessas regiões utilizaram-se amostras de cinco indivíduos e, nas demais, quatro.

Para a definição das áreas de amostragem do umbuzeiro no Semiárido, adotou-se o procedimento de Santos (1997) e uma distância mínima de 500 m de uma planta para outra dentro de uma mesma região ecogeográfica.

Nos indivíduos amostrados coletaram-se folhas para a extração, isolamento, purificação e avaliação do DNA. O DNA obtido foi amplificado, cortado bioquimicamente, ligado a iniciadores específicos e submetidos à eletroforese. As bandas (marcadores) resultantes foram visualizadas em gel de poliacrilamida. Determinou-se, então, o número médio de bandas e a percentagem de bandas polimórficas. Na sequência, foram realizadas análises estatísticas e moleculares para a determinação da similaridade genética entre indivíduos, construção de dendrogramas e estimação dos parâmetros populacionais, conforme apresentado por Santos et al. (2008). Obteve-se 141 e 58 fragmentos polimórficos e monomórficos, respectivamente, em 14 combinações de iniciadores EcoR1/Mse1 de AFLP com média de 10 e 4,1 fragmentos polimórficos e monomórficos por combinações de iniciadores, respectivamente; as bandas polimórficas corresponderam a 71% do total de fragmentos amplificados. Foram consideradas apenas as bandas bem definidas, evitando-se as que apresentassem pequena diferença na posição do gel e identificados, em média, 15 fragmentos polimórficos. Com esses dados, obteve-se uma matriz de similaridade que serviu de base para a construção de um dendrograma representativo da variabilidade genética observada entre os indivíduos (Figura 4).

Alternativamente, a dispersão dos indivíduos na escala bidimensional, segundo a técnica multidimensional (MDS), resultou em ausência de adequação ou de não ajuste de 0,25 (Figura 5). Foram observados agrupamentos específicos para seis regiões ecogeográficas: Superfícies Retrabalhadas (Anagé, BA), Bacias Sedimentares (Jeremoabo, BA), Superfícies Cársticas (Irecê, BA), Maciços e Serras Baixas (Sítio dos Moreiras, PE), Superfícies Cársticas (Santa Maria da Vitória, BA), e Depressão Sertaneja (Ichu, BA). Nove dos 13 indivíduos amostrados em três regiões ecogeográficas, da unidade de paisagem Superfícies Retrabalhadas (Porteirinha, MG,

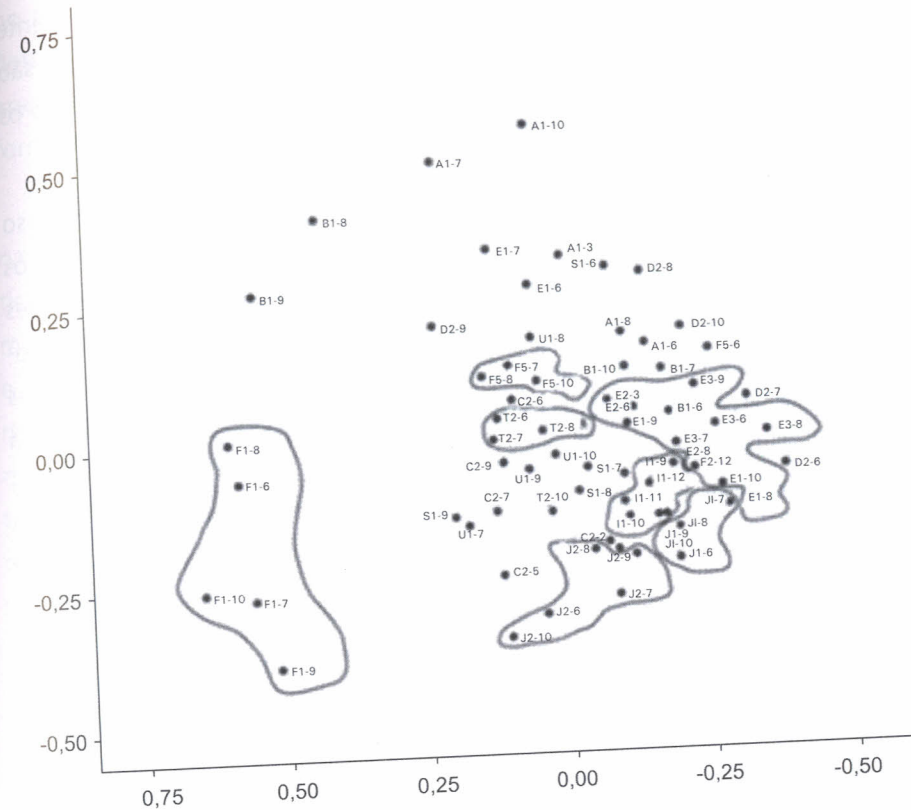


**Figura 4.** Dendrograma UPGMA do coeficiente de Jaccard entre 68 indivíduos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), amostrados em 15 regiões ecogeográficas do Semiárido com base em 141 marcadores AFLP (EcoRI/MseI). Valor cofenético:0,96.

Fonte: Santos et al. (2008).

Anagé, BA e Jacobina, BA), formaram agrupamento específico, apesar das barreiras geográficas entre elas. Nas outras nove regiões ecogeográficas, apesar de ter sido observado grande similaridade para alguns pares de indivíduos, não foram constatados agrupamentos específicos por local de amostragem (Figuras 4 e 5).

A ecorregião de Ichu, BA apresentou os indivíduos mais divergentes, com similaridade de apenas 28% em relação aos demais indivíduos de umbuzeiro (Figuras 4 e 5). Essa ecorregião está localizada nas proximidades



**Figura 5.** Escala multidimensional de 141 marcas polimórficas de AFLP, de 68 indivíduos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), coletados em 15 regiões ecogeográficas do Semiárido brasileiro. Valor da falta de ajustamento:0,25.

Fonte: Santos et al. (2008).

de área de transição, entre o Semiárido e a Zona da Mata do Recôncavo Baiano. O conjunto desses resultados indica que a variabilidade genética do umbuzeiro não está uniformemente dispersa no Semiárido (Figuras 4 e 5) e que as barreiras geográficas ou as condições edafoclimáticas têm limitado o cruzamento e a transferência dos alelos entre as populações amostradas. Esses resultados são diferentes dos obtidos por Santos et al. (1997), que concluíram, em estudo similar a esse, com base em caracteres

fenotípicos, que a variabilidade do umbuzeiro encontra-se uniformemente distribuída no Semiárido brasileiro. No entanto, caracteres fenotípicos são extremamente influenciados pelo ambiente, o que indica que não são os mais adequados para estudos de dispersão genética.

A estimativa da variação entre ecorregiões foi considerada alta. Isso sugere que a espécie possui fluxo gênico restrito, equivalente a menos de um migrante por geração e grande variabilidade entre as populações (ecorregiões). Embora o umbuzeiro seja considerado uma espécie predominantemente alógama (SOUZA, 2000), o fluxo gênico entre as populações é pequeno e considerado restrito, provavelmente em consequência da antropização das áreas estudadas, principalmente devido às ações relacionadas com a expansão da fronteira agrícola, agricultura irrigada e a criação extensiva de caprinos.

Os resultados obtidos na pesquisa acima indicam que os indivíduos apresentam diferenças em razão da região de amostragem, ou seja, indivíduos de uma determinada região são mais semelhantes entre si e a variabilidade genética não está uniformemente distribuída por todo o Semiárido brasileiro. Com base nas informações obtidas, Santos et al. (2008) sugerem a necessidade de um maior número de áreas para conservação *in situ* da espécie e a amostragem de um número suficiente de germoplasma-semente, em maior número de regiões ecogeográficas, para a conservação da variabilidade genética da espécie.

## Avaliação de taxa de cruzamento em uma população de umbuzeiro por meio de marcadores AFLP

Existem diversos métodos para a determinação do sistema reprodutivo de espécies vegetais que se baseiam na observação de cruzamentos,

no comportamento de agentes polinizadores, no exame da morfologia floral e de resultados de experimentos de polinização controlada. Contudo, apesar de serem indicados para esse tipo de estudo, são métodos que não fornecem uma medida direta do sucesso reprodutivo da população.

O conhecimento do sistema reprodutivo tem grande importância na determinação da estrutura genética de populações e implicações práticas em programas de melhoramento genético como, por exemplo, na manutenção de germoplasma, na escolha de métodos de melhoramento e na produção de sementes. Uma das formas de se conhecer o sistema reprodutivo de uma espécie é por meio da taxa de cruzamento, a partir de marcadores moleculares codominantes e dominantes. A taxa de cruzamento é um parâmetro genético populacional que determina a probabilidade de cruzamento em populações. Quanto maior a taxa, maior inserção de variabilidade genética na população (GUIMARÃES; RAMALHO, 2001).

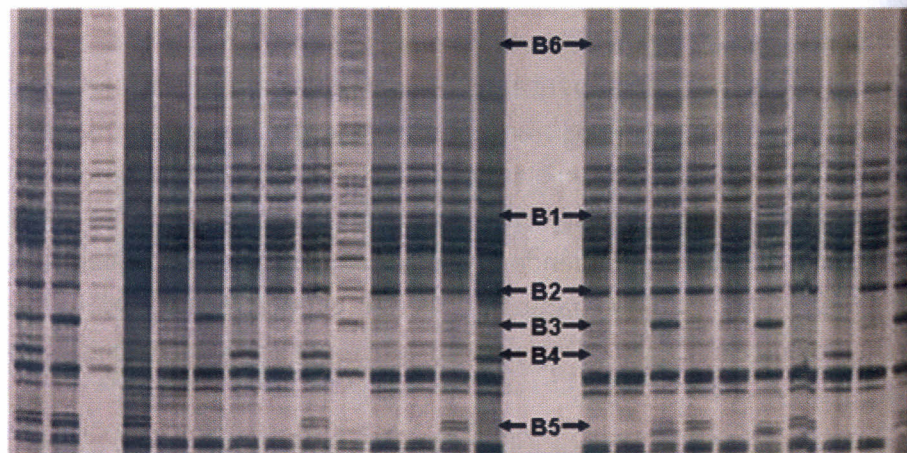
Estudos com marcadores moleculares dominantes do tipo AFLP para determinar o sistema reprodutivo de *S. tuberosa* em uma população multiprocedências estabelecida em campo em 1991 (OLIVEIRA et al., 2004), foram conduzidos por Santos et al. (2011), que coletaram folhas e sementes de 96 indivíduos de umbuzeiro amostrados ao acaso. As sementes de cada indivíduo foram plantadas, coletando-se folhas de apenas uma plântula por descendente das respectivas plantas-mãe amostradas em campo. As folhas das plantas-mãe e dos descendentes foram armazenadas separadamente em freezer a -80 °C até a extração do DNA. Para extração do DNA adotou-se a metodologia de Doyle e Doyle (1990) com modificações detalhadas em Santos et al. (2011).

Na análise estatística dos dados, as bandas polimórficas de AFLP foram anotadas considerando-se presença (1) e ausência (0) e efetuadas duas estimativas para a taxa de cruzamento. O primeiro método (M1) baseou-se na frequência de heterozigotos observada e esperada nas populações maternas e de descendentes, respectivamente, conforme Pasteur et al. (1988)

e Paiva et al. (1994), o segundo método (M2) foi baseado na estimativa de multilocus, considerando o modelo de acasalamento misto disponibilizado no programa MLTR (RITLAND, 2002).

De um total de 16 fragmentos polimórficos obtidos, seis foram da combinação de *primer* (CP) AAA\_CTG e 10 na CPAAA\_CTC de AFLP, consistentes nas duas populações de mães e progênies. De acordo com Santos et al. (2008), em trabalho com umbuzeiro, foram observadas de três a 16 bandas polimórficas por CP de AFLP, o que está de acordo com os resultados obtidos por Santos et al. (2011). Foram consideradas apenas as bandas bem definidas diretamente na placa de vidro, evitando-se aquelas com pequena diferença da posição no gel (Figura 6).

Para as informações sobre a estimativa da taxa de cruzamento com base na frequência de heterozigotos observada (mães) e esperada (progênies), foram consideradas cinco bandas (AAA\_CTG\_1, AAA\_CTG2, AAA\_CTC3, AAA\_CTC5 e AAA\_CTC6) que apresentaram desvio de herança



**Figura 6.** Padrão representativo de seis bandas de AFLP da combinação de *primers* AAA\_CTG em 14 indivíduos na população de progênies (esquerda) e 13 indivíduos na população materna (direita) analisadas para determinar o sistema de cruzamento em umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda).

Fonte: Santos et al. (2011).

mendeliana nas segregações de 3:1, 1:1 ou 1:3 pelo teste do qui-quadrado a 5% de probabilidade e não foram usadas para estimar a taxa de cruzamento em relação ao primeiro método. As estimativas de "q" apresentaram diferenças que variaram de -0,196 a 0,236 entre a população materna e a população de progênies, indicando que a população apresentava variação para "q" e, por consequência, para "p" e "2pq".

A heterozigose observada e esperada variou de 0,147 a 0,499 e de 0,211 a 0,500, respectivamente. Segundo Falconer e Mackay (1996), o máximo que a frequência de heterozigotos pode alcançar é de 0,50, sendo essa estimativa observada no fragmento AFLP, AAA\_CTC\_10 (SANTOS et al., 2011).

O coeficiente de endogamia ou índice de fixação de Wright ( $F$ ) variou de -0,271 a 0,331. Valores negativos de ( $F$ ) indicam excesso de heterozigotos na população e alogamia acentuada conforme destacado por Ruvolu-Akasusuki et al. (2002). As estimativas da taxa de cruzamento ( $t$ ) para o método M1 variaram de 1,74 a 0,50 com média de 1,063. Paiva et al. (1994), trabalhando com esses mesmos estimadores em seringueira, encontraram apenas valor ligeiramente superior a 1,0 entre quatro sistemas isoenzimáticos. Essa estimativa, tendo como referência o coeficiente de endogamia de Wright, não está de acordo com a obtida por Souza (2000) que estimou a taxa de cruzamento aparente em 0,74, usando três sistemas isoenzimáticos e estimadores de componentes de variância.

Com relação ao segundo método (M2), as frequências de óvulos e pólen em 15 locus de AFLP foram iguais, indicando que não houve violação do modelo de cruzamento misto, necessário para a correta estimativa da taxa de cruzamento multilocus, como proposto por Ritland (2002). Esta taxa ( $t_m$ ) foi de 0,719, enquanto a de cruzamento unilocus ( $t_s$ ) foi de 0,713. Isso indica que *S. tuberosa* é de polinização predominantemente cruzada, com taxa de autofecundação de 0,287. A estimativa multilocus de 0,713 é próxima do valor estimado por Souza (2000) em *S. tuberosa*. A diferença entre  $t_m$  e  $t_s$  foi de 0,007, sugerindo que a endogamia biparental, relacionada

ao cruzamento entre parentes foi praticamente inexistente. O coeficiente médio de endogamia ou índice de fixação das árvores maternas ( $F$ ) foi de -0,200, enquanto a esperada era de 0,163, assumindo que ( $F$ ) esperado é dado por  $(F) (1-t_m)/(1+t_m)$ , conforme Gaiotto et al. (1997), indicando excesso de heterozigotos e endogamia menor na população materna estudada.

## Caracterização e avaliação de caracteres quantitativos

Em estudos genéticos é necessário diferenciar duas causas de correlação entre caracteres: a genética e a ambiental. A principal causa de correlação genética é o pleiotropismo, que é a propriedade pela qual um gene afeta dois ou mais caracteres, de modo que, se o gene estiver segregando, causará variação simultânea nos caracteres que ele afeta. Alguns genes podem aumentar mais de um caractere, enquanto outros aumentam um e reduzem outro. Na primeira situação, tendem a causar uma correlação positiva e na segunda, correlação negativa. A ambiental é uma causa de correlação em que dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições de ambiente. Assim, a correlação resultante de causa ambiental é o efeito total de todos os fatores variáveis de ambiente, e alguns tendem a causar correlações positivas e outros negativos (FALCONER, 1985).

O conhecimento da relação entre caracteres quantitativos em populações de plantas representa uma alternativa muito importante para programas de melhoramento genético. Com base nesse conhecimento, podem-se realizar seleções indiretas de um caráter quantitativo de difícil ganho de seleção, por meio da seleção de outro caráter diretamente correlacionado de maior ganho genético ou de difícil seleção visual (CARPENTIERE-PÍPOLO et al., 2005). No entanto, em algumas situações, os coeficientes de correlação podem resultar em equívocos na estratégia de seleção, em virtude do efeito de uma terceira variável ou grupos de variáveis sobre a variável em estudo (SANTOS; NASCIMENTO, 1998).

Com o objetivo de estudar a relação entre caracteres por meio da caracterização e avaliação de 16 plantas de umbuzeiro de ocorrência espontânea em área pertencente à Embrapa Semiárido, Santos e Nascimento (1998) avaliaram a circunferência do caule a 20 cm do solo (CIC), altura da planta (ALP), diâmetro da copa (DIC), número de ramos principais (NRP), teor de sólidos solúveis totais do fruto (BRI), acidez do fruto (ACI), massa da polpa (POL), massa da casca (CAS), massa do caroço (CAR), largura do fruto (CTF), massa total de frutos por planta (PRO), número total de frutos por planta (NTF) e massa média de frutos (PMF). Foram realizadas análises estatísticas relacionadas à correlação simples ou fenotípica, correlação parcial e análise de trilha, conforme procedimentos apresentados por Cruz e Regazzi (1994).

Para os estudos de correlações simples, todos os caracteres foram estimados. Nas correlações parciais, estimou-se a massa total dos frutos/planta com os caracteres CIC, ALP, DIC e NRP. Na análise de trilha, utilizou-se um diagrama de cadeia, para definir como variável principal a massa total de frutos/planta; variáveis explicativas primárias da massa total de frutos/planta (número total de frutos/planta, massa média de frutos) e as variáveis explicativas secundárias da massa total de frutos/planta (CIC, ALP, DIC, NRP, BRI, ACI, POL, CAS, CAR, CTF).

Os resultados dos coeficientes de correlação simples ou fenotípica de massa total de frutos do umbuzeiro e suas variáveis primárias e secundárias indicaram que os caracteres CIC, ALP, DIC e NRP apresentaram correlações simples positivas e consideráveis entre eles, e negativas, ou com pequenos valores com os demais caracteres, inclusive, massa total de frutos.

Observou-se correlação negativa entre POL x ALP, o que indica que a seleção para o aumento da polpa ou da largura do fruto poderá ser negativa para a altura da planta. Já a correlação positiva entre BRI x ACI e CAR x POL indica que o aumento em uma variável correlacionada aumentará

a outra. As correlações parciais da massa total de frutos (PRO) com os caracteres vegetativos, CIC, ALP e NRP não foram significativas pelo teste F.

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias sobre a massa total de frutos (PRO) indicaram que os efeitos indiretos foram negativos entre as variáveis explicativas, sugerindo-se que a seleção para o aumento em uma dessas variáveis provocará diminuição na outra. A variável mais importante para o aumento da massa total de frutos foi o número total de frutos/planta que apresentou efeito direto positivo e correlação de 0,97.

Quanto à massa média de frutos, apesar de se correlacionar negativamente com a massa total de frutos/planta, apresentou efeito direto positivo, devendo ser considerado na seleção de plantas produtivas. A correlação negativa entre a massa total de frutos/planta e massa média de frutos deveu-se ao efeito indireto do número total de frutos/planta, confirmando a inadequação das correlações simples em determinadas situações (SANTOS et al., 1995).

As estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre o número total de frutos de umbuzeiro indicaram que as variáveis largura do fruto e diâmetro da copa apresentaram os maiores efeitos diretos positivos sobre o número total de frutos/planta, enquanto as massas do caroço, da polpa e da casca tiveram os maiores efeitos diretos negativos. Esta é uma indicação de que a seleção para o aumento do número total de frutos/planta poderá ser positiva nas variáveis largura do fruto e diâmetro da copa e negativa nos caracteres massa do caroço, massa da polpa e massa da casca. Essas estimativas geraram um coeficiente de determinação de 0,74, revelando que o modelo adotado foi satisfatório para explicar o inter-relacionamento do número total de frutos/planta com as variáveis secundárias consideradas nesse estudo.

Os efeitos diretos positivos da largura do fruto e diâmetro da copa e os efeitos negativos das massas do caroço, da polpa e da casca sobre a

variável básica, massa total de frutos/planta, indicam que as variáveis secundárias podem ser usadas para orientar na seleção de plantas produtivas.

No que se refere às variáveis primárias da massa média do fruto, as estimativas dos efeitos diretos das massas da polpa, casca e caroço sobre a massa do fruto apresentaram valores elevados e positivos, tanto no efeito direto como na correlação simples. Porém, maior massa do caroço e da polpa foram as variáveis mais importantes para o aumento da massa do fruto por em decorrência dos efeitos diretos mais elevados.

Quanto ao efeito das variáveis secundárias sobre as primárias da massa média do fruto, com base nas estimativas dos efeitos diretos e indiretos de algumas variáveis secundárias sobre as primárias da massa do fruto, a massa da polpa apresentou a melhor combinação de efeito direto e correlação positiva em relação à largura do fruto. O aumento na massa da polpa pode ser obtido pela seleção positiva para essa variável ou pela seleção negativa para altura da planta, confirmando os resultados das correlações simples. O coeficiente de determinação de 0,9078 explica satisfatoriamente o modelo testado para a massa da polpa.

A variável mais importante para a massa da casca foi a largura do fruto. Já a altura da planta, que apresentou efeito direto de 0,2943 e correlação negativa, deve ser considerada para o aumento da massa da casca do fruto do umbuzeiro. O coeficiente de determinação de 0,74 sugere que o modelo foi satisfatório para explicar a relação causa-efeito da massa da casca.

A massa do caroço apresentou como variável mais importante a largura do fruto. Porém, apesar da correlação negativa com a altura da planta, essa variável apresentou efeito direto de 0,25 e deve ser considerada na seleção de indivíduos com maior caroço. O coeficiente de determinação de 0,81 indica que a inclusão de novas variáveis no modelo o que, dificilmente, poderá alterar a importância das variáveis.



## Perspectivas

Como pode ser observado nas pesquisas sobre do manejo de recursos genéticos do umbuzeiro desenvolvidas na Embrapa Semiárido, existem muitas informações enfocando aspectos da distribuição da variabilidade genética em populações naturais por métodos tradicionais.

A formação do banco de germoplasma com a presença dos mais diversos acessos, a caracterização das matrizes que deram origem aos acessos do banco, o uso de marcadores moleculares para a avaliação da variabilidade genética de populações naturais, a determinação do sistema reprodutivo e da taxa de cruzamento, e estudos de correlação entre caracteres quantitativos. Este conjunto de informações coloca a espécie em melhor situação na geração do conhecimento científico e tecnológico em relação a outras espécies da Caatinga com potencialidades semelhantes.

Apesar de todo o esforço, muito ainda há de ser realizado para explorar o conhecimento gerado ao longo de diversos anos de pesquisa. Pontos importantes devem ser considerados e realizados como, por exemplo, a caracterização detalhada do banco de germoplasma (morfológica, molecular e citogenética). Já existem iniciativas com relação à caracterização morfológica de folhas, porém as mesmas devem ser acompanhadas de outras informações relacionadas à composição físico-química de frutos, inflorescências/flores, além da avaliação agrônômica, para que esse conjunto de informações possibilite os avanços necessários para auxiliar em futuros programas de melhoramento e conservação genética da espécie.

A caracterização molecular possibilita eliminar acessos em duplicidade ou com níveis de variabilidade muito semelhantes, o que irá permitir a orientação de novos estudos de cruzamento entre acessos mais divergentes na busca de alternativas comerciais a exemplo de variedades precoces, intermediárias, tardias e produtivas. Com relação à caracterização citogenética por métodos tradicionais de contagem de cromossomos (mitose,

meiose) e o uso de outras técnicas complementares mais avançadas como a citometria de fluxo são alternativas importantes para auxiliar os estudos de melhoramento da espécie. No primeiro método, podem ser obtidas informações sobre a utilização de materiais genéticos promissores visando o uso em cruzamentos dirigidos, identificação de possíveis alterações na fertilidade de indivíduos e do nível de ploidia. No segundo, a quantidade de DNA é medida e infere sobre os níveis de ploidia.

## Referências

- CARPENTIERE-PÍPOÓLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOÓLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.26, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2005.
- CARVALHO, J. E. U. de; ALVES, R. M. Recursos genéticos de espécies do táxon *Spondias* na Amazônia Oriental. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA-JÚNIOR, J. S. de; SILVA-JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 69-74.
- CASSIMIRO, C. M. Recursos genéticos e melhoramento de *Spondias* no estado da Paraíba: cajazeira, cirigüeleira e cajaraneira. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA-JÚNIOR, J. S. de; SILVA-JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 63-68.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.
- DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, [S.l.], v. 12, p. 13-15, 1990.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 2nd ed. London: Longman, 1981. 340 p. il.
- FUTUYMA, D. **Biologia evolutiva**. 2. ed. Ribeirão Preto: SBG, 1992. 646 p.
- GAIOTTO, F. A.; BRAMUCCI, M.; GRATTAPAGLIA, D. Estimation of outcrossing rate in a breeding population of *Eucalyptus urophylla* with dominant RAPD and AFLP markers. **Theoretical and Applied Genetics**, Cham, v. 95, n. 5/6, p. 842-849, 1997.
- GIACOMETTI, D. C. Recursos genéticos de fruteiras nativas do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECURSOS GENÉTICOS DE FRUTEIRAS NATIVAS, 1992, Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMP, 1993. p. 13-27.
- GOEDERT, C. de O. Histórico e avanços em recursos genéticos no Brasil. In: NASS, L. L. (Ed.). **Recursos genéticos vegetais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. p. 25-60.

- GUIMARÃES, F. G.; RAMALHO, M. C. **Implementação de um algoritmo genético**. Belo Horizonte, UFMG, 2001. 9 p. Trabalho apresentado à disciplina de "Otimização" do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais.
- HODGKIN, T. Some current issues in the conservation and use of plant genetic resources. In: AYAD, W. G.; HODGKIN, T.; JARADAT, A.; RAO, V. R. (Ed.). **Molecular genetic techniques for plant genetic resources**. Rome: IPGRI, 1995. p. 3-11.
- LIRA JÚNIOR, J. S. de; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; MOURA, J. M. de. Recursos genéticos de *Spondias* em Pernambuco: cajazeira, cirigüeleira e cajá-umbuzeiro. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA JÚNIOR, J. S. de; SILVA-JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 80-85.
- LOPES, M. S.; LOPES, M. T. G.; FIGUEIRA, A.; CAMARGO, L. E. A.; FUNGARO, M. H. P.; CARNEIRO, M. S.; VIEIRA M. L. C. Marcadores moleculares dominantes (RAPD e AFLP). **Biociência e desenvolvimento**, Uberlândia, v. 5, n. 29 p. 56-60, 2002.
- NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F. Avaliação da produção de frutos no banco de germoplasma de umbuzeiro - BGU, Município de Petrolina-PE. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54.; REUNIÃO DE BOTÂNICOS DA AMAZÔNIA, 3., 2003, Belém, PA. **Resumos...** Belém, PA: SBB, 2003. 1 CD ROM.
- OLIVEIRA, V. R. de; REZENDE, M. D. V. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; DRUMOND, M. A.; SANTOS, C. A. F. Variabilidade genética de procedências e progênies de umbuzeiro via metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, abr. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v26n1/a15v26n1.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2016.
- OLIVEIRA, V. R. de; SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; ARAÚJO, F. P. de; DIAS, R. de C. S.; DRUMOND, M. A. Caracterização preliminar de acessos do banco de germoplasma de umbuzeiro da Embrapa Semi-Árido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2008. p. 159.
- PAIVA, J. R.; KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R. Genetics of rubber tree (*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR. De Juss.) Mull. Arg.). 2. Mating systems. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 43, n. 5/6, p. 373-376, 1994.
- PASTEUR, N.; PASTEUR, G.; BONHOME, F.; CATALAN, J.; BRITTON-DAVIDIAN, J. **Practical isozyme genetics**. New York: Haisted Press, 1988. 215 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. dos S.; CASTELLEN, M. da S. Coleção de *Spondias* spp. da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA JUNIOR, J. S. de; SILVA JÚNIOR, J. F. da (Ed.). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 86-90.
- RITLAND, K. Extensions of models for the estimation of mating systems using *n* independent loci. **Heredity**, [Vic Laon], v. 88, p. 221-228, 2002.

- RUVOLU-TAKASUSUKI, M. C.; MACHADO, M. F. P. S.; HELIO CONTE, H. Esterase-3 polymorphism in the sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera, Pyralidae). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 25, n.1, p. 61-64, 2002.
- SACRAMENTO, C. K. do; AHNERT, D.; BARRETTO, W. S.; FARIA, J. C. Recursos genéticos e melhoramento de *Spondias* na Bahia - cajazeira, cirigüeleira, cajaraneira. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA JÚNIOR, J. S. de; SILVA JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 54-62.
- SANTOS, C. A. F. Dispersão da variabilidade fenotípica do umbuzeiro no Semi-Árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 9, p. 923-930, set. 1997.
- SANTOS, C. A. F.; LIMA FILHO, J. M. P. **Avaliação do umbuzeiro como porta-enxerto de outras *Spondias* cultivadas sob condições de sequeiro em Petrolina**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2008, 20 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 76).
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; ARAÚJO, F. P. de Competição de clones do umbuzeiro: cinco anos após. In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 16., 2002, São Luís. **Resumos...** São Luís: SBG-MA, 2002. p. 131.
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, M. C. de. Recursos genéticos do umbuzeiro: preservação, utilização e abordagem metodológica. In: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/catalogo/livroorg/index.html>>. Acesso em: 14 mar. 2016.
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. S. Relação entre caracteres quantitativos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 4, p. 449-456, 1998.
- SANTOS, C. A. F.; OLIVEIRA, V. R. de; RODRIGUES, M. A.; RIBEIRO, H. L. C.; DRUMOND, M. A. Estimativas de polinização cruzada em população de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) usando marcador AFLP. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 691-697, 2011. Edição especial.
- SANTOS, C. A. F.; RODRIGUES, M. A.; ZUCCI, M. I. Variabilidade genética do umbuzeiro no semiárido brasileiro, por meio de marcadores AFLP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 1.037-1.043, 2008.
- SANTOS, C. A. F.; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAMPOS, C. de O. Preservação da variabilidade genética e melhoramento do umbuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 104-109, ago. 1999.
- SANTOS, C. A. F.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T. Adequação de modelos no estudo do coeficiente de trilha dos componentes primários e secundários de progênies F6 de soja (*Glycine Max* (L.) (Merrill)). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 42, n. 240, p. 111-121, 1995.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: version 6. 4nd. ed. Cary, 1989a. v. 1., 943 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: version 6. 4nd. ed. Cary, 1989b. v. 2., 846 p.

- SATURNINO, H. M. Recursos genéticos e melhoramento de *Spondias* no Estado de Minas Gerais. In: LEDERMAN, I. E. LIRA JÚNIOR, J. S. de; SILVA JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil**: umbu, cajá e espécies afins. Recife. Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 75-79.
- SILVA, C. M. M. de S.; PIRES, I. E.; SILVA, H. D. da. **Caracterização dos frutos do umbuzeiro**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1987. 17 p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de pesquisa, 34).
- SILVA, F. B. R.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. da; SILVA, A. B.; SILVA, J. C. de. **Zoneamento agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e socioeconômico. Petrolina PE: Embrapa-CPATSA/Recife: Embrapa-CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v, il.
- SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 382 p. il.
- SOUZA, J. C. de. **Variabilidade genética e sistema de cruzamento em populações naturais de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.)**. 2000. 86 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SOUZA, F. X. de. Recursos genéticos e melhoramento de *Spondias* no Brasil. In: LEDERMAN, I. E.; LIRA-JÚNIOR, J. S. de; SILVA-JÚNIOR, J. F. da. (Ed.). **Spondias no Brasil**: umbu, cajá e espécies afins. Recife. Universidade Federal de Pernambuco, 2008. p. 45-53.
- VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; VAN de LEE, T.; HORNES, M.; FRIJES, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M.; ZABEAU, M. AFLP: a new, technique for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Research**, Oxford, v. 23, p. 4.407-4.414, 1995.
- WENDT, S. N.; SOUZA V. A. de; QUOIRIN, M.; SEBBENN, A. M.; STURION, J. A. Caracterização genética de procedências e progênes de *Illexparaguariensis* St. Hil. utilizando marcadores RAPD. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 47-53, mar. 2007.
- WRIGHT, J. W. A simplified design for combined provenance and progeny testing. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 27, n. 2, p. 68-70, 1978.