



**UESB**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DA CULTIVAR  
EMBRAPA 37 PARA PRODUTIVIDADE E  
QUALIDADE DE URUCUEIROS**

**NILMA OLIVEIRA DIAS**

**2016**

**NILMA OLIVEIRA DIAS**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DA CULTIVAR EMBRAPA 37 PARA  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE URUCUEIROS**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Doutora.

Orientadora:  
Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Tiyoko Nair Hojo Rebouças

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA-BRASIL  
2016

D53s     Dias, Nilma Oliveira  
          Seleção de genótipos da cultivar Embrapa 37 para produtividade e  
          qualidade de urucueiros / Nilma Oliveira Dias, 2016.  
          89p. il.; algumas col.

          Orientadora: D.Sc. Tiyoko Nair Hojo Rebouças  
          Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,  
          Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração  
          Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2016.  
          Inclui referências. 77 a 89

          1. *Bixa orellana* L. 2. Corante natural. 3. Variabilidade genética. 4.  
          Bixina. I. Rebouças, Nair Hojo Tiyoko. II. Universidade Estadual do  
          Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. T..

CDD: 635.933138

*Catálogo na fonte:* Juliana Teixeira de Assunção  
UESB – Campus de Vitória da Conquista - BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
Área de Concentração em Fitotecnia


Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DA CULTIVAR EMBRAPA 37 PARA  
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE URUCUEIROS”

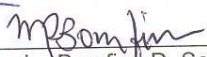
Autor: Nilma Oliveira Dias

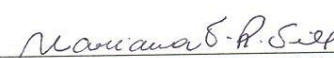
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTORA EM  
AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:

  
Prof.ª Tiyoko Nair Hojo Rebouças, D.Sc., UESB  
Presidente

  
Prof. Cláudio Lúcio Fernandes Amara, D.Sc., UESB

  
Prof. Abel Rebouças São José, D.Sc., UESB

  
Prof.ª Marinês Pereira Bomfim, D. Sc., UFCG/PB

  
Prof.ª Mariana Teixeira Rodrigues Vila, D. Sc., IFBaiano/Guanambi

Data de realização: 26 de fevereiro de 2016.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77) 3424-1059  
– Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900  
e-mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

Dedico esta realização à memória do meu pai, Ivanildo dos Anjos Gonzaga Dias, que, mesmo em sua ausência física, se faz presente em nossas vidas, pois o apoio na formação intelectual e os exemplos de retidão e amor por ele deixados aos filhos consolidaram-se eternamente.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, causa primária de todas as coisas;

À minha mãe Cici Dias, aos meus irmãos Civan Dias e Márcio Dias e suas famílias, amor incondicional que alicerça minha vida;

À Dr<sup>a</sup>. Tiyoko Nair Hojo Rebouças, orientadora e amiga sempre presente;

Ao Jailson Silva, amigo sorridente, escudeiro fiel dos mais árduos trabalhos;

A toda equipe da Biofábrica (funcionários, bolsistas, estagiários), união e força que tornou possível a realização deste trabalho;

Ao produtor Noel Alvim Julião, prestativo e dedicado proprietário da Fazenda Sempre Viva e aos seus funcionários;

Aos professores Abel Rebouças São José e Cláudio Lucio Fernandes Amaral, membros da banca do exame de qualificação, sempre dispostos a colaborar com solicitude;

Aos colegas da jornada da pós-graduação, pessoas no afã e empenho de atingir o mesmo objetivo com colaboração e amizade;

À UESB, coordenação e quadro de docentes do Programa de Pós- graduação em Agronomia da instituição, competentes profissionais responsáveis pela realização do curso;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo fomento concedido;

Aos familiares e amigos, torcida fiel;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização desta tese;

À terra, à água e toda natureza, instrumentos do trabalho e geradores da vida;

Minha eterna gratidão.

*Na vida, nada se faz  
Que mostre justo valor  
Sem a presença da paz  
Entre palavras de amor.*

**Meimei**

## RESUMO

DIAS, N. O. **Seleção de genótipos da cultivar Embrapa 37 para produtividade e qualidade de urucueiros.** Vitória da Conquista, BA: UESB, 2016. 89p. (Tese - Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia).\*

*Bixa orellana* L. (Bixaceae), também conhecido como achiote, annatto ou urucum, é um arbusto amplamente cultivado em regiões tropicais de todo o mundo por ser importante fonte de bixina, carotenoide presente nas sementes, que tem ampla utilização industrial como pigmento natural não tóxico. O trabalho teve como objetivo selecionar plantas com atributos agronômicos superiores. A seleção foi realizada em um plantio comercial da cultivar Embrapa 37, com quatro anos de idade, no município de Eunápolis, BA. Foram selecionadas 500 plantas, considerando-se a melhor carga aparente de monocásios, dentre as quais, as 25 plantas que apresentaram maiores teores de bixina foram avaliadas para atributos morfoagronômicos. Os resultados foram analisados por meio da estatística descritiva, análise de variância e teste de média, correlações fenotípicas e estimativas de parâmetros genéticos. Constatou-se ampla variabilidade genética, plantas com teores de bixina acima da média de especificação de 4,0 %, bem como alta produtividade, destacando-se os genótipos 3 e 27. Foram registrados grupos de genótipos superiores para características morfoagronômicas das cápsulas, com alta herdabilidade e herança genética não aditiva, o que contribui para eficiência de seleção destes materiais, bem como para a propagação vegetativa dos genótipos superiores na implantação de cultivos mais homogêneos e lucrativos de urucueiros.

**Palavras-chave:** *Bixa orellana* L., corante natural, variabilidade genética, bixina.

---

\* Orientadora: Tiyoko Nair Hojo Rebouças, D. Sc., UESB.



## ABSTRACT

DIAS, N. O. **Selection of genotypes cultivar Embrapa 37 for productivity and quality of annatto.** Vitória da Conquista, BA: UESB, 2016. 89p. (Thesis - DSc in Agronomy, Concentration Area in Crop Science).\*

*Bixa orellana* L. (Bixaceae), also known as achiote, annatto or urucum, is a shrub widely cultivated in tropical regions around the world, it is important source of carotenoids, such as bixin present in the seed and is widely used in the industry of natural non-toxic pigment. The objective of this work was to select plants with superior attributes. The selection was carried out in a culture of cultivar Embrapa 37 located in the municipality of Eunápolis, BA. 500 plants were selected considering high production, and among these plants, 25 were selected for high levels of bixin and evaluated. Analyses were performed using descriptive statistics, analysis of variance, correlations and estimates of genetic parameters. It found wide genetic variability, bixin levels above the average of 4.0 % specification and with high productivity, especially genotypes 3 and 27. Groups of superior genotypes for agronomic characteristics of fruits were registered, with high heritability and non-additive genetic inheritance, which can contribute to decisions to be made in breeding programs as well as for the vegetative propagation of superior genotypes in deploying more homogeneous cultures and profitable for producers of annatto.

**Keywords:** *Bixa orellana* L, natural dye, genetic variability, bixin.

---

\* Advisor: Tiyoko Nair Hojo Rebouças, D. Sc., UESB.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Estrutura dos carotenoides bixina e norbixina, cis e trans e do principal produto de degradação. .... 27
- Figura 2** - A. Estádio de seleção de monocásios de urucueiros da Cultivar Embrapa 37; B. Identificação das plantas. Eunápolis, BA, 2013. . 44
- Figura 3** - Determinação de bixina: A. Aquecimento da solução KOH a 5 %; B. Filtragem da solução após fervura das sementes; C. Extratos alcalinos antes e após diluição. Vitória da Conquista, BA, 2013. .... 46
- Figura 4** - Monocásios de urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, avaliados aos 30 dias antes da colheita. Eunápolis, BA, 2014. .... 47
- Figura 5** - Medição da largura e comprimento de cápsulas (mm) de urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014. .... 48
- Figura 6** - Número de urucueiros (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados em função de teores de bixina no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2013. .... 54
- Figura 7** - Coloração das cápsulas de urucum (*Bixa orellana* L.) cultivar Embrapa 37: A. Verde em estágio imaturo; B. Vermelha em estágio imaturo; C. Castanha em estágio seco; D. Vista geral da planta com predomínio de cápsulas vermelhas. Eunápolis, BA, 2014. .... 56
- Figura 8** - Cápsulas de urucum (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37 no formatos lanceolado (A) e oval (B). Eunápolis, BA, 2014. .... 57
- Figura 9** - Inflorescência do urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, apresentando diferentes estádios de desenvolvimento das flores. Eunápolis, BA, 2014. .... 59
- Figura 10** - Número de monocásios por planta de urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014. .... 60
- Figura 11** - Massa de grãos por planta de urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionada no município de Eunápolis, BA. Vitória da conquista, BA, 2014. .... 61
- Figura 12** - Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) por planta de urucueiros (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014. .... 62
- Figura 13** - Teor de bixina em função de três colheitas de urucueiros (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014. .... 63

<b>Figura 14</b> - Produtividade de bixina em genótipos de urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.) da cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014. ....	65
<b>Figura 15</b> - Gráfico de correlação linear entre massa de produção (kg) e número de monocásio por planta de urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014. ....	71
<b>Figura 16</b> - Gráfico de correlação linear entre número de cápsula por monocásio e comprimento de cápsula (mm) em urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014. ....	71

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análise física do solo da área experimental, Eunápolis, BA, 2013..	43
<b>Tabela 2</b> - Análise química do solo da área experimental, Eunápolis, BA, 2013 .....	43
<b>Tabela 3</b> - Teores de bixina dos urucueiros ( <i>Bixa orellana</i> L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2013.....	55
<b>Tabela 4</b> - Urucueiros ( <i>Bixa orellana</i> L.) selecionados no município de Eunápolis, BA de acordo com o formato das cápsulas, Vitória da Conquista, BA, 2014.....	57
<b>Tabela 5</b> - Teores de bixina e produção de bixina por planta de urucueiros ( <i>Bixa orellana</i> L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014 .....	64
<b>Tabela 6</b> - Quadrados médios, médias e coeficiente de variação (CV %) para número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC); largura de cápsula (LC) e teor de bixina (TB) em urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.....	66
<b>Tabela 7</b> - Número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC) e largura de cápsula (LC) de urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.), cultivar Embrapa 37, Vitória da Conquista, BA, 2014 .....	67
<b>Tabela 8</b> - Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson, entre massa de produção por planta (MPP); número de monocásio por planta (NMP); número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG), comprimento de cápsula (CC); largura de cápsula (LC); teor de bixina (TB) em urucueiro ( <i>Bixa orellana</i> L.) da cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014 .....	70
<b>Tabela 9</b> - Estimativas de parâmetros genéticos para número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC) e diâmetro de capsula (DC) em genótipos de urucueiros ( <i>Bixa orellana</i> L.) da cultivar Embrapa 37 . Vitória da Conquista, BA, 2014 .....	74

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al	Alumínio
BA	Bahia
Ca	Cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de cálcio
CC	Comprimento de cápsula
cm	Centímetro
CV	Coefficiente de variação
CVe	Coefficientes de variação ambiental
CVg	Coefficiente de variação genética
CVp	Coefficiente de variação fenotípica
DC	Diâmetro de cápsula
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
G	Ganho genético
g	Gramma
h	Hora
h <sup>2</sup>	Herdabilidade
ha	Hectare
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBA	Ácido Indolbutírico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
kg	Quilograma
km	Quilômetro
LC	Largura de cápsula
M	Molar
m	Metro
MCG	Massa de cem grãos
Mg	Magnésio
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MPP	Massa da produção por planta
N	Newton
NCM	Número de cápsula por monocásio
nm	Nanômetros
NMP	Número de monocásio por planta
NSC	Número de sementes por cápsula
°C	Grau Celsius
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico

Pr	Produtividade
r	Coefficiente de correlação de Pearson
BR	Rodovia Rio-Bahia
SMP	acrônimo de Shoemaker, Mc Lean e Pratt. Solução tampão
t	Toneladas
TB	Teor de bixina
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
V	Percentagem de saturação por bases
Ve	Variância ambiental
Vg	Variância genotípica
Vp	Variância fenotípica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1 Aplicações do urucum .....	18
2.2 Produção e mercado do urucum .....	20
2.3 Origem e sinonímia do urucueiro .....	22
2.4 Botânica e descrição geral.....	23
2.5 Bixina e norbixina .....	25
2.6 Biologia reprodutiva do urucueiro.....	28
2.7 Propagação.....	29
2.8 Cultivares e melhoramento genético do urucueiro.....	32
2.8.1 <i>Cultivar Embrapa 37</i> .....	35
2.9 Parâmetros genéticos.....	36
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
3.1 Área experimental .....	42
3.2 Condições edafoclimáticas .....	42
3.3 Seleção preliminar .....	43
3.4 Determinação de bixina .....	44
3.5 Avaliações após seleção preliminar.....	46
3.5.1 <i>Avaliações antes da colheita</i> .....	47
3.5.2 <i>Avaliações após a colheita</i> .....	48
3.6 Produtividade de bixina .....	49
3.7 Análise de dados .....	50
3.7.1 <i>Estatística descritiva</i> .....	50
3.7.2 <i>Análise de variância</i> .....	50
3.7.3 <i>Correlação de Pearson</i> .....	50
3.7.4 <i>Parâmetros genéticos</i> .....	51
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
4.1 Estatística descritiva.....	53
4.1.1 <i>Seleção preliminar</i> .....	53
4.1.2 <i>Características morfológicas dos frutos</i> .....	55
4.1.3 <i>Florescimento e frutificação</i> .....	57
4.1.4 <i>Atributos de produção de grãos</i> .....	59
4.1.5 <i>Produtividade de bixina</i> .....	62
4.2 Estatística inferencial para componentes de produção.....	66
4.3 Correlação entre os componentes de produção .....	68
4.4 Parâmetros genéticos.....	72
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O urucueiro (*Bixa orellana* L.) é um arbusto nativo da América tropical, pertencente à família botânica Bixaceae e bem adaptado em países africanos e asiáticos (VENUGOPALAN; GIRIDHAR; RAVISHANKAR, 2011). É cultivado principalmente para produção do pigmento denominado bixina, um carotenoide específico com ampla aplicação na indústria de alimentos (JOSEPH; SIRIL; NAIR, 2012).

Sendo assim, o corante natural do urucum está na composição de diversos produtos, como laticínios, massas, carnes, embutidos, defumados e colorífico ou colorau, muito utilizado como condimento na culinária doméstica. O corante também é utilizado nas indústrias farmacêutica, cosmética, têxtil, dentre outras.

A tendência da utilização de produtos naturais, com características funcionais ou apelo saudável, faz das sementes do urucueiro (urucum) uma matéria-prima importante para a produção de corantes alimentícios, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais do grão (DEMCZUK Jr.; RIBANI, 2015).

A proibição de muitos corantes sintéticos, antes utilizados em indústrias de vários países, estimulou a pesquisa e o emprego do urucum como excelente alternativa para o setor. O aumento da demanda pelo aditivo natural cresce com o avanço dos estudos científicos que comprovam os malefícios provocados à saúde pelos sintéticos.

Segundo Pinheiro (2012), trabalhos de pesquisa vêm demonstrando que o consumo de alimentos que contêm corante sintético na sua composição provoca reações adversas a curto e longo prazo, variando desde reações tóxicas no metabolismo desencadeantes de alergias, alterações no comportamento, em geral e carcinogenicidade, esta última observada em longo prazo.



Neste contexto, os pigmentos do urucum estão entre os corantes alimentícios mais utilizados, correspondendo a 90 % do total do mercado na indústria brasileira, enquanto no mercado internacional esse percentual é de 70 % (MERCADANTE; PFANDER, 2001). Além da inocuidade como corante, sua importância se dá por apresentar carotenoides com potencial antioxidante e diversas propriedades medicinais.

Os teores de bixina dos grãos podem variar de 1,00 a 6,00 % em função da cultivar e das condições edafoclimáticas de cada região (REBOUÇAS; SÃO JOSÉ, 1996; FRANCO e outros, 2008). Com esta ampla variabilidade dentro da espécie, os programas de melhoramento genético têm visado o desenvolvimento de cultivares com maior rendimento de bixina.

Na atualidade, para que os grãos sejam classificados como “tipo exportação”, o teor mínimo de bixina deve ser de 4 %, valor bem acima dos 2,5 % exigidos durante 20 anos pelo mercado internacional, entretanto, a média nacional fica em torno de 3,5 % (FABRI; TERAMOTO, 2015).

Essas exigências ocasionaram, na região do Extremo Sul da Bahia, a substituição de muitos plantios da cultivar Bico de Pato, que apresentava percentual médio de 2,5 % de bixina, pela cultivar Embrapa 37 que, de acordo com Poltronieri e outros (2001), foi desenvolvida no estado do Pará e apresenta teores entre 5 e 5,5 %. Assim sendo, torna-se notória a importância da realização de estudos que caracterizem seu desempenho para as condições adotadas e viabilizem programas de melhoramento genético.

Além do teor de pigmentos, as cultivares de urucum apresentam variações expressivas ligadas às características morfoagronômicas, como: formato, cor e tamanho das cápsulas, número de monocásios por planta, número de cápsulas por monocásio e número de sementes por cápsulas (REBOUÇAS; SÃO JOSÉ, 1996).

Para Mantovani (2007), as grandes variações genéticas encontradas entre genótipos de urucum, no que se refere à produtividade de sementes e ao teor de

bixina, representam problemas do ponto de vista da produção de corantes em larga escala. A seleção de plantas superiores para estas características poderá contribuir para orientação de futuros cruzamentos, visando obtenção de híbridos heteróticos e o melhoramento da espécie.

Outra opção para utilização de plantas superiores obtidas através de seleção é a obtenção de plantios clonais de alta produtividade que, segundo Mantovani e outros (2013), representam uma alternativa viável aos de origem seminal e podem ser estabelecidos mediante a propagação vegetativa de genótipos superiores de urucum, selecionados principalmente para uma combinação de produtividade de sementes e conteúdo de pigmentos e, para tanto, a avaliação dessas características é de fundamental importância. Pesquisas centradas na busca por alta produtividade de cápsulas por planta, sementes por cápsulas e altos teores de bixina nas sementes possibilitariam a sustentabilidade do agronegócio do urucueiro e um bom retorno para o agricultor.

Assim, devido à grande demanda por genótipos produtivos, que ofereçam altos rendimentos de bixina e adaptados às condições ambientais do Extremo Sul da Bahia, o objetivo deste trabalho foi selecionar urucueiros, cultivar Embrapa 37, com atributos agronômicos superiores que possam contribuir para melhoramento genético da espécie, e em curto prazo, com a implantação de cultivos mais rentáveis por meio da propagação clonal.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aplicações do urucum

Ao longo da história, o corante do urucum vem sendo usado pelos indígenas com variados objetivos, como: pintura corporal, camuflagem, tintura de objetos de cerâmica, artesanato, aplicação medicinal e proteção contra insetos (ALONSO, 2004; CASTRO e outros, 2009).

Na atualidade, é utilizado com a função de corante na formulação de vários produtos lácteos e à base de gorduras (GIRIDHAR; VENUGOPALAN; PARIMALAN, 2014). O extrato lipossolúvel do urucum foi um dos primeiros corantes a ser aplicado na margarina e manteiga. A forma hidrossolúvel tem sido tradicionalmente empregada em queijos, produtos cárneos como salsichas, peixes defumados e, quando na forma em pó, em bebidas instantâneas e misturas secas (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002). Há ainda usos nas indústrias de sorvetes, confeitaria e massas (LIMA e outros, 2001) e nas indústrias têxteis e de cosméticos (COSTA, 2007).

Outra importante forma de utilização do urucum é como condimento e colorífico nos lares brasileiros, sendo popularmente conhecido como colorau. É produzido a partir da mistura de fubá com o urucum em pó ou extrato oleoso (FABRI; TERAMOTO, 2015).

A importância econômica do corante do urucum, num mercado no qual corresponde a 90 % dos corantes naturais, é favorecida pela proibição de uso de inúmeros corantes sintéticos na formulação de alimentos. Na Itália, por exemplo, não é permitido o uso de sintéticos. Nos Estados Unidos e nos países europeus, somente é permitido um pequeno rol destes produtos, e sob a condição de deficiência da oferta de corantes naturais (CASTRO e outros, 2009).

Além da função corante e condimentar, o urucueiro destaca-se como

planta medicinal. De acordo com Lima e outros (2001), seus extratos possuem potencial anti-hemorrágico, expectorante na forma de xarope e para gargarejos, como laxativos, estomáticos, cicatrizantes e contra dispepsia. Rojas e outros (2006) ainda destacam sua propriedade antimicrobiológica.

Além disso, existe um interesse crescente no elevado potencial antioxidante da bixina, o que pode levar a uma nova geração de antioxidantes mais eficientes, bem como medicamentos com aplicações específicas, tais como o tratamento de hipoglicemia (ROEHRS e outros, 2014). Moreira e outros (2014) também ressaltam as propriedades funcionais presentes na semente de *Bixa orellana* e sugerem que sua utilização como corante natural propicia benefício à saúde humana pelo alto potencial antioxidante. Para Lemos e outros (2011), embora estudos sistemáticos *in vivo* devam ser conduzidos para explorar a biodisponibilidade das fitomoléculas, avaliadas em seu aspecto funcional, o uso deveria ser estimulado, tanto o doméstico como nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica.

Estudo realizado por Chisté e outros (2011) demonstra que os extratos de urucum também podem ser eficazes na prevenção da peroxidação lipídica e proteção de excipiente alimentar, bases e medicamentos contra danos oxidativos. De acordo com Garcia e outros (2012), a bixina e norbixina, além da função corante, podem ser utilizadas pela indústria de derivados cárneos como antioxidantes naturais, proporcionando uma alternativa capaz de substituir ou minimizar o uso de aditivos sintéticos.

No entanto, a legislação que regulamenta o uso do urucum nestes produtos deve ser revista, passando a prever a função de antioxidante e determinando concentrações limites, específicas para os extratos e carotenoides isolados, permitindo o controle dos processos oxidativos sem comprometer a segurança de seu consumo (GARCIA e outros, 2012).

## 2.2 Produção e mercado do urucum

A bixina, obtida a partir do urucum, ao lado do açafrão, é o corante natural comestível mais importante no mercado global (MAHENDRANATH e outros, 2011) que, em razão de ser produzido com baixo custo e devido à ausência de toxicidade, tem se tornado cada vez mais atrativo e conveniente, em substituição aos corantes sintéticos (STRINGHETA, 2006).

O urucueiro é cultivado em países como: Brasil, Peru, México, Equador, Indonésia, Índia, Quênia e leste da África (ELIAS e outros, 2002; COSTA, 2007). Na América Latina são produzidas em média 17.000 toneladas anuais do grão do urucum (GOLIN e outros, 2013), que é utilizado, principalmente, como matéria-prima para produção de corantes naturais. No Brasil, a área colhida em 2014 foi de 10.755 hectares, com a produção de 12.512 toneladas do grão (IBGE, 2014).

Para Fabri e Teramoto (2015), a produção nacional ainda não é estável, em cinco anos de dados consolidados, 2008 a 2012, a produção oscilou. Em 2010, foram produzidas 13.449 toneladas, o recorde do período, e, em 2012, 12.043 toneladas, a menor produção, com diminuição de 11 %. Nestes cinco anos, houve uma redução consistente da produtividade na região norte do país, que passou de 1.202 kg ha<sup>-1</sup> em 2008 para 1.019 kg ha<sup>-1</sup> em 2012. Em contrapartida, a região Sudeste apresentou acréscimos de produtividade, passando de 1.024 kg ha<sup>-1</sup> em 2008 para 1.291 kg ha<sup>-1</sup> em 2012.

No ano de 2013, as regiões brasileiras apresentaram as seguintes produções em toneladas (t): Sudeste, 4.378 t; Norte, 3.647 t; Nordeste, 2.124 t; Sul, 1.055 t e; Centro Oeste, 565 t. A região Sudeste (tendo como maior produtor o estado de São Paulo com 2.869 t) foi responsável por 37 % da produção, seguida pelo Norte (31 %) e Nordeste (18 %). O Estado da Bahia produziu 1.469 t, com o rendimento médio de 1.067 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2013).

Estima-se que a produção brasileira de urucum esteja dividida entre

micros, pequenos, médios e grandes produtores, sendo que cerca de 60 % dessa produção destina-se à fabricação do colorífico e os 40 % restantes são fornecidos às indústrias de corantes e/ou exportação. Dessa produção, 78,2 % são provenientes da produção familiar, cuja grande maioria tem o produto como única fonte de renda, ocupando uma área média para o cultivo de 1,32 hectares (SILVA; FRANCO, 2000).

Apesar de ser uma atividade agrícola de baixo custo, apresentando de média a alta produtividade, para ser financeiramente estável a urucultura requer a organização dos produtores em associações e/ou sindicatos, para fortalecer a cadeia produtiva e assegurar o principal elo dessa cadeia, que é a comercialização. O produtor familiar também não pode prescindir de assistência técnica, se quiser superar os obstáculos que se apresentarem (CASTRO e outros, 2009).

Os pequenos e médios produtores brasileiros preferem vender o grão do urucum *in natura* por preços relativamente baixos, comparados ao valor do corante industrializado, pois a implantação da técnica de extração do corante por solventes específicos torna-se inviável, tendo em vista o baixo rendimento de extração frente aos altos custos requeridos na aquisição de equipamentos e insumos, necessários no controle das variáveis operacionais para manter a qualidade do corante (CUNHA, 2008).

Existem no Brasil várias indústrias produtoras de corantes. As principais empresas estão instaladas no estado de São Paulo, principalmente em regiões próximas à grande capital ou na região metropolitana de Campinas. Apesar da diversidade de utilização, somente algumas indústrias desenvolvem os corantes dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado internacional. Aquelas que exportam têm como principais mercados a América do Sul, Japão, Estados Unidos e países da Europa (FABRI; TERRAMOTO, 2015).

No estado da Bahia, a exigência em qualidade dos grãos de urucum pela indústria é fator decisivo na sustentabilidade da cultura, que já foi o principal

produtor do país. Observa-se uma queda na produção e diminuição da área plantada, e isso é devido principalmente aos preços praticados em grãos de baixa qualidade, causando desestímulo nos produtores que substituem, abandonam ou não renovam as lavouras de urucum. A Bahia, pelas suas características ambientais e facilidade na comercialização e escoamento da produção, possui indiscutível potencialidade no cultivo do urucueiro, sendo, no entanto, necessária a adoção de estratégias que possam garantir, ao produtor, mercado e preço atrativos, de tal forma que a cultura do urucuzero desponte novamente como uma boa alternativa para o agronegócio no Estado (SANTANA, 2006).

### **2.3 Origem e sinonímia do urucueiro**

*Bixa orellana* L. é uma planta nativa das florestas tropicais da América. Sua designação científica foi originada do nome Francisco de Orellana, explorador espanhol, que navegou toda extensão do rio Amazonas até a desembocadura no ano de 1541 e verificou o valor cultural do urucum, que era utilizado pelos índios da região. A palavra urucum provém do tupi “*uru ku*” que, segundo os estudiosos do idioma, significa vermelho (LIMA, 1990). É uma planta rústica, perene, de origem pré-colombiana e pertence à flora amazônica (CASTRO e outros, 2009).

Por ter sido propagado em diferentes regiões do mundo, pode-se encontrar a planta do urucueiro, com vasta sinonímia vulgar como: Arnoto, em Ceilão; Atolé, Achioté, Bija, no Peru e em Cuba; Axiote, no México; Achioté, Achote, Anatto, Bija, em Porto Rico; Ditaque e Kifasu, em Angola; Bixa, na Guiana; Orleans Laum, na Alemanha; Roucou, Rocouyer, na França; Analto, em Honduras; Guajachote, em El Salvador; Onotto e Onotillo, na Venezuela; Shambu, na Bolívia; Annatto e Annatto-Tree, na Inglaterra; Urucu, na Argentina; Roucou, em Trindade; Roucou e Koessewee, no Suriname. No Brasil, essa planta é conhecida vulgarmente por urucum, urucu, açafão, açafroa e açafroeira da

terra (SILVA; FRANCO, 2000).

## 2.4 Botânica e descrição geral

O urucueiro possui a seguinte classificação botânica no Reino Vegetal, segundo o sistema de Engler (JOLY, 1998):

Divisão: Angiospermae

Classe: Dicotyledoneae

Subclasse: Archichlamydeae

Ordem: Violales

Família: Bixaceae

Gênero: *Bixa*

Espécie: *Bixa orellana* L.

Os primeiros registros escritos sobre essa planta foram encontrados na carta de Pero Vaz de Caminha ao rei de Portugal em 1500, na qual descreve diversas espécies vegetais brasileiras, dentre elas, o urucum, com a seguinte descrição:

[...] uns ouriços verdes, de árvores que, na cor, queriam parecer de castanheiros, embora mais e mais pequenos, e eram cheios duns grãos vermelhos pequenos, que, esmagados entre os dedos, faziam tintura vermelha, de que eles andavam tintos. E quanto mais se molhavam, tanto mais vermelhos ficavam (FILGUEIRAS; PEIXOTO, 2002, p. 267).

Cientificamente, *B. orellana* é descrito como uma árvore pequena ou arbusto com folhagens, de três a cinco metros de altura, podendo alcançar 10 metros. O tronco é curto e tem de 20 a 30 cm de diâmetro, casca cinza escura com lenticelas em filas verticais (REVILLA, 2001). Possui raiz pivotante, caule lenhoso, folhas completas e alternadas, flores completas e hermafroditas, a inflorescência é classificada como agrupada, disposta em panícula na parte terminal do ramo (LIMA, 1990).



O fruto do urucueiro é denominado cápsula ou cachopa, possui em média de 3 a 4 cm de comprimento e 3 a 5 cm de diâmetro, contendo em seu interior um número entre 30 a 70 sementes, sendo mais comum 40 a 50 sementes, que possuem em torno de 5 a 6 mm de comprimento (REBOUÇAS; SÃO JOSÉ, 1996).

A produtividade de pigmentos do urucueiro pode variar em função do estágio de maturação dos frutos, das condições edafoclimáticas e tratos culturais aplicados à cultura.

As sementes apresentam máximo conteúdo de matéria seca, máxima germinação e vigor aos 76 dias, após a antese. Nesse estágio, o tegumento externo apresenta coloração vermelho escuro opaco, espesso, com a área da calaza circundada por anel de coloração lilás e o funículo marrom claro (MENDES; FIGUEIREDO; SILVA, 2005). A produção se inicia entre 12 e 18 meses, com produtividade de 1,5 a 3 t ha<sup>-1</sup> de sementes após 4 anos (AGUIAR; GONÇALVES; PATERNIANI, 2014).

Considerando a época de colheita do urucum, Kato e outros (1992) concluíram que o ponto máximo de qualidade fisiológica das sementes situou-se entre 72 e 90 dias após a abertura da primeira flor da inflorescência e que percentagens de bixina acima de 2,5 % só foram alcançadas pelas sementes colhidas entre 30 e 51 dias após a abertura da primeira flor.

A principal característica apresentada pelas sementes é o revestimento por uma camada de polpa vermelha, com a presença de pigmentos corantes de cor vermelha a alaranjada, sendo as principais a bixina e a norbixina (NAKANO, 1998).

Segundo Carvalho, Carvalho e Mantovani (1991), o arilo representa cerca de 5 % a 10 % do peso da semente, dos quais apenas 30 % são representados pelo carotenoide bixina. Os 70 % restantes estão divididos em cinzas (2,0 %), proteínas (2,5 %), lipídeos (30 %), carboidratos (32 %) e umidade (3,5 %). A semente sem o arilo possui 9,8 % de umidade, 4,6 % de cinzas,

10,8 % de proteína, 4,8 % de lipídeos e 70 % de carboidratos. Chisté e outros (2011) destacam que, além dos carotenoides (bixina e norbixina), na planta também se acumulam terpenoides, tocotrienóis e flavonoides com potencial atividade antioxidante.

## 2.5 Bixina e norbixina

Dentre os carotenoides presentes na semente do urucum, o principal é a bixina, único na capacidade de fornecer pigmentos em amplo espectro de cor: variando do vermelho escuro ao laranja, dependendo de sua dosagem e concentração (IYER e outros, 2015). É um corante lipossolúvel e, portanto, sujeito à extração com alguns solventes orgânicos (SANTANA e outros, 2008).

A bixina possui uma cadeia isoprênica de 25 carbonos, contendo um ácido carboxílico e um éster metílico nas extremidades, perfazendo, assim, a fórmula molecular  $C_{25}H_{30}O_4$ . Representam 80 % dos pigmentos de *Bixa orellana* L. (MERCADANTE e outros, 1996; GOLIN e outros, 2013) e constituem cerca de 3 a 7 % do peso das sementes (AGUIAR; GONÇALVES; PATERNIANI, 2014).

A hidrólise alcalina do grupamento éster metílico da bixina leva à formação de pigmentos como a norbixina (lipossolúvel), o sal da norbixina (hidrossolúvel) e vários produtos de degradação térmica, que têm como características a lipossolubilidade e uma coloração amarela mais estável (NACHTIGALL e outros, 2009).

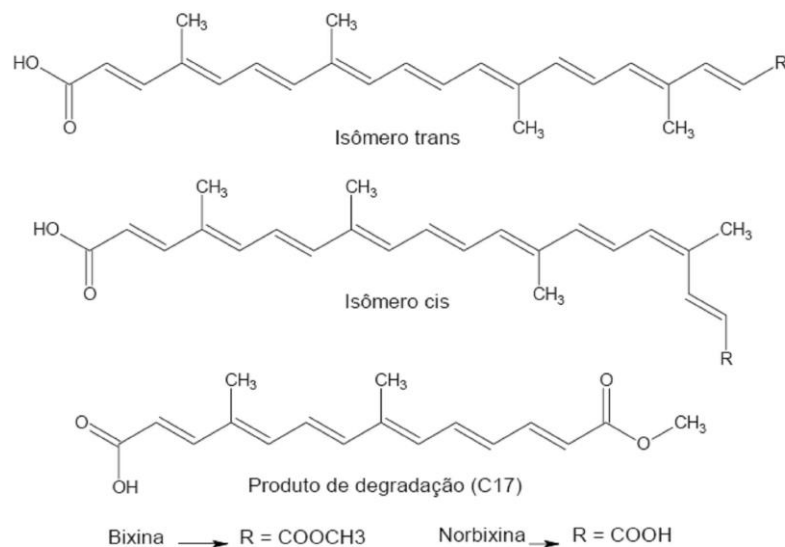
A norbixina ( $C_{24}H_{28}O_4$ ) é o derivado desmetilado da bixina que, apesar de ocorrer naturalmente, é quase sempre referida como produto da saponificação da bixina, sendo esta a sua forma de obtenção para fins comerciais (MERCADANTE; PFANDER, 1998). Estudo realizado por Gallardo-Cabrera e Rojas-Barahona (2015) mostra que altas concentrações de norbixina em meio aquoso são um fator de proteção contra a fotodegradação: a formulação a uma

concentração de 5,58 % proporcionou conservação dos seus atributos sensoriais por 12 meses a 30 °C, mostrando uma vida útil suficiente para o processo de armazenamento, distribuição e utilização na indústria.

Os corantes bixina e norbixina apresentam duas configurações estereoquímicas, isto é, cis e trans. Nos extratos em condições normais, pode predominar a cis-bixina ou a cis-norbixina, mais instáveis. A cis-bixina ou a cis-norbixina em solução sob aquecimento é parcialmente transformada para a configuração trans, mais estável, conhecidas como isobixina e isonorbixina (PIMENTEL, 1995).

A bixina é única entre os carotenoides que ocorrem na natureza, não apenas devido à sua configuração cis, mas também devido à sua molécula ter dois grupos carboxílicos, um deles sendo um éster metílico. Isso dá à molécula certa lipossolubilidade. Pela hidrólise alcalina do seu grupamento éster metílico, pode-se preparar o sal hidrossolúvel do ácido dicarboxílico norbixina (SILVA, 2007).

A Figura 1 representa estrutura dos carotenoides bixina e norbixina, cis e trans e do principal produto de degradação (SCOTTER, 1995).



**Figura 1** - Estrutura dos carotenoides bixina e norbixina, cis e trans e do principal produto de degradação.

Fonte: Scotter (1995)

Os principais métodos de extração dos pigmentos de urucum são descritos por Silva (2007) como: atrito e secagem em leito de jorro, raspagem e peneiramento, lixiviação das sementes com água e agitação, extração com óleos vegetais, extração com solvente, extração com soluções alcalinas.

O pigmento pode ser extraído por meio de solventes adequados, como acetona e metanol, dentre outros, e, após sua remoção, a forma em pó é preparada e em seguida resuspendida em óleo em concentrações de 3,5 a 5,2 % de bixina. A forma solúvel em água é obtida pela remoção do pericarpo em solução alcalina a 70 °C (saponificação), e o resultado é um sal de norbixina (ARAÚJO, 1995). Tanto o hidróxido de sódio, de potássio ou de amônio e o carbonato de sódio são utilizados como o álcali (SILVA, 2007).

As sementes de urucum com teores menores que 2,5 g de carotenoides totais, expressos como bixina por 100 g de sementes de urucum (base úmida), encontram dificuldades de comercialização, por diminuírem muito o rendimento industrial e a qualidade do produto final (CARVALHO e outros, 2010).

Considerando a larga aplicação na indústria alimentícia, diversos trabalhos tratam da toxicidade desse corante, e sua inocuidade está comprovada por meio de ensaios de toxicidade e mutagenicidade, mesmo em elevadas concentrações (PAUMGARTTEN e outros, 2002; BAUTISTA e outros, 2004; AGNER e outros, 2004).

## **2.6 Biologia reprodutiva do urucueiro**

As flores de *Bixa orellana* L. são pentâmeras, cíclicas, perfeitas, poliândricas, tendo em torno de 378 anteras por flor e apresentam heterostilia, sendo que em maior frequência os estigmas encontram-se mais altos que anteras. As anteras são ditecas, amarelas e de deiscência poricida e o estigma, que apresenta sua porção terminal alongada, quando da antese, gradualmente abre-se ao meio, tornando-se uma superfície em forma de um disco achatado, ampliando a área de captura de grãos de pólen, o que está provavelmente associado ao aumento de receptividade do estigma ao longo do dia (MESQUITA, 2008).

A antese inicia-se em torno das cinco horas, exigindo até uma hora para se completar, considerando-se como o início o momento em que as pétalas começam a se afastar, expondo os estames. As anteras e as porções média e apical do estigma refletem luz UV. Testes sobre o sistema reprodutivo indicaram que a espécie é alógama, porém, pode ocorrer autopolinização (MAUÉS e outros 2005).

Ensaio citogenéticos e reprodutivos, realizados em uma população de *Bixa orellana* L. no Sudeste do Brasil por Lombello e Pinto-Maglio (2014), indicam as seguintes características: a espécie é autocompatível, mas, preferencialmente, alógama, apresentando entomofilia; flores emasculadas não produziram frutos apomíticos; frutos formados exclusivamente por autopolinização são menores e têm menos sementes do que os obtidos por meio de polinização aberta; o número médio de óvulos por flor é de 50,55; o índice de

pólen viável é de 98,1 %; o número médio de sementes por cápsula 44.6 e o índice de germinação de semente de 54.5 %.

Joseph, Siril e Nair (2012) também descrevem a polinização cruzada, sendo o pólen tricolpado com 95 % de viabilidade, que diminuiu acentuadamente após 4 h de deiscência das anteras. Altos índices de viabilidade de pólen (85 %) também foram relatados por Rivera-Madrid e outros (2006).

Normalmente, a abertura das flores ocorre primeiramente na parte inferior e depois na porção superior da inflorescência. O tempo entre a abertura das flores e a maturação dos frutos varia de região para região, sendo entre 100 e 140 dias no Nordeste, Sul e Sudeste e de 80 a 110 dias no Norte, dependendo da precocidade de cada material selecionado e plantado (FRANCO e outros, 2008).

Quanto aos agentes polinizadores, no Extremo Sul da Bahia, Bonfim e outros (2015) constataram que as espécies mais abundantes e classificadas como constantes foram abelhas das espécies *Apis mellifera*, *Trigona spinipes* e *Bombus morio* com as demais sendo consideradas como acessórias ou acidentais. O período de maior forrageamento foi concentrado na parte da manhã (8 a 12 h). Como a diversidade de espécies polinizadoras é relativamente pequena, os autores aconselham o cultivo dessa lavoura próximo às áreas de mata nativa e outras plantações, pois são potenciais para visitação de abelhas, podendo aumentar o sucesso reprodutivo do plantio.

## **2.7 Propagação**

A propagação do urucueiro é feita comercialmente por via sexual, isto é, através de sementes, entretanto, pode ser também realizada por via vegetativa, utilizando os métodos da estaquia e enxertia (REBOUÇAS; SÃO JOSÉ, 1996).

A propagação sexuada pode ser feita por meio da semeadura direta, em sacos de polietileno ou em canteiros para posterior transplante ao campo. As sementes devem ser obtidas de frutos colhidos em seu estágio de maturação

completa, evitando secagem excessiva das mesmas para que tenham alto poder germinativo (REBOUÇAS; SÃO JOSÉ, 1996).

A propagação por sementes vem apresentando problemas, pois a germinação é baixa, devido à dormência imposta pelo tegumento. Separação de sementes de urucum, por peso, influi na qualidade fisiológica, sendo que sementes mais pesadas são de qualidade superior, porém, apresentam maior incidência de dormência, assim, o tratamento de escarificação mecânica é recomendado (CUSTÓDIO e outros, 2015). Picolotto e outros (2013) recomendam a escarificação com lixa ou tratamento com ácido sulfúrico, por cinco minutos.

Embora seja uma prática comum, é sabido que o método de propagação sexuada não é o mais recomendado, pelo motivo de se obter uma grande desuniformidade entre as plantas em função da alta taxa de variabilidade genética. As variações mais comuns constam em relação à cor, formato e tamanho das cápsulas, teor de bixina, tolerância às pragas e doenças, produtividade, dentre outras (FRANCO e outros, 2008).

De acordo com Carvalho, Carvalho e Otoni (2005), em razão da grande variabilidade genética e por ser uma espécie perene, a propagação vegetativa constitui um método viável para a multiplicação de indivíduos geneticamente superiores, de modo a se obterem plantios clonais de alta produtividade e qualidade.

A propagação por estaquia consiste na retirada de parte da planta (ramos jovens com diâmetro próximo de 1 cm e 30-40 cm de comprimento), que depois de eliminada a parte apical, divide-se em duas estacas que serão enterradas cerca de 2/3 do seu comprimento e que podem ser enraizadas em substrato de areia lavada. Em seguida, cobrem-se as estacas com plástico transparente, formando, dessa forma, uma câmara úmida. As estacas são tratadas com uma solução de ácido indolbutírico (IBA) na concentração de 100 ppm, durante 8 a 12 horas, e após o estaqueamento. O leito deve ser coberto com plástico transparente e

irrigado pelo menos três vezes ao dia (FRANCO e outros, 2008).

Diversos métodos de enxertia, testados por Bruckner, Khouri e Melgaço (1991), demonstraram a viabilidade da propagação vegetativa para a cultura, com os melhores rendimentos obtidos pelos métodos: borbulhia, garfagem no topo em fenda cheia e à inglesa simples.

Segundo Mantovani e outros (2010), o resgate vegetativo e a produção de propágulos vegetativos da espécie podem ser realizados com sucesso através da alporquia, empregando o anelamento total dos ramos, tratamento com IBA e proteção dos ramos com filme plástico transparente.

É muito importante destacar que metodologias adequadas de propagação vegetativa do urucum, necessárias para a fixação de combinações híbridas desejadas, têm sido desenvolvidas a partir de técnicas de cultura de tecidos, quer sejam a partir de material adulto ou juvenil (PAIVA NETO; MOTA; OTONI, 2003; CARVALHO e outros, 2005; CRUZ, 2007; MANTOVANI, 2007; MATOS, 2009).

Nesse sentido, a propagação clonal, alicerçada em técnicas de cultura *in vitro*, pode refletir positivamente no melhoramento genético com ganhos efetivos, decorrentes da fixação de genótipos superiores, com a clonagem e propagação de indivíduos-elite adultos, estabelecimento de bancos de germoplasma, mediante conservação de recursos genéticos *in vitro*, domínio e otimização das rotas morfogênicas regenerativas para aplicação em protocolos eficientes de transformação genética (CRUZ, 2007).

A morfogênese *in vitro*, a partir de tecidos adultos de urucum, é possível e requer maiores estudos, no sentido de otimizar as respostas, ampliando-as em termos de eficiência para que subsidie protocolos de propagação clonal de matrizes-elite, em especial aqueles com elevado teor de carotenoides ou com tolerância, e, ou, resistência a doenças. Ademais, denotam a importância e potencial de sua aplicação em protocolos de regeneração e transformação genética, visando à manipulação genética do acúmulo dos carotenoides nas



sementes, mediante a superexpressão de enzimas relacionadas à rota biossintética desses compostos (CRUZ, 2007).

## **2.8 Cultivares e melhoramento genético do urucueiro**

O Brasil, com suas dimensões continentais, apresenta várias classificações climáticas. Este fato permite o crescimento de grande diversidade de plantas, desde a floresta tropical úmida do Amazonas, passando pela Mata Atlântica ao longo da costa, os cerrados, na região centro-oeste e nas áreas de semiárido no nordeste. A maior parte do território encontra-se na região tropical, onde a latitude abrange de 5° N a 33° S. Há, portanto, razões suficientes para os melhoristas de plantas devotarem boa parte de seus esforços para melhorar plantas apropriadas aos climas mais quentes (POMMER; BARBOSA, 2007).

A obtenção de genótipos com características agrônômicas de interesse inicia-se com a manipulação dos recursos genéticos vegetais, sendo a variabilidade genética o ponto de partida de qualquer programa de melhoramento genético de uma espécie. A caracterização dessa variabilidade é importante aos estudos de fitomelhoramento (CRUZ e outros, 2004). As populações com alta taxa de variabilidade ainda demonstram menor vulnerabilidade a condições ambientais adversas, devido ao seu potencial adaptativo (MARTINS-CORDER e outros, 1996).

De acordo com Franco e outros (2002), na cultura do urucum a presença da alogamia estimula o aumento da variabilidade genética e do vigor, contribuindo para o aparecimento de indivíduos que são heterogêneos e heterozigotos, devido à troca de frequência gênica que ocorrem a cada ciclo. Há, portanto, maior flexibilidade da estrutura genética. Com endogamia forçada, ocorre perda de vigor e deterioração. Essa depressão, devido ao endocruzamento, é o resultado da heterozigose de alelos subvitais. Assim, o objetivo do melhoramento dessas plantas é manter a heterozigose ou restaurá-la no final do

programa.

Segundo Lacerda e outros (2001), a caracterização constitui uma das principais etapas dos trabalhos com germoplasma, pois permite indicar plantas com potencial de uso imediato pelos agricultores, bem como identificar acessos ou genótipos que apresentam características interessantes para o melhoramento, além de ser fundamental para o estabelecimento de formas de exploração econômica racional. O binômio produtividade e bixina deve ser priorizado pelos melhoristas e geneticistas, visto que a qualidade terá espaço assegurado no agronegócio do urucum (SANTANA, 2006; FRANCO, 2008).

O conhecimento das características das sementes de diferentes cultivares serve para identificar e valorizar uma determinada região produtora, além de auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias de extração ou no aprimoramento daquelas já existentes (DEMCZUK Jr.; RIBANI, 2015). Para Joseph, Siril e Nair (2012), o maior problema relacionado com o cultivo comercial do urucum no subcontinente indiano é a indisponibilidade de cultivares produtivas e a falta de sincronismo na floração da espécie.

A última década foi marcada pelo melhoramento genético do urucueiro, buscando maior produtividade e, principalmente, maior teor de pigmentos. Existe uma extensa variedade genética no urucum, que são conhecidas por denominações como “Focinho de Rato”, “Cabeça de Moleque”, “Peruana”, “Bico de Pato”, “Amarela”, “Piave”, entre outras. Todas são caracterizadas por propriedades como porte da planta, período de produção, forma e cores das cápsulas, deiscência etc. (CARVALHO e outros, 2010).

Para Rebouças e São José (1996), devido às variações genéticas expressivas entre as cultivares de urucueiros, com teor de bixina entre 1 a 6 %, em programas de melhoramento genético, poder-se-ia realizar cruzamentos entre os tipos mais promissores, procurando transferir características superiores à progênie, encontrando-se indivíduos híbridos que herdassem dos progenitores alta produtividade, aliada a altos teores de bixina.

Franco e outros (2008) relatam que as cultivares mais indicadas e adaptadas às condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro com possibilidade de êxito na sua utilização comercial são: Embrapa 2, Crisbix, Cambrix, Embrapa 36 e Embrapa 37. Já para as regiões Sul e Sudeste, os autores destacam as cultivares: Piave, Peruana Paulista, Bico de Pato, Casca Vermelha e Casca Verde.

Segundo Silva e Franco (2000), avaliações de cultivares de urucum no Estado da Paraíba apresentaram a produtividade de grãos mais elevada para a cultivar Bico de Pato 20, conteúdos de bixina acima da média de especificação (2,5 %) para as cultivares EMBRAPA 2 (4,0 %), EMBRAPA 1 (3,61 %), Casca Vermelha (2,94 %), Bico de Pato 20 (2,81 %), Bico de Pato 22 (2,71 %), Casca Verde (2,68 %).

Santana (2006) realizou a seleção de genótipos de urucueiros da cultivar Bico de Pato no município de Eunápolis, BA e constatou uma alta taxa de variabilidade genética entre as plantas com relação ao teor e produção de bixina, uniformidade em relação ao período de florescimento, e maturação dos frutos, além de tolerância a oídio. O autor observou plantas com alta produtividade (até 2.630 kg ha<sup>-1</sup>) e com teor de bixina até 3,1 %.

Carvalho e outros (2010) relatam que as árvores existentes na coleção do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) possuem altos teores de bixina na semente, variando (em base seca) de 3,12 ± 0,06 % a 6,26 ± 0,06 %. Os teores de lipídios variaram de 1,97 ± 0 % a 3,98 ± 0,09 %. Não foram observadas correlações entre as concentrações de bixina e de lipídios.

Resultados da pesquisa, feita por Madrid e outros (2006) no México, mostram diferenças consideráveis no teor de bixina de sementes de três cultivares, com as que possuíam a flor rosa, tendo os maiores teores de bixina apresentando, no entanto, as cápsulas deiscentes, que expõe as sementes (e, portanto, os pigmentos) ao sol e podendo levar à perda de potencial de pigmentos.

No município de Vitória da Conquista, localizado na região Sudoeste da Bahia, Silva e outros (2010) constataram que ocorre conservação *on farm* da cultivar Peruana Paulista; e a cultivar Bico de Pato encontra-se em processo de erosão genética pela baixíssima aceitabilidade entre os produtores.

São José e outros (2013) consideram que a sustentabilidade do agronegócio do urucum passa, naturalmente, pelo uso de material genético de qualidade, que possibilite elevar o teor de bixina nas sementes e os níveis de produtividade. Esses dois elementos permitem ao produtor maior rentabilidade do seu negócio e melhor enfrentamento das crises, especialmente aquelas associadas às oscilações de preço. Nesse sentido, a expansão dos cultivos deve ser feita com cautela e de forma criteriosa para que a atividade possa se estabelecer mais solidamente.

### ***2.8.1 Cultivar Embrapa 37***

Poltroniere e outros (2001) descrevem que a obtenção da cultivar Embrapa 37, pela Embrapa Amazônia Oriental, foi realizada pelo seguinte método: realizou-se a seleção massal fenotípica em áreas de produtores (populações nativas da região amazônica), resultando na seleção de 360 plantas matrizes, via sementes. Destas, foram selecionadas para o alto teor de bixina (acima de 2,5 %) 10 % das matrizes ou 36 matrizes para compor o ensaio de avaliação, sob forma de progênies de polinização aberta. Os ensaios foram realizados em dois municípios: Capitão Poço e Tracuateua no Pará. As sementes de cada matriz foram semeadas em sementeiras e, posteriormente, transplantadas em sacos de mudas, dando origem às progênies. Dos ensaios, foram selecionadas duas progênies, 0097 e 0108, que foram submetidas a uma série de cruzamentos controlados entre plantas, dentro de cada progênie, visando manter a integridade da semente obtida.

Após esse processo, o material obtido foi multiplicado e submetido a

teste em áreas produtoras. Em 1998, após ter sido comprovada a eficiência e superioridade destes materiais, em relação aos tradicionalmente cultivados na região, estes foram lançados pela Embrapa Amazônia Oriental com as denominações de Embrapa 36 e Embrapa 37, apresentando o rendimento mínimo de 2,0 e 2,5 kg de semente seca/planta/ano, respectivamente, a partir do quarto ano de plantio. Ambas com teor de bixina de 5,0 a 5,5 % em média.

A Embrapa-36 é recomendada para área de terra firme, portanto, bem drenada, e para solos com classe textural que varie de média a muito argilosa. A cultivar Embrapa-37 também pode ser plantada em solos bem drenados, profundos, permeáveis e com textura suavemente argilosa ou até mesmo arenosa. Ambas não toleram o encharcamento (CASTRO e outros, 2009).

De acordo com Poltroniere e outros (2001), a cultivar Embrapa 37 possui porte médio, com altura em torno de 1,54 m, copa compacta e hemisférica, com tendência a crescimento lateral e ramos próximos ao solo. Apresenta o número médio de nove cápsulas por cacho, cerca de 40 sementes por cápsula, com o número médio de 39,4 sementes por grama, rendimento médio de 2,5 kg de semente seca/planta/ano. Nas condições da Amazônia oriental, a floração, frutificação e maturação ocorrem de maio a dezembro.

## **2.9 Parâmetros genéticos**

Em um programa de seleção de plantas, as características agronômicas observadas geralmente têm herança quantitativa, portanto, são governadas por grande número de genes que têm sua expressão fortemente influenciada pelo ambiente (FRANCO e outros, 2002). Este fato dificulta a identificação dos genótipos com base apenas no fenótipo observado.

Nesse sentido, em trabalhos de seleção de genótipos, a estimativa de parâmetros genéticos é muito importante. Tais estimativas e a sua compreensão permitem conhecer a estrutura genética da população, fazer a inferência da

variância genética da mesma (BALDISSERA e outros, 2014), identificar a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos, definir com eficiência diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos com a manutenção da base genética adequada na população (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Essas Estimativas têm sido utilizadas como subsídio na definição de estratégias de melhoramento, por gerarem informações sobre o potencial genético de indivíduos, famílias e clones, entre outros, a serem selecionados e/ou recombinados para um novo ciclo de seleção (RESENDE, 1991; FERNANDES e outros, 2004).

Quando se trata de plantas perenes, os parâmetros genéticos são ainda mais importantes que em plantas anuais, pois a decisão dos melhoristas deve ser a mais precisa possível, considerando o longo ciclo dessas espécies (CANUTO, 2009).

Porém, ao se utilizar dos resultados obtidos, é preciso considerar que os mesmos só são válidos para a população da qual o material experimental constitui algum tipo de amostra e para as condições de ambientes em que o estudo foi conduzido. Assim, quando se pretende estimar, experimentalmente, as variâncias genéticas, tanto os genótipos quanto os ambientes de experimentação devem constituir amostras apropriadas, respectivamente, da população e da área geográfica de interesse (ROBINSON; COCKERHAM, 1965).

Em uma determinada população, os fenótipos de cada indivíduo são condicionados a variações ligadas ao caráter genético, ambiental ou pela interação genótipos com ambientes (BORÉM, 2001). A herança genética está relacionada com a hereditariedade, que é a transmissão das informações genéticas por meio da transferência do DNA para a descendência, e pode ser estudada através de parâmetros genéticos, utilizando populações segregantes (BORÉM, 2001; BALDISSERA e outros, 2014).

Sendo assim, um fenótipo observado é uma interação entre os genes que o codificam e o ambiente no qual se expressam (ACQUAHH, 2007). O valor fenotípico pode ser decomposto em dois componentes, devido às influências do genótipo do indivíduo e do ambiente no qual ele se desenvolveu. Por genótipo entende-se a combinação de genes do indivíduo, e por ambiente entende-se qualquer outro fator não genético que possa influenciar o fenótipo (FALCONER, 1993).

Segundo Allard (1999), deve-se ao biólogo Johannsen a demonstração de que a variação fenotípica, observável, resulta da ação conjunta do genótipo e do ambiente. Com o desenvolvimento da genética quantitativa, conseguiu-se compreender também o componente genotípico da variação fenotípica, o qual, de fato, resulta da ação e da interação entre os genes.

Para utilizar a genética quantitativa no melhoramento de plantas e animais, é importante o desenvolvimento dos delineamentos genéticos e da estatística experimental, pois a estimação dos componentes de variância genética envolve basicamente: (a) a utilização de algum sistema de cruzamento que controle o grau de relacionamento entre as progênies; (b) a avaliação dessas progênies em experimentos, com delineamento estatístico apropriado; (c) a expressão das esperanças dos quadrados médios, fornecidos pela análise da variância, em função dos componentes de variância apropriados; (d) a tradução dos componentes de variância em termos de covariâncias entre parentes, baseando-se no delineamento genético usado; e, finalmente, (e) a expressão das covariâncias entre parentes como funções teóricas de componentes de variância genética (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1981).

As questões primárias da genética são formuladas em termos de variância, sendo base de estudos a variação e a sua partição em componentes de diferentes causas. Outra vantagem no estudo das variâncias é proporcionar as estimativas de herdabilidade e predições de ganhos esperados com a seleção (FALCONER, 1981).

Na prática, a variância fenotípica é obtida pela divisão do quadrado médio de genótipos pelo número de repetições; a genotípica, pela diferença entre quadrado médio de genótipos e quadrado médio de resíduo dividida pelo número de repetições; e a ambiental, pelo quadrado médio de resíduo dividido pelo número de repetições (CRUZ e outros, 2004).

As variações de ambiente podem ofuscar as de natureza genética e quanto maior for a proporção da variabilidade decorrente do ambiente em relação à variabilidade total, mais difícil será selecionar genótipos de forma efetiva (JUNG e outros, 2008).

É a variabilidade genética que constitui a base da seleção e melhoria adicional em quaisquer espécies de culturas. Quanto mais ampla a gama de variação hereditária, mais eficaz será a seleção e vice-versa. Alta amplitude de variabilidade torna conveniente para selecionar uma característica em particular com facilidade e eficácia (FIROUZIAN, 2003).

A presença de variabilidade genética pode ser confirmada e quantificada pelo coeficiente de variação genética (CVg), que expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter (RESENDE, 1991). Os coeficientes de variação genética acima de 7 % são considerados altos por Sebbenn e outros (1998). Estimativas do CVg permitem ao melhorista ter uma percepção da grandeza relativa das mudanças que podem ser obtidas por meio de seleção, ao longo de um programa de melhoramento, já que se trata de um parâmetro, cuja estimativa é diretamente proporcional à variância genética (SILVA e outros, 2009).

Um dos parâmetros genéticos mais utilizados é a herdabilidade ( $h^2$ ) que, segundo Falconer (1981) e Borém (2001), consiste na proporção herdável da variabilidade total apresentada por um caráter, e expressa a confiabilidade do valor fenotípico como estimador do valor genético.

O conceito de herdabilidade, introduzido para separar as diferenças genéticas e não genéticas entre indivíduos, é de fundamental importância para a



estimativa dos ganhos genéticos e para a escolha dos métodos de seleção a serem aplicados (REIS, 2000).

Falconer e Mackay (1996) conceituam a herdabilidade como um parâmetro que reflete a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada, ou seja, quantifica a confiabilidade do valor fenotípico como guia para o valor genético. Apenas o valor fenotípico de um indivíduo pode ser mensurado, porém, é o valor genético que influenciará a próxima geração. Sendo assim, é importante o conhecimento de quanto da variação fenotípica é atribuída à variação genotípica e este é medido pela herdabilidade.

O coeficiente  $h^2$  pode variar de zero a um. No caso de  $h^2 = 1$ , as diferenças fenotípicas entre os indivíduos são causadas unicamente por diferenças genéticas entre os mesmos. Quando  $h^2 = 0$ , significa que a variabilidade do caráter não tem origem genética. Neste caso, não existe correlação alguma entre valor genético e valor fenotípico da unidade de seleção (ALLARD, 1999). Quanto mais próxima de 1 (um) for a herdabilidade, mais representativo é o fenótipo em relação ao genótipo (PATERNIANI, 1963) e mais confiável será a seleção (ALLARD, 1999).

As estimativas de herdabilidade podem variar de acordo com a característica avaliada, o método de estimação, a diversidade na população, a unidade experimental considerada, o tamanho da amostra avaliada, o nível de endogamia da população, o número e tipos de ambientes considerados e a precisão na condução do experimento e na coleta de dados (BORÉM; MIRANDA, 2005). Conseqüentemente, estas estimativas não devem ser extrapoladas para outras populações.

No entanto, em algum momento, a elevada herdabilidade pode não ser indicação de alto progresso genético. Sugere-se, portanto, que alta herdabilidade deve ser combinada com o ganho genético (G) na predição de expressão fenotípica (KHALIQ; NOORKA; KAHLIQ, 2009).

O G, para uma determinada característica, é o parâmetro que exprime o avanço da geração seguinte em relação à população original, decorrente da seleção efetuada. O ganho na seleção é uma função da porção genética da variabilidade total e quanto mais precisas forem as estimativas dos parâmetros do complexo genótipo-ambiente, melhores serão as previsões do melhorista e maiores possibilidades de antever o progresso esperado com aplicação de diferentes tipos e intensidade de seleção (FALCONER; MCKAY, 1996).

Quando existe a predominância de efeitos aditivos no controle de um caráter, em determinado cruzamento, as médias obtidas para características dos genitores não diferem das médias da progênie e, em caso da existência de efeitos não aditivos (dominância e/ou epistasia) no controle de um caráter, a média dos genitores difere da média da progênie F1 (ALLARD, 1999). Alta herdabilidade acompanhada por baixo ganho genético é indicativo de predominância de ações gênicas não aditivas (EID, 2009).

A existência da variância aditiva é um indicativo de relacionamento entre o comportamento da unidade selecionada e a unidade melhorada, ou seja, sua descendência. O valor genético aditivo é um indicador do número de alelos favoráveis da unidade de seleção (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Por fim, os estudos de parâmetros estatísticos, como variância e coeficientes de variação fenotípica, genotípica e ambiental, herdabilidade e ganho genético, não são úteis apenas para avaliar a estabilidade genética e desempenho de qualquer cultura particular, mas constituem também uma medida para determinar a eficácia da seleção (LARIKE; HAFIZ; KHUSHK, 1989).

Nas literaturas consultadas sobre *Bixa orellana* L. não foram encontrados trabalhos referentes a avaliações de parâmetros genéticos para a cultura.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área experimental**

O trabalho foi realizado na Fazenda Sempre Viva, situada na rodovia BR 367, km 57, Eunápolis, BA, em um cultivo comercial, em sequeiro, da cultivar Embrapa 37 com quatro anos de idade, propagado por sementes, implantado com espaçamento de 6,0 x 3,0 metros.

O plantio encontra-se localizado em região de Mata Atlântica, onde a vegetação predominante são pastos sujos e capoeiras em regeneração. As coordenadas geográficas são: 16° 40' de Latitude Sul e 39° 34' de Longitude Oeste de Greenwich; com altitude de 141 m.

#### **3.2 Condições edafoclimáticas**

A região é caracterizada como tropical úmida, sem estação de seca definida, área de clima AF pela classificação de Köppen. A umidade relativa do ar média é de 84,8 %; a temperatura média anual de 23,3 °C e o índice pluviométrico em torno de 1.260 mm anuais.

O solo possui classe textural franco argilo arenosa (Tabela 1). A análise de solo revelou o pH de 5,9 e 5,8 e percentagem de saturação por bases (V) de 56 % e 57 % à profundidade de 20 cm e 40 cm, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 1 - Análise física do solo da área experimental, Eunápolis, BA, 2013.**

Profundidade (cm)	Frações da amostra total (%)			Comp. Granulométrica (tfsa g/kg)					Classe textural
	Calh. 200-20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm		
01-20	0	0	100	570	120	20	290	Franco Argilo Arenosa	
02-40	0	0	100	580	110	20	290	Franco Argilo Arenosa	

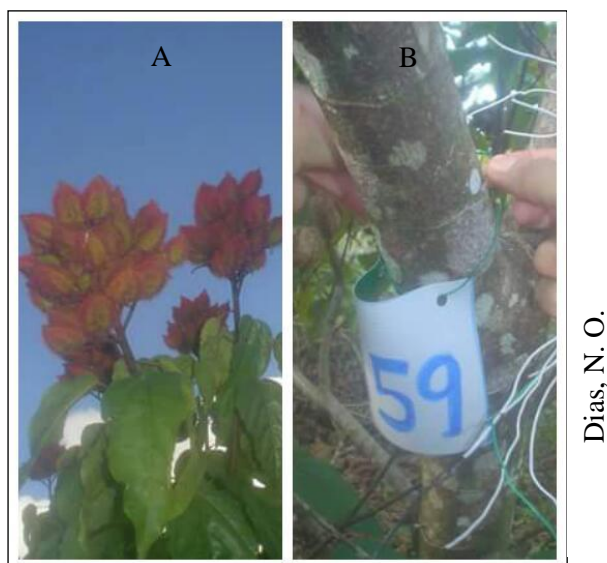
**Tabela 2 - Análise química do solo da área experimental, Eunápolis, BA, 2013.**

Profundidade (cm)	pH	P H <sub>2</sub> O mg/dm <sup>3</sup>	Cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> de solo								V %	m %	PST	M.O g/dm	
			K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	S.B.	t					T
01-20	5,9	32	0,17	3,0	1,2	0,1	3,3	-	4,4	4,5	7,8	56	2	-	22
02-40	5,8	32	0,13	2,7	1,2	0,1	3,0	-	4,0	4,1	7,1	57	2	-	17

P e K, foi utilizado Extrator Mehlich; para Ca, Mg e Al, foi utilizado (KCl 1N); e para H + Al foi utilizado (CaCl<sub>2</sub> 0,01M e SMP).

### 3.3 Seleção preliminar

Entre os dias 13 e 14 de junho 2013, foi realizada a primeira seleção com base na carga aparente da produção de monocásios em estágio imaturo (Figura 2A). Considerou-se a maior carga pendente, bom aspecto de sanidade e vigor das plantas, que foram marcadas com placas nos troncos (Figura 2B), numeradas de 1 a 500.



**Figura 2** - A. Estádio de seleção de monocápios de urucueiros da Cultivar Embrapa 37; B. Identificação das plantas. Eunápolis, BA, 2013.

A colheita foi realizada no dia 14 de agosto de 2013, quando os monocápios apresentavam maturação com no mínimo  $\frac{3}{4}$  das cápsulas com cor castanha. A amostragem foi feita coletando-se oito monocápios por planta, dois em cada ponto cardeal, no terço médio da planta.

As amostras foram encaminhadas à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Laboratório da Biofábrica, para a determinação de bixina.

### **3.4 Determinação de bixina**

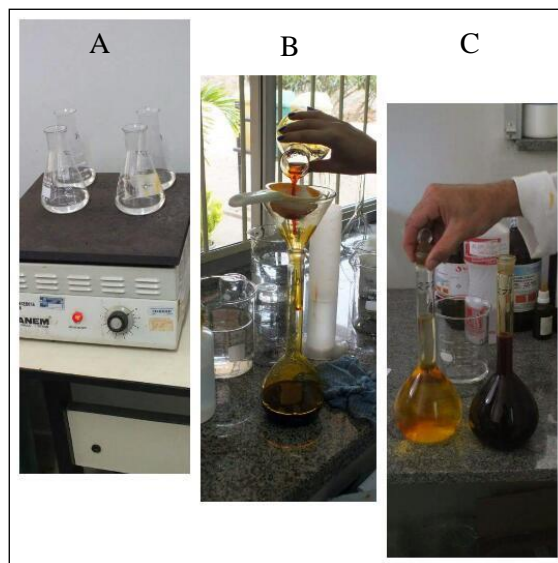
Para a determinação de bixina (%), as sementes foram retiradas das cápsulas manualmente, acondicionadas em envelopes de papel pardo e colocadas em estufa a 40 °C, por 48 h, até atingirem 10 % de umidade. Dos lotes de sementes de cada planta foram retiradas amostras para determinação do teor de bixina pelo método hidróxido de potássio, descrito por Yabiku e Takahashi

(1991), por meio do seguinte procedimento:

- a. Pesou-se 25 g da amostra dos grãos utilizando balança analítica digital FA 2012 N;
- b. Em um erlenmeyer de 500 mL foi adicionado 150 mL de solução de KOH a 5 % e colocou-se para ferver em chapa metálica (Figura 3A);
- c. Ao entrar em ebulição, colocou-se as sementes, mantendo-as por 1 minuto;
- d. Esfriou-se em água corrente;
- e. Em um balão volumétrico de 1000 mL, filtrou-se a solução (Figura 3B) e, posteriormente, lavou-se com água destilada (100 mL) por sete vezes, e completou o balão até 1000 mL;
- f. Tomou-se uma alíquota de 2 mL da solução corante filtrada, e colocou em outro balão volumétrico de 1000 mL, completando do volume com a solução de KOH a 0,5 %, fornecendo o extrato alcalino (Figura 3C);
- g. Realizou-se a leitura em espectrofotômetro com filtro de 453 nm e célula de 1 cm de percurso óptico, contra um branco de solução de KOH a 0,5 %. Foram realizadas três leituras para cada amostra. Utilizou-se a seguinte equação para calcular o teor de bixina:

$$Bi(\%) = \frac{Ab \times fD \times V}{m.E} \times 1,037, \quad (1)$$

Em que:  $Ab$  = absorvância;  $fD$  = fator de diluição (1000 mL);  $V$  = volume inicial do extrato;  $m$  = massa de semente (25 g);  $E$  = coeficiente específico de extinção (3473); 1,037 = fator de conversão.



Dias, N. O.

**Figura 3** - Determinação de bixina: A. Aquecimento da solução KOH a 5 %; B. Filtragem da solução após fervura das sementes; C. Extratos alcalinos antes e após diluição. Vitória da Conquista, BA, 2013.

Das 500 plantas selecionadas em campo, 10 % não tiveram seus teores de bixina determinados pela ocorrência de fungos nos grãos, decorrente da alta umidade.

### 3.5 Avaliações após seleção preliminar

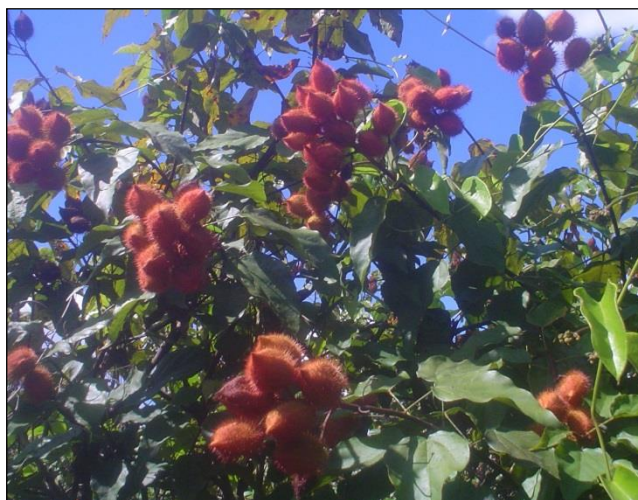
Após a obtenção dos teores de bixina das 450 plantas, selecionou-se as que apresentaram teores  $> 4,50$  % do pigmento, tomando como base a classificação “tipo exportação” em que teor mínimo deve ser de 4 %.

Esta seleção totalizou em 25 genótipos, para as quais foram realizadas as demais avaliações.

### 3.5.1 Avaliações antes da colheita

- a. Entre os meses de setembro 2013 e fevereiro de 2014, foram determinados os períodos de florescimento e frutificação, registrando-se, por meio de análise visual, o período que compreende o início da formação das inflorescências até a maturação das cápsulas (secagem dos frutos na planta);
- b. Coloração das cápsulas: foi avaliada visualmente antes da secagem entre vermelha, avermelhada ou verde;
- c. Presença ou ausência de pêlos: as cápsulas foram examinadas quanto à pilosidade de forma visual;

A Figura 4 representa os monocásios no estágio de avaliação, aos 30 dias antes da colheita.



Dias, N. O.

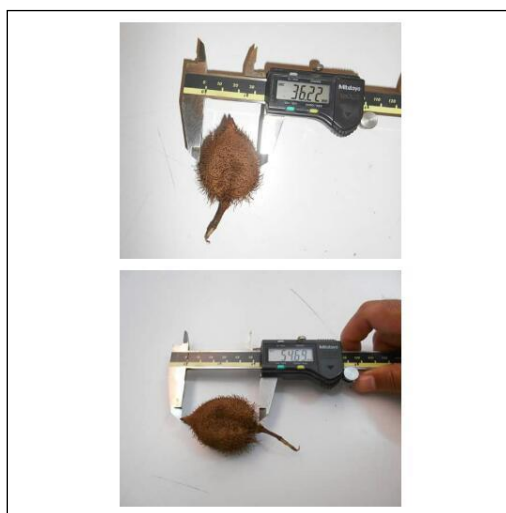
**Figura 4** - Monocásios de urucurio (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, avaliados aos 30 dias antes da colheita. Eunápolis, BA, 2014.



### 3.5.2 Avaliações após a colheita

Após a colheita realizada no dia 20 de fevereiro de 2014, foram realizadas as seguintes avaliações:

- a. Comprimento e largura das cápsulas (mm): obtidas com o auxílio de paquímetro no maior diâmetro (Figura 5), em 40 cápsulas por planta;
- b. Formato das cápsulas: deu-se em função da relação entre o comprimento e a largura (oval = largura igual ou superior a 70 % do comprimento; lanceolada = largura inferior a 70 % do comprimento), de acordo com a metodologia descrita por Mantovani e outros (2013).
- c. Teor de bixina: conforme item 3.4



Dias, N. O.

**Figura 5** - Medição da largura e comprimento de cápsulas (mm) de urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.

Na ocasião da colheita realizada no dia 05 de agosto de 2014, foram feitas as seguintes avaliações:

- a. Número de monocásios por planta: antes da colheita foram contadas as quantidades de monocásios em cada planta selecionada;

- b. Deiscência: observou-se a abertura das cápsulas, quando os monocásios apresentavam-se no ponto de colheita;
- c. Massa de grãos por planta: as plantas foram colhidas separadamente, a produção individual foi acondicionada em sacos de nylon, identificadas, transportadas ao galpão da fazenda, onde foram beneficiadas em máquina debulhadora para extração e pesagem da massa de grãos (kg) em balança digital;
- d. Produtividade: foi estimada em  $\text{kg ha}^{-1}$  com base na área ocupada por cada planta ( $18 \text{ m}^2$ );
- e. Número de cápsulas por monocásio: foram contadas as quantidades de cápsulas por monocásio, em amostras de oito monocásios, retirados em cada ponto cardeal no terço médio da planta;
- f. Número de sementes por cápsula: foi determinado em oito cápsulas de cada monocásio amostrado;
- g. Massa de cem grãos: determinada em quatro amostras de cem grãos por planta, as quais foram pesadas utilizando-se balança analítica de precisão ( $0,001 \text{ g}$ );
- h. Teor de bixina (%): conforme item 3.4.

### **3.6 Produtividade de bixina**

A produtividade de bixina, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$ , foi estimada conforme metodologia descrita por São José e outros (1992a), multiplicando-se a produção de grãos por hectare de cada planta pela média do teor de bixina obtido nas três colheitas consecutivas, para as 25 plantas selecionadas.

### **3.7 Análise de dados**

#### ***3.7.1 Estatística descritiva***

Alguns dados foram avaliados com base na estatística descritiva, sendo:

- a) Dados de caráter qualitativo: carga pendente visual, formato, deiscência e coloração das cápsulas, períodos de florescimento e maturação das cápsulas;
- b) Dados de caráter quantitativo: número de monocásio por planta e massa de grãos por planta e produtividade de bixina.

#### ***3.7.2 Análise de variância***

Considerou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 25 tratamentos (genótipos selecionados) e oito repetições para número de cápsula por monocásio (NCM), comprimento de cápsulas (CC), largura de cápsulas (LC) e número de sementes por cápsulas (NSC). Para o teor de bixina (TB) e massa de cem grãos (MCG), foram consideradas 3 e 4 repetições, respectivamente. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de homogeneidade de variâncias e normalidade. A comparação das médias foi realizada pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa Sisvar, versão 5.3 (FERREIRA, 2011).

#### ***3.7.3 Correlação de Pearson***

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis: massa de produção por planta (MPP); número de monocásio por planta (NMP); número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC); largura de cápsula (LC) e teor de

bixina (TB), foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) descrito em Steel e Torrie (1960) e sua significância foi verificada pelo teste t de Student, a 1 % e 5 % de probabilidade.

#### **3.7.4 Parâmetros genéticos**

As estimativas de parâmetros genéticos foram determinadas pela metodologia apresentada por Sunday e outros (2007) e Oyiga e Uguru (2010), e com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 2013). As seguintes fórmulas foram utilizadas:

$$Vg = \frac{MSg - MSe}{r} \quad (2)$$

$$Vp = \frac{MSg}{r} \quad (3)$$

$$Ve = \frac{MSe}{r} \quad (4)$$

Em que: Vg = Variância genotípica; Vp = Variância fenotípica; Ve = Variância ambiental; Msg = quadrados médio do genótipo; Mse = quadrado médio do erro e r = números de repetições.

$$CVg = \frac{\sqrt{Vg}}{\bar{X}} \times 100 \quad (5)$$

$$CVp = \frac{\sqrt{Vp}}{\bar{X}} \times 100 \quad (6)$$

$$CV_e = \frac{\sqrt{V_e}}{\bar{X}} \times 100 \quad (7)$$

Em que:  $CV_g$ ,  $CV_p$  e  $CV_e$  = coeficiente de variação genotípica, fenotípica e ambiental, respectivamente, e  $\bar{X}$  a média geral de cada tratamento.

$$h^2 = \frac{V_g}{V_p} \quad (8)$$

Em que:  $h^2$  = herdabilidade;  $V_g$  = Variância genotípica e  $V_p$  = Variância fenotípica.

$$G = i\Delta p h^2 \quad (9)$$

Em que:  $G$  = Ganho genético;  $i$  = constante (que corresponde a 2,06, quando a intensidade de seleção é de 5 %);  $\Delta p$  = desvio padrão da variância fenotípica e  $h^2$  = herdabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estatística descritiva

#### 4.1.1 Seleção preliminar

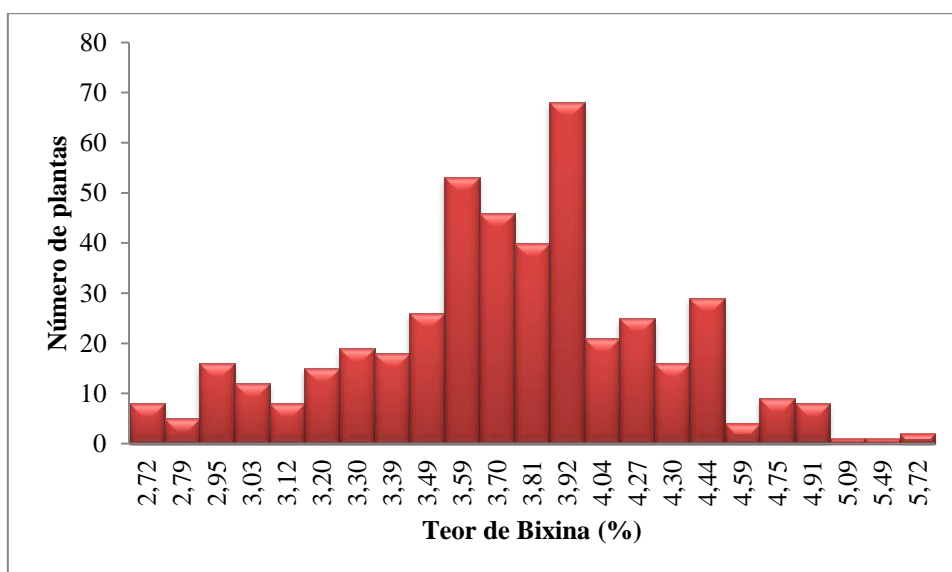
Os dados referentes à porcentagem de bixina das plantas avaliadas estão representados na Figura 6. Observa-se que os teores de bixina variaram entre 2,72 e 5,72 %, com uma grande concentração na faixa entre 3,59 e 3,92 %. Estes níveis indicam a existência de uma ampla variabilidade para a característica avaliada, o que comprova a importância da seleção de genótipos superiores para a cultivar Embrapa 37.

Os resultados obtidos corroboram Moreira e outros (2014), que encontraram níveis de 4,83 % para a mesma cultivar na região Extremo Sul da Bahia; e com Poltroniere e outros (2001), que mencionam teores de 5 a 5,5 % e consideram que as oscilações de teores para uma mesma cultivar podem ser atribuídas a fatores edafoclimáticos, genéticos, ou ainda, a interação desses fatores.

A cultivar Embrapa 37 apresentou resultados superiores aos obtidos para a cultivar Bico de Pato, em experimento desenvolvido em condições edafoclimáticas semelhantes, no município de Eunápolis, BA, por Santana (2006), que encontrou plantas com o teor de bixina na faixa de 0,90 a 3,10 %.

Comparando-se a cultivar Bico de Pato, que já foi a mais cultivada no Extremo Sul da Bahia, com a Embrapa 37, nota-se que esta última apresentou resultados bem mais próximos aos exigidos pelo mercado atual que, de acordo com Fabri e Teramoto (2015), está fixado em um teor mínimo de 4 % para obter classificação tipo exportação. Esse fato demonstra a importância da realização de estudos que viabilizem a obtenção e propagação de plantas mais competitivas,

para que o produtor tenha um melhor retorno econômico com a cultura.



**Figura 6** - Número de urucueiros (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados em função de teores de bixina no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2013.

A identificação das plantas selecionadas para altos teores de bixina ( $\geq 4,50$  %) encontra-se na Tabela 3. O total foi de 25 genótipos, que foram submetidos à avaliação de aspectos morfoagronômicos, visando selecionar aqueles com características superiores também para a produtividade de grãos.

**Tabela 3** - Teores de bixina dos urucueiros (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2013.

Bixina (%)	Número de Identificação das Plantas Selecionadas									
4,59	430	392	373	003						
4,75	27	59	100	154	192	244	298	302	492	
4,91	77	116	199	266	318	382	451	485		
5,09	012									
5,49	308									
5,72	038	065								

#### 4.1.2 Características morfológicas dos frutos

Por meio das observações realizadas nas 25 plantas selecionadas, constatou-se a produção de frutos simples, secos, tipo cápsula loculicida, bivalvares, polispérmicos e uniloculares, características também descritas por Almeida e Pinheiro (1992) e Mantovani e outros (2013) para a mesma espécie.

As cápsulas apresentaram deiscência, quando completamente secas, atributo também descrito por Franco e outros (2008), que relatam que cápsulas da cultivar Embrapa 37, quando maduras, geralmente abrem-se, e apresenta queda das sementes.

Cápsulas deiscentes possuem a desvantagem de perda de sementes, além de deixá-las expostas a luz e umidade, fatores que podem influenciar negativamente na degradação do teor de pigmentos e, conseqüentemente, na qualidade dos grãos.

A deiscência dos frutos é comum em espécies florestais, como *Bixa orellana*, pouco melhoradas geneticamente e que apresentam alta variabilidade genética, constituindo um mecanismo que capacita a dispersão natural de espécies não domesticadas ou selvagens. Sendo um fator desnecessário e pouco desejável para a agricultura, por provocar a perda de produção, a deiscência tende a ser reduzida ao longo do processo de domesticação.

Quanto à coloração, foram observadas cápsulas com tonalidades verde a vermelha, quando imaturas, predominando a coloração vermelha, tornando-se



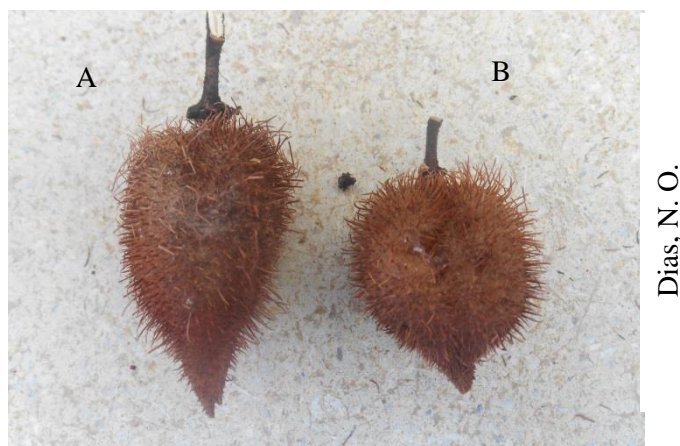
uniformemente castanhas após a maturação plena, com a presença de pelos (Figura 7). Estas características também foram descritas por Poltronieri e outros (2001) e Franco e outros (2008) para a mesma cultivar na região amazônica.



**Figura 7** – Coloração das cápsulas de urucum (*Bixa orellana* L.) cultivar Embrapa 37: A. Verde em estágio imaturo; B. Vermelha em estágio imaturo; C. Castanha em estágio seco; D. Vista geral da planta com predomínio de cápsulas vermelhas. Eunápolis, BA, 2014.

As plantas apresentaram cápsulas em dois formatos: lanceolada e oval (Figura 8), sendo 64 % da forma oval.

O número das plantas em função do seu formato encontra-se na Tabela 4. Franco e outros (2008) descrevem cápsulas da mesma variedade como cônicas e achatadas.



**Figura 8** - Cápsulas de urucum (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37 no formatos lanceolado (A) e oval (B). Eunápolis, BA, 2014.

**Tabela 4** - Urucueiros (*Bixa orellana* L.) selecionados no município de Eunápolis, BA de acordo com o formato das cápsulas, Vitória da Conquista, BA, 2014.

Formato	Número de Identificação das Plantas Selecionadas
Oval	27, 65, 100, 116, 154, 244, 266, 298, 302, 308, 318, 373, 392, 430, 451, 485
Lanceolado	3, 12, 38, 59, 77, 192, 199, 382, 492

Observou-se que aspectos morfológicos de cápsulas da cultivar Embrapa 37, para as condições do bioma Mata Atlântica, foi semelhante às descritas por Poltroniere e outros (2001) para as condições em que foi geneticamente desenvolvida, no bioma Amazônia.

#### 4.1.3 Florescimento e frutificação

Para as condições estudadas, a cultivar Embrapa 37 apresenta o período de florescimento, frutificação e maturação das cápsulas entre os meses de fevereiro e setembro, já para as condições da Amazônia oriental, de acordo com Poltroniere e outros (2001), este período ocorre entre os meses de maio e

dezembro para a mesma cultivar, podendo variar com o regime das chuvas.

Da antese ao ponto de colheita, observou-se o período de 90 dias. De acordo com Rebouças e São José (1996), a colheita do urucum é realizada aproximadamente aos 130 dias após a antese, para as condições do Nordeste do Brasil; e de 60 a 80 dias, para o Norte do país. Franco e outros (2008) descrevem que o tempo entre a abertura das flores e a maturação das cápsulas varia de região para região, sendo entre 100 e 140 dias no Nordeste, Sul e Sudeste e de 80 a 110 dias no Norte.

O período observado para as condições estudadas (90 dias) fica mais próximo aos citados para as condições do Norte do país, o que provavelmente ocorre porque as duas regiões possuem clima equatorial chuvoso. Diferenças fenológicas, geralmente ocorrem devido às variações das condições climáticas.

Observou-se que a abertura do botão floral não ocorre de forma totalmente sincronizada na inflorescência, havendo na mesma estrutura botões e flores em diferentes estádios de desenvolvimento (Figura 9). Sendo assim, as cápsulas não atingem a maturação simultaneamente, apresentando diferentes fases de desenvolvimento em um mesmo monocásio, por este motivo, segundo Pimentel (1985), a colheita só deve ser efetuada quando se verifica que duas a três cápsulas por monocásio adquirem uma coloração acastanhada. De acordo com Rebouças e São José (1996), a colheita é realizada quando se verifica  $\frac{3}{4}$  das cápsulas secas.

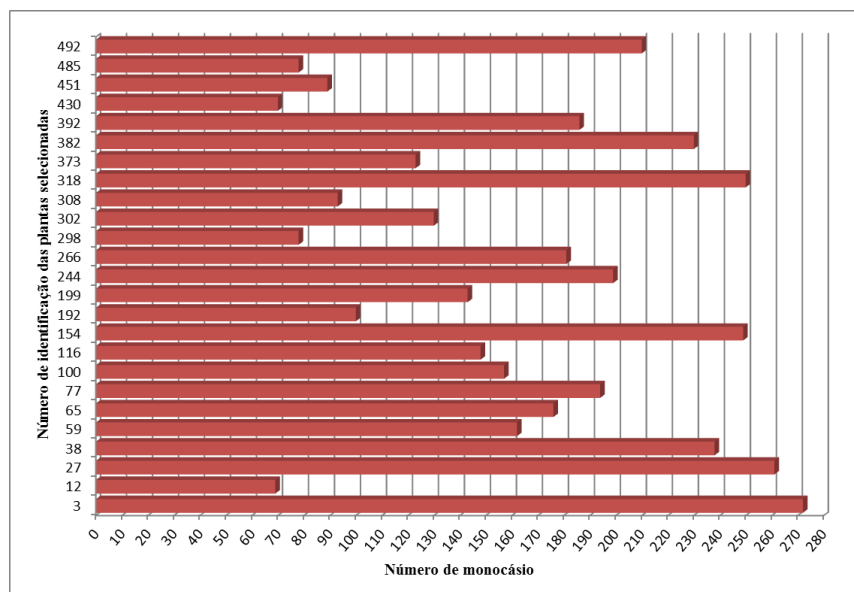


Dias, N. O.

**Figura 9** - Inflorescência do urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, apresentando diferentes estádios de desenvolvimento das flores. Eunápolis, BA, 2014.

#### **4.1.4 Atributos de produção de grãos**

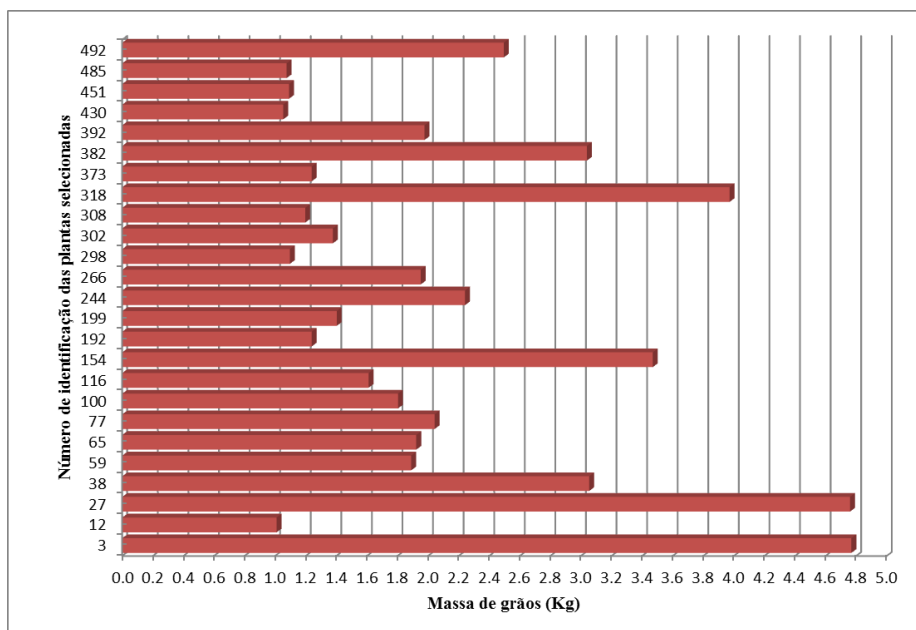
A Figura 10 representa o número de monocásios por planta, que variou entre 69 e 272, apresentando grande amplitude. Grandes variações também foram encontradas por Santana (2006), em urucueiro, cultivar Bico de Pato, com 10 anos de idade, que apresentaram ocorrência entre 34 e 202 monocásios por planta. São José e outros (1992b) também encontraram para a mesma cultivar, porém, com quatro anos, valores entre 66 e 320. Essas diferenças se devem a fatores ambientais e de cultivo como: condições edafoclimáticas, tratos culturais, espaçamento adotado, idade da planta e cultivar implantada.



**Figura 10** - Número de monocóscios por planta de urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014.

A massa de grãos produzidos por planta encontra-se na Figura 11. Observou-se variação entre 1 e 4,8 kg de grãos por planta. Santana (2006) também encontrou grande amplitude de 0,037 a 4,75 kg de grãos por planta da cultivar Bico de Pato.

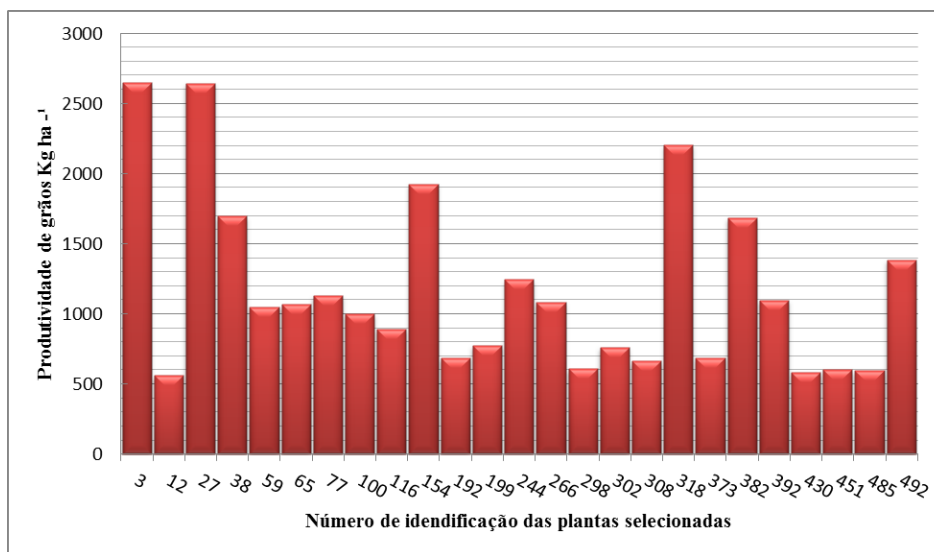
O rendimento médio foi de 2,1 kg do grão por planta, resultado próximo ao descrito por Poltroniere e outros (2001) para a cultivar Embrapa 37, que é de 2,5 kg por planta.



**Figura 11** - Massa de grãos por planta de urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37, selecionada no município de Eunápolis, BA. Vitória da conquista, BA, 2014.

A produtividade estimada com base no stand da área ocupada por cada planta (Figura 12) variou de 561,1 a 2.649,4 kg ha<sup>-1</sup>, com a média de 1.173 kg há<sup>-1</sup>. A cultivar Bico de Pato apresentou maior produtividade, de 1.266 kg ha<sup>-1</sup>, em cultivo avaliado na mesma região por Santana (2006).

Foram registrados altos índices de produtividade de grãos com destaque para os genótipos 3 e 27, que apresentaram rendimentos de 2.649 e 2.644 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, podendo, assim, ser importantes em cruzamentos, visando contribuir em trabalhos de melhoramento genético da espécie, bem como em testes de propagação vegetativa, visando aumentar a produtividade de cultivos em curto prazo.

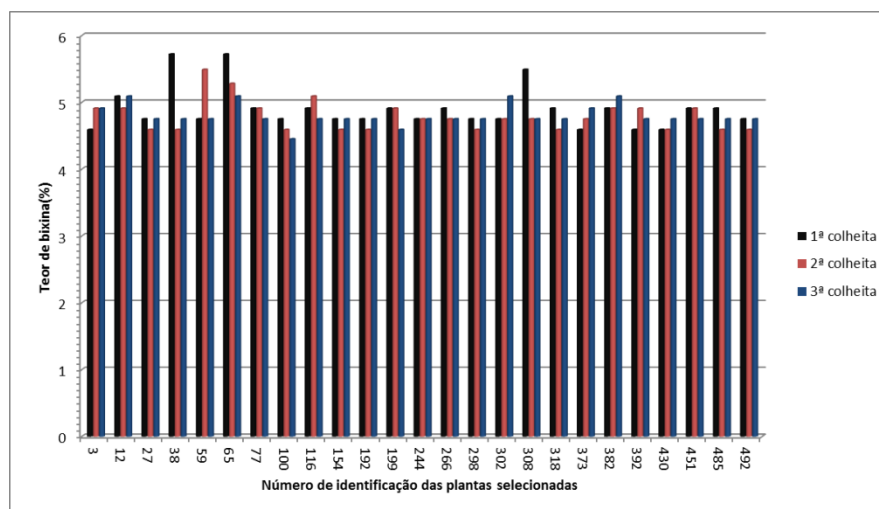


**Figura 12** - Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) por planta de urucueiros (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014.

#### 4.1.5 Produtividade de bixina

Na Figura 13 estão representados os teores de bixina das 25 plantas para a colheita, realizada na seleção em agosto de 2013, e para as duas colheitas consecutivas, realizadas em fevereiro de 2014 e agosto de 2014, estabelecidas como: primeira, segunda e terceira colheitas, respectivamente.

Observa-se uma oscilação dos teores de bixina para uma mesma planta nos diferentes ciclos de produção. A maior variação encontrada foi na planta 38, na qual a porcentagem de bixina foi de 5,72, na primeira colheita, ocasião em que foi selecionada, e de 4,59 na segunda colheita, com decréscimo de 1,13 % de bixina. As oscilações observadas podem ser decorrentes de algum fator relacionado ao ambiente, como condições de umidade, luminosidade e temperatura, ou ainda a algum trato cultural diferenciado para épocas de produção. Porém, nenhuma planta apresentou o teor abaixo da média de especificação para seleção de 4,5 % nos diferentes ciclos observados.



**Figura 13** – Teor de bixina em função de três colheitas de urucueiros (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014.

A porcentagem média de bixina das três colheitas e suas estimativas de produção para as plantas selecionadas encontram-se na Tabela 5. Observa-se que dentro do grupo das 25 plantas selecionadas para altos teores do pigmento, todas com média de aproximadamente 5 %, existe uma grande diferença quando se considera o rendimento do corante individualmente, obtendo-se amplas variações de 48,9 a 229,1 g de bixina por planta. Essa diferença é explicada pelo fato da produção individual de bixina ser obtida considerando-se a massa de grãos total produzida pelo urucueiro.

As plantas da cultivar Embrapa 37 são mais produtivas em relação à cultivar Bico de Pato para condições de cultivo semelhante do município de Eunápolis, BA, onde Santana (2006) encontrou valores 1,0 a 127,9 g de bixina por planta.



**Tabela 5** - Teores de bixina e produção de bixina por planta de urucueiros (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, selecionados no município de Eunápolis, BA. Vitória da Conquista, BA, 2014.

Nº da planta	Teor de bixina (%)	Produção de bixina por planta (g)
3	4,80	229,1
12	5,03	50,8
27	4,70	223,6
38	5,02	153,3
59	5,00	94,4
65	5,36	103,1
77	4,86	99,2
100	4,70	84,7
116	4,92	79,2
154	4,70	163,0
192	4,70	58,2
199	4,80	67,4
244	4,75	106,5
266	4,80	93,8
298	4,70	51,5
302	4,86	67,0
308	5,00	59,8
318	4,75	188,7
373	4,75	58,9
382	4,92	149,4
392	4,75	93,9
430	4,64	48,9
451	4,86	53,0
485	4,75	51,1
492	4,70	117,2

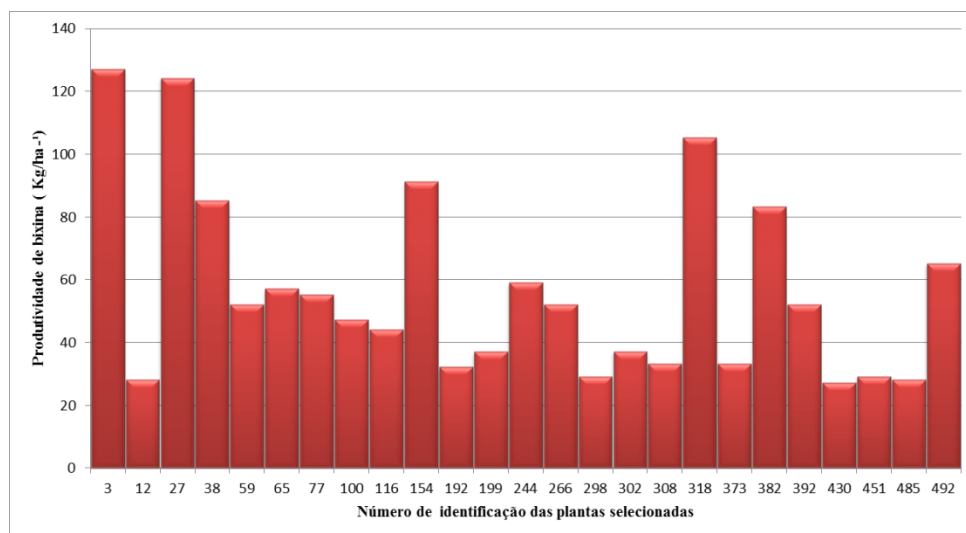
A alta produção de corante, obtida para as plantas selecionadas, é um fator muito importante, no entanto, o que interessa ao agricultor é um material genético com alta produção de bixina por hectare.

A produtividade de bixina por hectare das plantas avaliadas está ilustrada na Figura 14. Considerando-se o binômio: produtividade x bixina para a seleção

do material genético, observa-se excelente resultado para as plantas 3 e 27 com a produtividade de bixina de 127 e 124 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A planta 430 apresentou a menor produtividade, que foi de 27 kg ha<sup>-1</sup>.

A produtividade da cultivar Embrapa 37 foi superior ao encontrado por Santana (2006) para a cultivar Bico de Pato, na Fazenda Sempre Viva, no município de Eunápolis-BA, que foi de 71 kg ha<sup>-1</sup> para a planta selecionada com maior produtividade.

O preço do urucum, praticado entre os anos de 2013 e 2014, foi de 4,0 a 6,0 reais por kg do grão, a depender da qualidade. Os resultados encontrados neste estudo reforçam a importância em estudar tecnologias que visem melhorias na produção e qualidade dos grãos, visando atender às exigências do mercado, que tendem a ser crescentes, promovendo a sustentabilidade na produção e assegurando aos produtores alta rentabilidade.



**Figura 14** - Produtividade de bixina em genótipos de urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA. 2014.

#### 4.2 Estatística inferencial para componentes de produção

Os quadrados médios para os caracteres das cápsulas encontram-se na Tabela 6. Os resultados indicaram diferença significativa para todas as características estudadas, exceto para o teor de bixina, pelo teste F a 5 % de probabilidade. Esta diferença evidencia a existência de variabilidade fenotípica para as características de produção de grãos, fato importante no processo de seleção das plantas.

**Tabela 6** - Quadrados médios, médias e coeficiente de variação (CV %) para número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC); largura de cápsula (LC) e teor de bixina (TB) em urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.

Caracteres	Quadrados Médios		Médias	CV (%)
	genótipos	erro		
NCM	151,150833*	32,097143	16,87	33,58
NSC	93,257083*	31,564286	40,52	13,87
MCG (g)	0,186350*	0,018812	2,61	5,26
CC (mm)	102,965922*	6,38442	46,93	5,38
LC (mm)	32,830138*	4,592525	33,27	6,44
TB (%)	0,076150	0,048264	4,83	4,55

\*Significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo teste F

As comparações das médias das 25 plantas pelo teste Scott-Knott ( $P = 0,05$ ) estão presentes na Tabela 7.

O número de cápsula por monocásio (NCM) variou entre 9,25 e 24,63, constituindo um grupo superior a partir de 16,1 cápsulas, o que totalizou 17 genótipos superiores.

Variabilidades fenotípicas já foram constatadas por outros autores, para essa característica, com variações de 13 a 56 e 17 a 36 cápsulas, descritos para a cultivar Bico de Pato, por São José e outros (1992b) e Santana (2006), respectivamente. A média geral encontrada (16,87) ficou acima da descrita por

Poltronieri e outros (2001) para a cultivar Embrapa 37, que foi de nove cápsulas por monocásio. As diferenças para esta característica podem ser explicadas por fatores como o tipo de cultivo, solo, clima, tratos culturais, idade do plantio.

**Tabela 7** - Número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC) e largura de cápsula (LC) de urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37, Vitória da Conquista, BA, 2014.

Plantas	NCM	NSC	MCG (g)	CC (mm)	LC (mm)
3	21,38 a	40,8 a	2,695 c	52,989 a	35,324 a
12	18,00 a	42,4 a	2,976 a	48,300 b	33,339 b
27	18,75 a	40,6 a	2,595 c	46,731 c	35,493 a
38	22,88 a	41,4 a	2,552 c	49,924 a	32,443 c
59	21,75 a	38,9 b	2,518 c	51,349 a	29,721 d
65	14,75 b	42,9 a	2,192 e	48,063 b	34,520 b
77	16,50 a	36,3 b	2,744 b	47,409 b	32,476 c
100	9,380 b	46,0 a	2,492 c	37,958 e	31,153 c
116	9,250 b	40,0 a	2,576 c	45,443 c	33,850 b
154	21,13 a	38,5 b	2,957 a	47,166 b	35,510 a
192	12,88 b	43,5 a	2,670 c	50,474 a	31,603 c
199	17,75 a	34,4 b	2,481 c	49,519 a	29,471 d
244	16,25 a	44,1 a	2,776 b	48,603 b	34,081 b
266	9,750 b	44,0 a	2,218 e	43,784 d	31,716 c
298	16,13 a	37,6 b	2,625 c	48,539 b	35,909 a
302	14,63 b	45,4 a	2,470 c	39,853 e	33,583 b
308	20,00 a	39,9 a	2,371 d	48,859 b	37,161 a
318	17,75 a	42,4 a	2,576 c	47,411 b	33,023 b
373	9,380 b	42,1 a	2,391 d	42,164 d	32,261 c
382	24,63 a	36,8 b	2,591 c	45,536 c	29,685 d
392	13,75 b	37,8 b	2,575 c	46,663 c	35,204 b
430	19,63 a	39,9 a	2,542 c	45,581 c	33,943 b
451	18,13 a	40,4 a	2,880 b	47,636 b	34,579 b
485	17 a	32,5 b	2,645 c	42,131 d	32,064 c
492	21,38 a	40,8 a	3,087 a	52,989 a	35,324 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Observou-se a existência de grande variação no número de cápsula por monocásio numa mesma planta. De acordo com Santana (2006), este tipo de variação pode está associado a uma relação de compensação, na qual, o fato de alguns monocásios apresentarem maior número de cápsulas, é compensado por aqueles que produzem menos, este fato levou o autor a conclusão de que é coerente a avaliação, levando em consideração os valores médios apresentados por planta.

As médias para número de sementes por cápsula (NSC) variaram de 32,5 a 46,0, constituindo um grupo superior a partir de 39,9 formado por 17 genótipos. Resultados próximos (31 a 48 sementes) foram encontrados por Martins e outros (1996), no estado do Pará, para diferentes cultivares. De acordo com Poltronieri e outros (2001) e Franco e outros (2008), a “Embrapa 37” apresenta cerca de 40 sementes por cápsula, o que corrobora a média encontrada neste trabalho, que foi de 40,52 sementes por cápsula.

A massa de cem grãos variou entre 2,192 e 3,087 g, sendo os genótipos 12; 154 e 492 superiores. Grãos com maior massa são os mais desejáveis para a qualidade do produto, já que o pigmento encontra-se no arilo da semente que, segundo Carvalho, Carvalho e Mantovani (1991), representa cerca de 5 a 10 % da massa total, dos quais apenas 30 % são representados pelo carotenoide bixina. O número médio de sementes por grama foi de 38,3, resultado próximo ao citado por Poltroniere e outros (2001) para a mesma cultivar, que é de 39,4 sementes por grama.

As cápsulas apresentaram comprimentos que variaram de 37,96 a 52,99 mm e larguras que variaram de 29,47 a 37,16 mm. A variabilidade nas dimensões de cápsulas para esta espécie já foi demonstrada por Ferreira e Falesi (1989), que encontraram valores de comprimento e diâmetro, respectivamente, de 60 e 37 mm para a cultivar pastelão, 30 mm e 23 mm para a verdinha, 45 e 42 mm (Wagner), 45 e 30 mm (Branca) e 35 mm e 20 mm (Jari). Comprimentos e diâmetros máximos, respectivamente, também foram descritos por: São José e

outros (1992b), 52 e 43 mm (Bico de pato); Mendes, Figueiredo e Silva (2006), 58,5 mm e 34,6 mm (vermelho piloso); Dornelas (2010), 64,49 mm e 33,72 mm (Casca verde).

Considerando-se as altas amplitudes e diferentes grupos de médias registradas para as variáveis de produção das cápsulas, genótipos superiores podem ser selecionados para a cultivar estudada.

#### **4.3 Correlação entre os componentes de produção**

Os coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ) encontram-se na Tabela 8. As correlações medem o grau de associação entre duas variáveis e o coeficiente de correlação linear de Pearson é utilizado para medir a força, a intensidade ou o grau de relação linear entre duas variáveis aleatórias (STEEL; TORRIE, 1960; KEMPTHORNE, 1973; STEVENSON, 2001; KAZMIER, 2007; FERREIRA, 2009). Sendo assim, observou-se para o par: massa da produção por planta (MPP) e número de monocásios por planta (NMP) a existência de correlação linear positiva significativa de alta magnitude ( $r = 0,914$ ;  $p \leq 0,01$ ).

A Figura 15 representa as dispersões dos dados para estes caracteres. Estes resultados confirmam as afirmações de diversos autores, que consideram o número de monocásios por planta o parâmetro com maior efeito positivo sobre a produção (VALLEJO; ESCOBAR; GOMES, 1981; GASPERI; GASPERI, 1991; MARTINS e outros, 1996, SANTANA, 2006).

Entre o número de cápsula por monocásio e comprimento de cápsula também foi constatada correlação linear positiva significativa ( $r = 0,58$ ;  $p \leq 0,05$ ), porém, com menor magnitude. A dispersão dos dados encontra-se na Figura 16. Nas Ciências Agrárias e, mais especificamente, em programas de melhoramento de plantas, o estudo da correlação linear de Pearson pode fornecer resultados importantes, especialmente na identificação de caracteres para seleção indireta (CARGNELUTTI FILHO e outros, 2012). Desse modo, a correlação

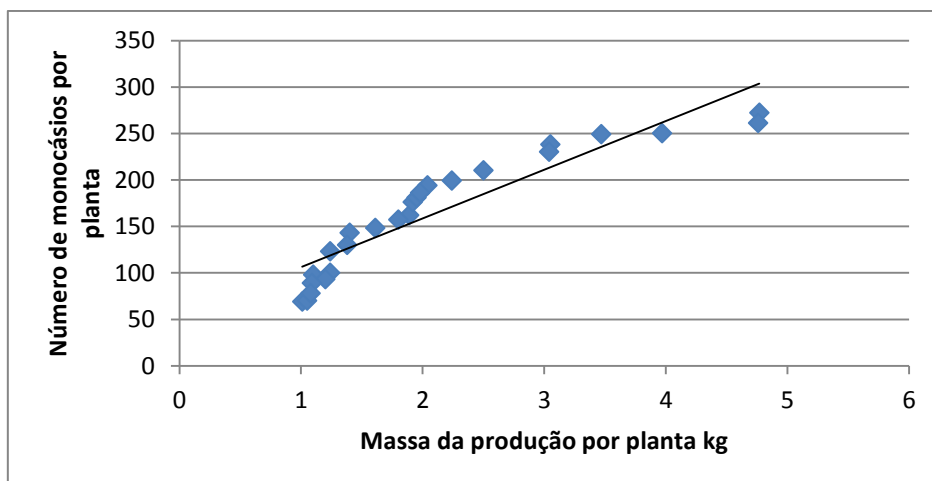
verificada pode indicar que a seleção indireta de plantas com maior produção de cápsulas por monocásio poderá ser feita considerando-se o comprimento das cápsulas, ou seja, monocásios com cápsulas lanceoladas (com maior comprimento) tendem a ser mais produtivos.

Entre os demais pares de caracteres, as estimativas de  $r$  apresentaram associações lineares de baixa magnitude ( $r$  próximos de zero), apesar de significantes em sua maioria. Quando o tamanho da amostra for consideravelmente grande, um pequeno valor do coeficiente de correlação linear de Pearson (próximo de zero) pode apresentar significância estatística, embora, do ponto de vista prático, não reflita, necessariamente uma importante relação linear entre os caracteres (STEVENSON, 2001; HAIR e outros, 2005; KAZMIER, 2007).

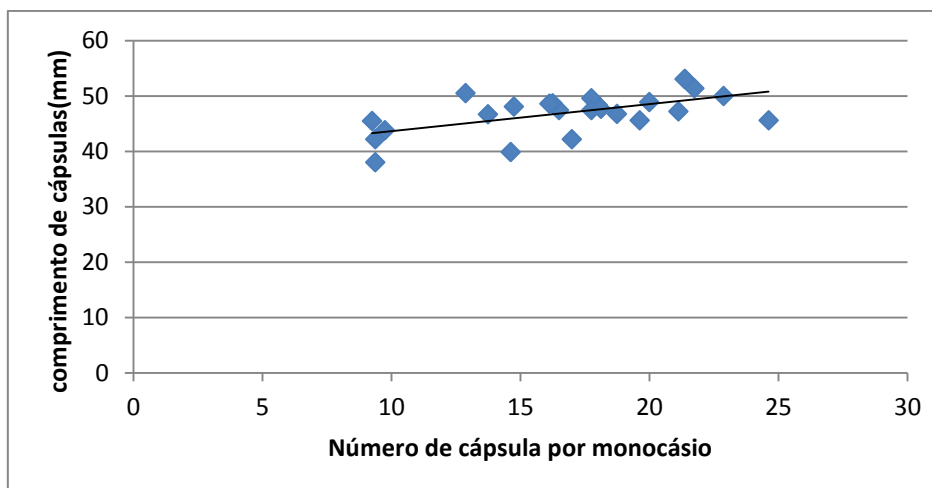
**Tabela 8** - Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson, entre massa de produção por planta (MPP); número de monocásio por planta (NMP); número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG), comprimento de cápsula (CC); largura de cápsula (LC); teor de bixina (TB) em urucueiro (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.

Variável	NMP	NCM	NSC	MCG	CC	LC	TB
<b>MPP</b>	0,914**	0,415ns	0,061ns	0,078ns	0,289**	0,168**	-0,113**
<b>NMP</b>		0,301**	0,088*	-0,065ns	0,254**	0,037**	-0,021ns
<b>NCM</b>			-0,393**	0,328ns	0,580*	0,089**	0,127**
<b>NSC</b>				-0,403*	-0,204*	0,116**	0,081ns
<b>MCG</b>					0,142**	0,079*	-0,352ns
<b>CC</b>						0,224**	0,177**
<b>LC</b>							-0,053*

\*\* , \* : significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste t, respectivamente. ns: não-significativo.



**Figura 15** - Gráfico de correlação linear entre massa de produção (kg) e número de monocásio por planta de urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.



**Figura 16** - Gráfico de correlação linear entre número de cápsula por monocásio e comprimento de cápsula (mm) em urucueiro (*Bixa orellana* L.), cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.



#### 4.4 Parâmetros genéticos

Os valores estimados de variância encontram-se na Tabela 9. O conhecimento dessas estimativas é de fundamental importância, uma vez que propicia as condições para estimar a herdabilidade, prever o ganho genético e avaliar as potencialidades de uma população e a eficiência relativa dos diferentes métodos de melhoramento (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1981).

Sendo assim, observa-se que a variância, devido ao efeito do genótipo ( $V_g$ ), foi maior que a variância ambiental ( $V_e$ ) para todas as características avaliadas, em consequência disso, a estimativa de herdabilidade, no sentido amplo ( $h^2$ ), foi elevada para as mesmas. Segundo Stansfield (1974), valores de herdabilidade maiores que 50 % são considerados altos.

Como a estimativa de  $h^2$  alta antever a facilidade em executar a seleção, pois o fenótipo reflete o genótipo (BURTON; DEVANE, 1953; ALLARD, 1999), assim, pode-se inferir que, neste trabalho, o ambiente exerce pouca influência na característica avaliada, havendo grande precisão na seleção das plantas. De acordo com Falconer e Mckay (1996), quanto mais próxima de 100 % for a herdabilidade, maior é a segurança em selecionar genótipos superiores.

Os coeficientes de variação encontram-se dentro da faixa considerada aceitável para experimentação em culturas perenes. Dos Coeficientes de variação ambiental ( $CV_e$ ) obtidos, todos foram inferiores a 10 %; exceto para o número de cápsula por monocásio (NCM) que foi de 11,87 %, o que demonstra uma boa precisão experimental, pois o coeficiente de variação é utilizado para mensurar a variação amostral, sendo inversamente proporcional à consistência da amostra sob análise. Assim, quanto maior o coeficiente de variação, menor a consistência da amostra, sendo considerado alto, quando  $\geq 20$  e baixo na faixa de 0 a 10 (BURTON, 1952; JOHNSON; ROBINSON; COMSTOCK, 1955; KUMAR e outros, 1985).

Quanto à relação de CVg/CVe, observou-se magnitudes entre 1,40 e 3,89 para os caracteres estudados. Segundo Vencovsky (1987), existe uma situação muito favorável para a obtenção de ganhos na seleção, quando a relação CVg/CVe tende a um (1,0) ou maior que 1,0, na medida em que, nesses casos, a variação genética supera a variação ambiental. Ou seja, coeficiente de variação genético (CVg) foi superior ao ambiental (CVe) para todos os caracteres avaliados. Tais resultados indicaram a predominância dos componentes genéticos em relação aos ambientais, caracterizando, mais uma vez, condições favoráveis ao melhoramento para as características avaliadas.

Observou-se o ganho genético (G) baixo para todas as características avaliadas (Tabela 9), pois o G é considerado alto, quando  $\geq 20$  e baixo de 0-10, indicando ação gênica aditiva no primeiro caso e ação gênica não aditiva no segundo (JOHANSON; ROBINSON; COMSTOCK, 1955; SINGH; NARAYANAN, 1993).

A herdabilidade deve ser avaliada em conjunto com o ganho genético para um programa de melhoramento seguro. Se o ganho genético for baixo e a herdabilidade for alta, o indicativo é de uma ação gênica não aditiva (JOHANSON; ROBINSON; COMSTOCK, 1955; EID, 2009), o que aconteceu com os parâmetros obtidos para todas as características avaliadas neste trabalho, constatando-se, portanto, ação gênica não aditiva.

Em caso da existência de efeitos não aditivos (dominância e/ou epistasia) no controle de um caráter, a média dos genitores difere da média da progênie F1 (ALLARD, 1999). Neste caso, pode-se deduzir que uma boa opção para as plantas selecionadas é a propagação clonal, podendo ser utilizadas para a expressão imediata das características desejadas para a produção.

Quanto ao melhoramento genético, estas informações podem ser utilizadas como subsídio para escolha do método mais adequado a ser utilizado no programa a ser estabelecido, contribuindo para avanços em populações dessa Bixácea, permitindo o aumento da eficiência do processo produtivo. No entanto,

estas informações ainda são escassas para populações, em geral, provenientes de germoplasma e cultivos de urucum.

**Tabela 9** - Estimativas de parâmetros genéticos para número de cápsula por monocásio (NCM); número de sementes por cápsula (NSC); massa de cem grãos (MCG); comprimento de cápsula (CC) e diâmetro de capsula (DC) em genótipos de urucueiros (*Bixa orellana* L.) da cultivar Embrapa 37. Vitória da Conquista, BA, 2014.

Parâmetros	Estimativas/ características				
	NCM	NSC	MCG (g)	CC (cm)	DC (cm)
Vp	18,89	11,66	0,05	12,87	4,10
Vg	14,88	7,71	0,04	12,07	3,53
Ve	4,01	3,95	0,005	0,80	0,57
CVp (%)	25,77	8,43	8,27	7,64	6,09
CVg (%)	22,87	6,85	7,84	7,40	5,65
CVe (%)	11,87	4,90	2,63	1,90	2,28
h <sup>2</sup> (%)	79	66	90	94	86
G	7,05	4,65	0,40	6,93	3,59
CVg/CVe	1,93	1,40	2,98	3,89	2,48

Vp: variância fenotípica, Vg: variância genotípica, Ve: variância ambiental, CVp: coeficiente de variação fenotípica, CVg: coeficiente de variação genotípica, CVe: coeficiente de variação ambiental, h<sup>2</sup>: herdabilidade no sentido amplo, G: ganho genético (resposta à seleção).

Do exposto sobre os resultados encontrados neste trabalho, pode-se inferir que, das 500 plantas selecionadas, 25 destacaram-se para altos teores de bixina e, dentre essas, as plantas identificadas como 3 e 27 sobressaíram-se também para a alta produtividade de grãos, que são os aspectos que mais interessam em um programa de melhoramento genético, e podem ser testadas através de novos cruzamentos para obtenção de plantas superiores. Outro fato relevante é que metodologias adequadas de clonagem das plantas devem ser experimentadas, visando à utilização da mais eficiente para a propagação dos

melhores genótipos obtidos, para que se possa aumentar a eficiência de produção de cultivos de urucum para região Extremo Sul da Bahia.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com as avaliações realizadas em urucueiros, cultivar Embrapa 37, conclui-se que:

- a) Existe uma ampla variabilidade genotípica para as características morfoagronômicas avaliadas, aspecto positivo para seleção de genótipos superiores;
- b) A cultivar Embrapa 37 apresentou grupos de genótipos com atributos de produção superiores, plantas com teores de bixina acima da média de especificação de 4,0 %, bem como com elevado potencial de produção de grãos, com destaque para os genótipos 3 e 27;
- c) Devido à alta herdabilidade, o material selecionado para características de produção das cápsulas poderá contribuir para programas de melhoramento genético com a realização de métodos controlados de fecundação dos genótipos superiores, com análise de progênie resultante;
- d) Genótipos superiores para o rendimento de bixina podem ser propagados vegetativamente para implantação de cultivos mais rentáveis em curto prazo.

## REFERÊNCIAS

- ACQUAAH, G. **Principles of plant genetics and breeding**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. 569p.
- AGNER, A. R.; BARBISAN, L. F.; SCOLASTICI, C.; SALVADORI, D. M. F. Absence of carcinogenic and anticarcinogenic effects of annatto in the rat liver medium-term assay. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, n. 10, p. 1687-1693, 2004.
- AGUIAR, A.T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G.Z. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas** 7. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014. 452 p. (Boletim IAC, n.º 200).
- ALLARD, R.W. **Principles of plant breeding**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 254p.
- ALMEIDA, E. C. da.; PINHEIRO, A. L. Biologia floral e mecanismo de reprodução em urucuzeiro (*Bixa orellana*, L.) tipo "Fruto Verde Piloso". In: REUNIÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA SOBRE MELHORAMENTO GENÉTICO DO URUCUZEIRO, 1. Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU: SBCN, 1992. p.72-81.
- ALONSO, J. **Tratado de fitofármacos y nutracêuticos**. Rosário: Corpus, 2004. 1359p.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química dos alimentos-teoria e prática**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 335p.
- BALDISSERA, J. N. C.; VALENTINI, G.; COAN, M. M. D.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Fatores genéticos relacionados com a herança em populações de plantas autógamas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.13 p. 181-189, 2014.
- BAUTISTA, A. R. P. L.; MIRANDA, M. S.; BATISTA, M. S.; MOREIRA, E. L. T.; SILVA, I. M. da; GOMES, I. C. S. Avaliação da toxicidade oral sub crônica da bixina para ratos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, n. 2, p. 229-233, 2004.
- BONFIM, M. S.; SILVA, S. O.; ALMEIDA, I. R. R.; PINA, W. da C. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores de urucum (*Bixa orellana* Linnaeus

1753) em Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil. **Scientia Plena**, v. 11, n.5, 2015.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001, 300p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005, 525 p.

BRUCKNER, C. H.; KHOURI, S. S.; MELGAÇO, A. V. Propagação do urucueiro (*Bixa orellana* L.) por meio de cinco modalidades de enxertia. **Revista Ceres**, v. 32, p. 340-344, 1991.

BURTON, G. W. Quantitative inheritance of grass. PROC. 6. INT. GRASSLAND CONG. **Held at Pennsylvania State College, USA**, v.1, p.74-83, 1952.

BURTON, G. W.; DEVANE, F. H. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinaceae*) from replicated clonal material. **Agronomy Journal**, v.45, p. 459-668, 1953.

CANUTO, D. S. de. O. **Diversidade Genética em Populações de *Myracrodruon urundeuva* (F.F. & M.F. Allemão) Utilizando Caracteres Quantitativos**. 2009. 113f. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista – SP, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; LOPES, S. J.; BRUM, B.; TOEBE, M. da; SILVEIRA, T. R.; CASAROTTO, G. Tamanho de amostra para a estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de mamoneira. **Semina**, v. 33, n. 3, p. 953-962, 2012.

CARVALHO, P.R.N.; CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D. M. B. Estudo da composição de sementes, cachopas, folhas e galhos do urucueiro. In: Seminário Internacional de Corantes Naturais Para Alimento, 2., 1991, Campinas. **Resumos...** Campinas: ITAL, 1991. p.317.

CARVALHO, J. F. R. P.; CARVALHO, C. R.; OTONI, W. C. Regeneração *in vitro* de urucum (*Bixa orellana* L.) a partir de diferentes tipos de explantes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 887-895, 2005.

CARVALHO, P. R. N.; SILVA, M. G. da; FABRI, E. G.; TAVARES, P. E. R.; MARTINS, A. L. M.; SPATTI, L.R. Concentração de bixina e lipídeos em sementes de urucum da coleção do Instituto Agrônômico (IAC). **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 519-524, 2010.

- CASTRO, C. B. de; MARTINS, C. da S.; FALESI, I. C.; NAZARÉ, R. F. R. de; KATO, O. R.; BENCHIMOL, R. L.; MAUES, M. M. **A cultura do urucum**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 61p. (Coleção plantar, 64).
- CHISTÉ R. C.; MERCADANTE A. Z.; GOMES A.; FERNANDES, E.; LIMA, J. L. F. C.; BRAGAGNOLO N. In vitro scavenging capacity of annatto seed extracts against reactive oxygen and nitrogen species, **Food Chemistry**, v. 127, p. 419-426, 2011.
- CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 203-220, 2002.
- COSTA, C. K. **Estudo fitoquímico de *Bixa Orellana* L., Bixaceae e aplicação de seu óleo em Formulação Cosmética**. 2007. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.
- CRUZ, A. C. F. **Propagação *in vitro* do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) a partir de explantes juvenis e adultos**. 2007. 85 p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. S. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, v. 2. 2006, 586p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, J. A.; CARNEIRO, P. C. S. Divergência genética. In: CRUZ, C. D.; REGAZZI, J. A.; CARNEIRO, P. C. S. (Ed.). **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v.1. p.377-413.
- CUNHA, F. G. E. **Estudo da extração mecânica de bixina das sementes de urucum em leite de jorro**. 2008. 92f. Dissertação (Mestrado, em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO-NETO, N. B.; CASEIRO, R. F.; IKEDA, M.; BOMFIM, D. C. Germinação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 197-202, 2015.



DEMCZUK Jr, B.; RIBANI, R. H. Atualidades sobre a química e a utilização do urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 6, n. 1, p. 37-50, 2015.

DORNELAS, C. S. M. **Estudo de maturação, métodos de descachopamento e determinação do teor de bixina em sementes de urucuzeiro**. 2010. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

EID, M. H. Estimation of heritability and genetic advance of yielded traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought condition. **International Journal of Genetics and Molecular Biology**, v. 1, n. 7, p. 115-120, 2009.

ELIAS, M. E. A.; SCHROTH, G.; MACEDO, J. L. V.; MOTA, M. S. S.; D'ANGELO, S. A. Mineral nutrition, growth and yields of annatto trees (*Bixa orellana*) in agroforestry on an Amazonian ferralsol. **Experimental Agriculture**, v. 38, p. 277-289, 2002.

FABRI, E. G.; TERAMOTO, J. R. S. Urucum: fonte de corantes naturais, **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 1, 2015.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279p.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3. ed. London: Longman Group, 1993. 438p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.nd. Longman Edit. Malasya, 1996. 464p.

FERNANDES, J. S. C.; RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; MACCARI Jr., A. Estudo comparativo de delineamentos experimentais para estimativas de parâmetros genéticos em erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – Hil.). **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 663-671, 2004.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2009. 664p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, W. A.; FALESI, I. C. Características nutricionais do fruto e teor de bixina em urucu (*Bixa orellana* L.). **Boletim de Pesquisa**, Belém: EMBRAPA/CPATU, n. 97, 31p., 1989.

FIGUEIRAS, T. S.; PEIXOTO, A. L. Flora e vegetação do Brasil na carta de Caminha. **Acta Botânica Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 263-272, 2002.

FIROUZIAN, A. Heritability and genetic advance of grain yield and its related traits in wheat. **Pak. J. Bio. Sci.**, v. 6, n. 24, p. 2020-2023, 2003.

FRANCO, C. F. O.; SILVA, F. C. P.; CASE FILHO, J.; NETO, M. B.; SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇAS, T. N. H.; FONTINELLI, I. S.C. **Urucuzeiro: Agronegócio de Corantes Naturais**. João Pessoa: Emepa, 2002. 120p.

FRANCO, C. F. O. **Corantes naturais de urucum (*Bixa orellana* L.) no tratamento da hiperlipidemia e câncer em animais**. 2008. 186f. (Pós-Doutorado em Bioquímica Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FRANCO, C. F. O.; FABRI, E. G.; NETO, M. B.; MANFIOLLI, M. H.; HARDER, M.N.C.; RUCKER, N.C.A. **Urucum Sistemas de Produção para o Brasil**. João Pessoa: Emepa, Apta, 2008. 112p.

GALLARDO-CABRERA, C.; ROJAS-BARAHONA, A. Stability study of an aqueous formulation of the Annatto dye. **International Food Research Journal** v. 22, n. 5, p. 2149-2154, 2015.

GARCIA, C. E. R.; BOLOGNESI, V. J. ; DIAS, J. de F. G.; MIGUEL, O. G.; COSTA, C. K. Carotenoides bixina e norbixina extraídos do urucum (*Bixa orellana* L.) como antioxidantes em produtos cárneos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1510-1517, 2012.

GASPERI, R. R. M; GASPERI, R. D. M. Evaluacion del rendimiento y algunos de sus componentes en cinco cultivares de anato (*Bixa orellana* L.). **Agronomia Tropical**, v. 41, p. 191-200, 1991.

GIRIDHAR, P.; VENUGOPALAN, A.; PARIMALAN, R.; Review on annatto dye extraction, analysis and processing – a food technology perspective, **Journal of Scientific Research & Reports**, v. 3, n. 2, p. 1-22. 2014.

GOLIN, S. D.; GARCIA, C. E. R.; STRAPASSON, G. C.; WILLE, G. M. F. C.; SANTOS, D. F. B.; BOLOGNESI, V. J.; MIGUEL, O. G.; BARREIRA, S. M. The antioxidant potential of the Annatto. In: **International of Pharmaceutical Sciences**. 9 th. Ribeirão Preto, SP: 2013.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1981. 468p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA (IBGE). **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. v. 40. p.1-102.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA E GEOGRAFIA (IBGE). **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. v. 41. p.1-100.

IYER, A.; NEERAJ PAL, P. Y.; DEBOLINA, Y. D.; KISHORE, K. G.; RUCHI N.; SATYA, M. K. A Parametric Study on the Bixin Oil Suspensions Produced Using Annatto Seeds (*Bixa Orellana*) and Its Potential Application in Coloring Margarine Products. **International Journal of Sciences**, v. 22, p. 235-240, 2015.

JOHANSON, H. W.; ROBINSON, H. F.; COMSTOCK, R. E. Estimate of genetic and environmental variability in soyabeans. **Agron. J.**, v. 47, p. 314-318, 1955.

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 12. ed. São Paulo: Nacional, 1998. 777p.

JOSEPH, N.; SIRIL, E. A.; NAIR, G. M. Reproductive characterization and preliminary studies on controlled breeding of Annatto (*Bixa orellana* L.). **Plant Syst Evol.**, v. 298, p.239-250, 2012.

JUNG, M. S.; VIEIRA, E. A.; BRANCKER, A.; NODARI, R. O. Herdabilidade e ganho genético em caracteres do fruto do maracujazeiro-doce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 209-214, 2008.

KATO, O. R.; FIGUEIREDO, F. J. C.; BELFORT, A. J. L.; NOGUEIRA, O. L.; BARBOSA, W. C. Época de colheita de sementes de urucu: emergência e teor de corantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1291-1302, 1992.

KAZMIER, L. J. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 392p

KEMPTHORNE, O. **An introduction to genetic statistics**. Ames, Iowa: State University Press, 1973. 454p.

KHALIQ, I.; NOORKA, I. R.; KAHLIQ, R. Estimation of heritability and genetic advance for some quantitative characters in spring wheat. **Int. J. Agric. Sci.**, n. 2, p. 76-78, 2009.

- KUMAR, A.; MISRA, S. C.; SINGH, V. P.; CHAAHAN, B. P. S. Variability and correlation studies in triticale. **Journal of the Maharashtra Agricultural University**, v. 10, p. 273-275, 1985.
- LACERDA D. R.; ACEDO, M. D. P.; LEMOS FILHO, J. P.; LOVATO, M. B. Diversity and structure of natural populations of *Plathymenia reticulata* (Mimosoideae), a tropical tree from Brazilian Cerrado. **Molecular Ecology**, v. 10, p. 1143-1152, 2001.
- LARIK, A. S.; HAFIZ, H. M. I.; KHUSHK, A. M. Estimation of genetic parameters in wheat population derived from intercultural hybridization. **Pakphyton**, v. 1, p. 51-56, 1989.
- LEMOS, A. R.; REGO Jr. N. O.; SÃO JOSÉ, A. R.; PEREIRA, M. L. A. SILVA, M.V. da. Atividade antioxidante e correlação com fenólicos totais em genótipos de urucum (*Bixa Orellana L.*). **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 1, p. 62-68. 2011.
- LIMA, L.C.F. Conceitos Conjunturais Sistematizados da Botânica do Urucueiro. In: SÃO JOSE, A.R; REBOUÇAS, T.N.H. **A cultura do urucum no Brasil**, Vitória da Conquista, BA, UESB, 1990. p. 26-29.
- LIMA, L. R. P.; OLIVEIRA, T. T.; NAGEM, T. J.; PINTO, A. S.; STRINGHETA, P. C.; TINOCO, A. L. A.; SILVA, J. F. Bixina, Norbixina e Quercetina e seus efeitos no metabolismo lipídico de coelhos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 38, n. 4, p. 196-200, 2001.
- LOMBELLO, R. A.; PINTO-MAGLIO, C. A. F. Cytogenetics and Reproductive Biology of *Bixa orellana L.* (Bixaceae). **Cytologia**, v. 79, p. 379-386, 2014.
- MADRID, R. R.; ESCOBEDO, R. M.; BALAM-GALERA, E.; VERA-KU, M.; HARRIES, H. Preliminary studies toward genetic improvement of annatto (*Bixa orellana L.*) **Scientia Horticulturae**, v. 109, p. 165-172, 2006.
- MAHENDRANATH, G.; VENUGOPALAN, A.; PARIMALAN, R.; GIRIDHAR, P.; RAVISHANKAR, G. A. Annatto pigment production in root cultures of Achiote (*Bixa orellana L.*). **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, v. 106, n. 3, 517-522, 2011.
- MANTOVANI, N. C. **Propagação vegetativa e cultivo in vitro de *Bixa orellana L.* e *Ginkgo biloba L.*** 2007. 135f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade federal de Viçosa, MG, 2007.
- MANTOVANI, N. C.; GRANDO, M. F.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Resgate

vegetativo por alporquia de genótipos adultos de urucum (*Bixa orellana* L.)  
**Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 403-410, 2010.

MANTOVANI, N. C.; GRANDO, M. F.; XAVIER, A.; OTONI, W. C.  
Avaliação de genótipos de urucum (*Bixa Orellana* L.) por meio da caracterização morfológica de frutos, produtividade de sementes e teor de bixina. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 355-362, 2013.

MARTINS, C. S.; SOUZA R. R. S.; OLIVEIRA, P. V.; NAZARÉ, R. F. R.  
Ensaio nacional de tipos superiores de urucuzeiro no ecossistema terra firme no estado do Pará. **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, n. 2, p. 7-13, 1996.

MARTINS-CORDER, M. P.; MORI, E. S.; KAGEYAMA, P. Y.; LOPES, C. R.  
Estudo da variabilidade enzimática em *Eucalyptus urophylla* das ilhas das flores. **Revista Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 43-49, 1996.

MATOS, E. M. **Morfogênese *in vitro* a partir de segmentos de hipocótilos e de raízes de urucum (*Bixa orellana* L.)**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MAUÉS, M. M.; VENTURIERI, G. C.; OLIVEIRA, F. C. de. **Ecologia da polinização de urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) em Belém, PA**.  
<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87097/1/p55.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2015.

MENDES, A. M. S.; FIGUEIREDO, A. F.; SILVA, J. F. Crescimento e maturação dos frutos e sementes de urucum. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p.133-141, 2006.

MENDES, A.M. da; FIGUEIREDO, A.F.de; SILVA, F.J. da; Crescimento e maturação dos frutos e sementes de urucum. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 25-34, 2005.

MERCADANTE, A. Z.; STECK, A.; RODRIGUEZ-AMAIA, D.; PFANDER, H.; BRITTON, G. Isolation of methyl 9Z-apo-6-lycopenoate from *Bixa orellana*. **Phytochemistry**, v. 41, n. 4, p. 1201-1203, 1996.

MERCADANTE, A. Z.; PFANDER, H. Carotenoids from annatto: a review. **Recent Research Developments in Agriculture and Food Chemistry**, v. 2, p. 79-91, 1998.

MERCADANTE, A. Z.; PFANDER, H. Caracterização de um novo carotenóide minoritário de urucum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 193-196, 2001.

MESQUITA F. L. A. **Abelhas visitantes das flores do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) e suas eficiências de polinização**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2008.

MOREIRA, V. S.; REBOUÇAS, T. N. H.; MORAES, M. O. B.; SÃO JOSÉ, A, R.; SILVA, M. V. Atividade antioxidante de urucum (*Bixa orellana* L.) in natura e encapsulado. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 15, p. 201-209, 2014.

NACHTIGALL, A. M.; SILVA, P. I.; BERTOLDI, M. C.; STRINGHETA, P. C. Estudo da saponificação em pigmentos de urucum. **Food Science and Technology**, v. 29, n. 4, p. 873-878, 2009.

NAKANO, L.C.G. Considerações sobre o plantio e extração do urucum (*Bixa orellana* L.) e sua utilização como corante. **Arquivo de Ciência e Saúde Unipar**, v. 2, n. 1, p. 33-39, 1998.

OYIGA, B. C.; UGURU, M. I. Genetic variations and contributions of some floral traits to pod yield in bambara groundnut under two cropping seasons in the derived savanna of the South-East Nigeria. **International Journal of Plant Breeding**, v. 5, p. 58-63, 2010.

PAIVA NETO, V. B.; MOTA, T. R.; OTONI, W. C. Direct organogenesis from hypocotyl-derived explants of annatto (*Bixa orellana* L.). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Netherlands, v. 75, n. 2, p. 159-167, 2003.

PATERNIANI, E. Genética e melhoramento de plantas. In: PAVAN, C.; CUNHA, A. B. (Eds.) **Genética: aspectos modernos da genética pura e aplicada**. 1963. p. 430-467.

PAUMGARTTEN, F. J. R.; CARVALHO, R. R. de; ARAÚJO, I. B.; PINTO, F. M.; BORGES, O. O.; SOUZA, C. A. M.; KURIYAMA, S. N. Evaluation of the developmental toxicity of annatto in the rat. **Food and Chemical Toxicology**, v. 40, n. 11, p. 1595-1601, 2002.

PICOLOTTO, D. R. N.; THEODORO, J. V. C.; DIAS, A. R.; THEODORO, G. de F.; ALVES, C. Z. Germinação de sementes de urucum em função de métodos de superação de dormência e temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 232-238, 2013.

PIMENTEL, A. A. M. P. **Olericultura no trópico úmido: hortaliças na Amazônia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 322p.

- PIMENTEL, F. A. **Avaliação de métodos de obtenção e de estabilidade de pigmentos de sementes de urucum**. 1995. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- PINHEIRO, M. C. de O. **Avaliação da exposição aos corantes artificiais por crianças entre 3 e 9 anos em relação ao consumo de balas**. 2012. 98f. Dissertação (Mestrado em Vigilância Sanitária) - Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2012.
- POLTRONIERI, M. C.; MARTINS, C.S.; RODRIGUES, J. E.; COSTA, M. R.; NAZARÉ, R. F. R. **Novas cultivares de urucum**: Embrapa 36 e Embrapa 37. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 21p. (Circular Técnica 22).
- POMMER, C. V.; BARBOSA, W. O impacto do melhoramento genético na produção de frutas em climas quentes do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 184-191, 2007.
- REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ, A. R. **A cultura do urucum**: práticas de cultivo e comercialização. Vitória da Conquista, BA: DFZ/UESB/SBCN, 1996. 42p.
- REIS, E. F. **Ganhos preditos e realizados, por diferentes estratégias de seleção, em populações de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Viçosa, 2000. 120f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- RESENDE, M. D. V. Correções nas expressões do progresso genético com seleção em função da amostragem finita dentro de famílias de populações e implicações no melhoramento florestal. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p. 61-77, 1991.
- REVILLA, J. **Plantas da Amazônia**: oportunidades econômicas e sustentáveis. 2. ed. Manaus: Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2001. p. 201-205.
- RIVERA-MADRID, R.; ESCOBEDO, R. M.; BALAM-GALERA, E.; VERA-KU, M.; HARRIES, H. Preliminary studies toward genetic improvement of annatto (*Bixa orellana* L.). **Sientia Horticultuae**, v. 109, n. 2, p. 165-172, 2006.
- ROBINSON, H. F.; COCKERHAM, C. C. Estimación y significado de los parámetros genéticos. **Fitotecnía Latino Americana**, San José, v. 2, p. 23-38, 1965.
- ROEHRS, M.; FIGUEIREDO, C. G.; ZANCHI, M. M.; BOCHI, G. V.;

MORESCO, R. N.; QUATRIN, A.; SOMACAL, S.; CONTE, L.; EMANUELLI, T.; Bixin and norbixin have opposite effects on glycemia, lipidemia, and oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rats. **International Journal of Endocrinology**, 10p. 2014.

ROJAS, J.; OCHOA, V. J.; OCAMPO, S. A.; MUNÓZ, J. F. Screening for antimicrobial activity of ten medicinal plants used in Colombian folkloric medicine: A possible alternative in the treatment of non-nosocomial infections. **Complementary and Alternative Medicine**, v. 6, n. 2, 2006.

SANTANA, K. C. da. **Seleção de Genótipos de urucueiros (*Bixa orellana* L.) da Variedade Bico de Pato no Estado da Bahia**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2006.

SANTANA, K. C. da; GUEDES, P. A. de; REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ A. R.; LEMOS, O. L.; VILA, M. T. R.; SOUZA, M. J. L. Teores de bixina em urucum (*Bixa orellana*) 'Piave Vermelha', em diferentes acondicionamentos e temperaturas. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 2, n. 1, p. 19-22, 2008.

SÃO JOSÉ, A. R.; ALMEIDA, E. C.; PINHEIRO, A. L.; KATO, O. R.; OLIVEIRA, V. P. Características botânicas e de produção a serem avaliadas na pesquisa científica com urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, SBCN, v. 1, p. 7-10, 1992a.

SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇA, S. T. N. H.; SOUSA, P. J. S.; SOUZA, I. V. B. Seleção de urucueiros (*Bixa orellana*) superiores do tipo cultivado bico de pato na região de Vitória da Conquista, BA. **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, v. 1, p. 106-113, 1992b.

SÃO JOSÉ, A. R.; REBOUÇAS, T. N. H.; PIRES, M. de M.; BONFIM, M. P.; SOUZA, I. V. B. Corantes naturais em alimentos: ênfase no uso do urucum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HORTICULTURA, 52. 2013. Disponível em: <[http://www.abhorticultura.com.br/eventos/trabalhos/ev\\_1/PAL01.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/eventos/trabalhos/ev_1/PAL01.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2013.

SCOTTER, M. J. Characterization of the colored thermal degradation products of bixin from annatto and a revised mechanism for their formation. **Food Chem.**, v. 53, p. 177-185, 1995.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R.; ALLEMÃO L. F. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum*. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 31-38, 1998.



SILVA, F. de C. P. da; FRANCO, C. F. **Urucuzeiro uma alternativa de agronegócio**. João pessoa: EMEPA-PB, Banco do Nordeste, 2000. 64p.

SILVA, P. I. **Métodos de extração e caracterização de bixina e norbixina em sementes de urucum (*Bixa orellana* L.)**. 2007. 145f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SILVA, S. do N.; AMARAL, C. L. F.; REBOUÇAS, T. N.H.; MORAIS, O. M. Adoção das práticas de conservação *on farm* e de seleção de cultivares pelos produtores de urucum no município de Vitória da Conquista – BA. **Rev. Bras. de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 106-113, 2010.

SILVA, S. H. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; DUBEUX JUNIOR, J.C. B.; FREITAS, E. V.de; FERREIRA, R. L. C. Uso de descritores morfológicos e herdabilidade de caracteres em clones de capim-elefante de porte baixo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1451-1459, 2009.

SINGH, P.; NARAYANAN, S. S. **Biometrical Techniques in Plant Breeding**. New Delhi, India: Kalyani Publishers, 1993. 73p.

STANSFIELD, W. D. **Genética**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1974. 958p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1960. 418p.

STEVENSON, W. J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, 2001. 495p.

STRINGHETA, P. C. Usos do corante e derivados do urucum. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DO URUCUM, 1., 2006. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: EMEPA, 2006. 1 CD\_ROM.

SUNDAY, O. F.; AYODELE, A. M.; BABATUNDE, K. O.; OLUWOLE, A. M. Genotypic and phenotypic variability for seed vigour traits and seed yield in West African Rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Journal of American Science**, v. 3, p. 34-41, 2007.

VALLEJO, F. A. C.; ESCOBAR, U. H. G.; GOMES, C. A. M. Variabilidade fenotípica de los componentes del rendimiento y otros caracteres cuantitativos de *Bixa* sp. **Acta Agronômica**, Palmira, v. 31, n. 4, p. 25-34, 1981.

VENCOVSKY, R. Herança Quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.

VENUGOPALAN, A.; GIRIDHAR, P.; RAVISHANKAR, G. A. Food, ethanobotanical and diversified applications of *bixa orellana* L.: a scope for its improvement through biotechnological mediation. **Ind J Fund Appl Life Sci**, v. 1, p. 9-3, 2011. Disponível em: <<http://www.cibtech.org/jls.htm>>.

YABIKU, H. Y.; TAKAHASHI, M. Y. Avaliação dos métodos analíticos para determinação da bixina em grãos de urucum e suas correlações. In: SEMINÁRIO DE CORANTES NATURAIS PARA ALIMENTOS, 2, SINPÓSIO INTERNACIONAL DE URUCUM, 1991. **Anais...** Campinas: ITAL, 1991. p. 275-279.