

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E CICLO DE MATURAÇÃO EM PROGÊNIES F₃ DE CAFÉ ARÁBICA NO ESTADO DE RONDÔNIA¹

Alexsandro Lara Teixeira²; Ézio Pereira de Santana³; Victor Emanuel Gonçalves de Oliveira⁴; Flávio de Souza França⁵; Rita Bordignon⁶; Herculano Penna Medina Filho⁷; Gisele Renata de Castro⁸; Edielson Almeida da Silva⁹; Camila Andrade Silva¹⁰; Josemar Dávila Torres¹¹

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

² Pesquisador, DSc, Embrapa Rondônia, Porto Velho-RO, alexsandro.teixeira@embrapa.br

³ Bolsista Consórcio Pesquisa Café, estudante de Agronomia – ULBRA, gugu_z153@hotmail.com

⁴ Bolsista da Embrapa, estudante de Agronomia – ULBRA, victoroliveira_agro@outlook.com

⁵ Pesquisador, DSc, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, flavio.franca@embrapa.br

⁶ Pesquisadora, DSc, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP, rita@iac.sp.gov.br

⁷ Pesquisador, PhD, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP, medina@iac.sp.gov.br

⁸ Professora, Mestranda em Ciências Ambientais, UNIR, gisele.renata@ifro.edu.br

⁹ Técnico em Agropecuária, Graduando em Gestão Ambiental, IFRO, edielson.almeida@ifro.edu.br

¹⁰ Professora, DSc, Faculdade de Rondônia – FARO, Porto Velho-RO, camilaagro01@yahoo.com.br

¹¹ Bolsista da Embrapa, estudante de Agronomia – FIMCA, Josemar-torres@hotmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos, ciclo de maturação e porcentagem de frutos chochos em progênies especiais de café arábica (*Coffea arabica* L.) cultivadas sob altas temperaturas em região de baixa altitude, no estado de Rondônia. Foram avaliadas 104 progênies F₃ selecionadas dentro do avanço de geração F₂ desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC e instalado em Ouro Preto do Oeste-RO. Utilizou-se o delineamento em blocos aumentados com quatro repetições. Foram utilizados como testemunhas a cultivar Catuaí e outros três genótipos (T09P06, T31P12 e T33P16). O espaçamento utilizado foi de 3,0 x 1,0 metros e oito plantas por parcela. A análise conjunta de todas as safras mostra diferença significativa entre tratamentos para a característica produtividade de café beneficiado (Tabela 1). O mesmo foi observado entre progênies, evidenciando a grande variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Já entre as testemunhas não houve diferença significativa. O contraste progênies vs testemunhas também foi significativo para produtividade de café beneficiado, indicando que estes tiveram comportamentos diferentes para essa característica. A menor produtividade média foi observada na safra 2010/11 (5,33 sacas ha⁻¹). As safras posteriores apresentam boas produtividades, com médias acima de 28 sacas ha⁻¹. Destaque para a safra 2012/2013 com produtividade de 34,01 sacas ha⁻¹. A média de quatro colheitas foi de 25,71 sacas ha⁻¹, sendo que a média das progênies foi de 25,89 sacas ha⁻¹, 22% acima da média das testemunhas. A progênie F₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P1 obteve o melhor desempenho produtivo com média de 47,37 sacas ha⁻¹. A porcentagem geral de frutos chochos foi 10,78%. Em relação ao ciclo de maturação observou-se que todas as colheitas foram realizadas entre os meses de fevereiro e abril. Quanto à diferença entre progênies, 31 foram classificadas como de ciclo tardio (abril), 63 de ciclo intermediário (março) e dez de ciclo precoce (fevereiro).

PALAVRAS-CHAVE: tolerância ao calor, *Coffea arabica* L., melhoramento genético e temperaturas elevadas.

EVALUATION OF YIELD AND MATURITY CYCLE IN ARABICA COFFEE PROGENIES F₃ IN RONDONIA STATE

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the grain yield, maturity cycle and poorly filled of Arabica coffee progenies (*Coffea arabica* L.) grown under high temperatures in the low altitude region in Rondônia state. Were evaluated 104 progenies F₃ selected within generation F₂ developed by Instituto Agronômico de Campinas - IAC and installed in Ouro Preto do Oeste-RO. We used the augmented block design with four replications. Were used as controls Catuaí and other three genotypes (T09P06, T31P12 and T33P16). The used spacing was 3.0 x 1.0 meters and eight plants per plot. In combined analysis, significant differences was detected among treatments for hulled coffee yield trait (Table 1). The same was observed among progenies, indicating the high genetic variability among genotypes. Already between controls no significant difference was detected. Contrast between progenies vs controls also was significant for hulled coffee yield trait, indicating different behaviors for this characteristic. The smallest average yield was observed in the 2010/11 season (5.33 bags ha⁻¹). Subsequent harvests have good yield, with greater than 28 bags ha⁻¹. Featured for 2012/2013 harvest with 34.01 bags ha⁻¹. The average of harvests was 25.71 bags ha⁻¹, and for progenies was 25.89 bags ha⁻¹, 22% higher of the controls. The progenie F₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P1 had the best growth performance with average 47.37 bags ha⁻¹. The poorly filled percentage was 10.78%. In relation to the maturation cycle, it was observed that all crops were performed between the months of february and april. About the difference between progenies, 31 were classified as late cycle (april), 63 of intermediate cycle (march) and ten early cycle (february).

KEYWORDS: heat tolerance, *Coffea arabica* L., genetic improvement and high temperatures.

INTRODUÇÃO

A espécie *C. arabica* expressa todo o seu potencial com temperaturas médias anuais variando entre 18 a 23°C. Acima de 23°C, observam-se inúmeras desordens fisiológicas nas flores e frutos do cafeeiro, resultando em perdas na produtividade e má qualidade de bebida. A ocorrência de temperaturas elevadas ocasionam desuniformidade e precocidade na maturação dos frutos, resultando em perda de qualidade (Camargo, 1985; Damatta & Ramalho, 2006). Outro problema relacionado são as altas temperaturas do ar durante o florescimento, associado a uma estação seca prolongada, provocando o abortamento das flores, e conseqüentemente, reduções significativas na produtividade (Fazuoli et al., 2007). A temperatura têm limitado a expansão e o crescimento do café arábica em diversos países, inclusive no Brasil. Devido às altas temperaturas registradas na maior parte do estado de Rondônia, próximas de 26°C, todas as lavouras de café no estado são da espécie *C. canephora*, planta mais robusta e adaptada à essas condições. O estado de Rondônia, junto com outros estados da região Norte, importam café arábica de outras regiões produtoras como Minas Gerais e São Paulo (Souza & Santos, 2009). Como 98% da produção do estado é composta por grãos canéfora, as indústrias locais produzem cafés com porcentagem mínima de café arábica. Ou seja, muitos cafés disponíveis para o consumidor local são, na prática, 100% canéfora. Somente na região Norte, onde o consumo per capita é de 4,80 kg de café torrado, estima-se uma demanda de 1,66 milhões de sacas. Considerando que todo o café produzido e beneficiado na região são, na prática, compostos por grãos canéfora, seriam necessários 830 mil sacas de café arábica para a composição dos blends, considerando um percentual de 50% arábica/canéfora. No estado de Rondônia, esses valores chegam a 81 mil sacas. Isso sem considerar a perspectiva de aumento no consumo e o mercado de cafés especiais e “gourmets” (Abic, 2013). Atualmente, não existem cultivares de café arábica recomendadas para o estado de Rondônia. Por outro lado, a percepção de uma demanda crescente do arábica na região, associada ao crescimento do mercado de cafés especiais e “gourmets”, justifica o interesse em desenvolver uma cultivar adaptada às condições edafoclimáticas da região.

Nesse contexto, o programa de melhoramento genético da Embrapa Rondônia, em parceria com o Instituto Agronômico de Campinas – IAC, deu início ao processo de seleção de genótipos de café arábica visando alta produtividade e ciclo de maturação tardio em progênies pré-selecionadas para qualidade de bebida, a fim de desenvolver linhagens superiores adaptadas para cultivo na região norte.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em novembro de 2009, no campo experimental da Embrapa, município de Ouro Preto do Oeste-RO, de coordenadas 10°44'53"S e 62°12'57"O. O clima é classificado como Tropical Chuvoso, Aw (Köppen), com temperaturas médias anuais de 25,8°C e precipitação pluvial média de 2.000 mm/ano. A altitude média da região é de 240 metros com umidade relativa do ar próxima de 82% na maior parte do ano.

Foram avaliadas 104 progênies F₃ selecionadas dentro do avanço de geração F₂ constituído por 29 progênies desenvolvidas pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC, sendo 24 progênies F₂BC₂ de Obatã (*C. arabica* com introgressões de *C. canephora*) x (*C. eugenioides* 4n x *C. arabica*), três progenies F₃ de Catuaí x Glauca e duas linhagens H419. Utilizou-se o delineamento em blocos aumentados com quatro repetições. Foram utilizados como testemunhas a cultivar Catuaí e outros três genótipos (T09P06, T31P12 e T33P16) identificados como promissores nos cultivos anteriores. O espaçamento utilizado foi de 3,0 x 1,0 metros e oito plantas por parcela. Os tratos culturais seguiram as práticas de manejo e as recomendações de adubação para a cultura do cafeeiro. Avaliou-se a produtividade, em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare (sacas ha⁻¹). A colheita foi realizada em parcelas individuais, medida em litros de "café da roça" por parcela. Posteriormente, converteu-se o volume de café colhido para sacas ha⁻¹, por aproximação de valores, considerando-se o rendimento médio de 480 L de "café da roça" para cada saca de 60 kg de café beneficiado. Esse rendimento corresponde à média regional. O ciclo de maturação das plantas foi determinado considerando-se o intervalo de 20 a 30 dias entre colheitas como critério de classificação em precoce (P), intermediário (I) ou tardio (T). A porcentagem de frutos chochos foi obtida a partir de uma amostra inicial de um litro de café da qual cinquenta frutos no estágio cereja foram depositados em um recipiente com água para a contagem do número de frutos bóia e posterior multiplicação por dois (Medina Filho & Bordignon, 2003). Os dados de produtividade de café beneficiado foram submetidos à análise de variância com a significância dos efeitos verificada pelo teste F, a 5% de probabilidade. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o software computacional Genes (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta de todas as safras mostra diferença significativa entre tratamentos para a característica produtividade de café beneficiado (Tabela 1). O mesmo foi observado entre progênies, evidenciando a grande variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Já entre as testemunhas não houve diferença significativa.

O contraste progênes vs testemunhas também foi significativo para produtividade de café beneficiado, indicando que estes tiveram comportamentos diferentes para essa característica (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹), referente às safras de 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14.

| FV | GL | Quadrado Médio |
|-------------------------|-------|---|
| | | Café beneficiado (sacas ha ⁻¹) |
| Blocos | 3 | 20443,9665 |
| Tratamentos | 107 | 89,1121 ** |
| Progênes | 103 | 88,2365 ** |
| Testemunhas | 3 | 33,5982 ^{ns} |
| Progênes vs testemunhas | 1 | 345,8375 * |
| Resíduo | 321 | 58,2957 |
| Média Geral | 25,71 | |
| Média das progênes | 25,89 | |
| Média das testemunhas | 21,15 | |
| CV (%) | 29,30 | |

** , * : Significativo, a 1% e 5%, pelo teste F, respectivamente.

Todas as safras apresentaram valores reduzidos para o coeficiente de variação ($11,61\% < CV < 33,21\%$), indicando boa precisão experimental. A menor produtividade média foi observada na safra 2010/11 (5,33 sacas ha⁻¹). A baixa produtividade deve-se ao fato de que esta foi a primeira produção. As safras seguintes apresentam boas produtividades, com médias acima de 28 sacas ha⁻¹. Destaque para a safra 2012/13 com produtividade de 34,01 sacas ha⁻¹. Essas produtividades obtidas no campo experimental estudado se tornam expressivas se considerarmos a localização geográfica, latitude e condições climáticas locais de baixa altitude e temperaturas elevadas. A média de quatro colheitas foi de 25,71 sacas ha⁻¹ (Tabela 2) sendo a média das progênes de 25,89 sacas ha⁻¹, 22% acima da média das testemunhas. Cabe salientar que 24% dos genótipos apresentaram produtividades acima de 30 sacas ha⁻¹, entre as quais se destaca a progênie F₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P1 com média de 47,37 sacas ha⁻¹ (Figura 2). O desempenho produtivo das progênes avaliadas nas condições climáticas de Rondônia são muito semelhantes às observações em ensaios de avaliação de progênes conduzidos por Carvalho et al. (2010) e Botelho et al. (2007) na região sul de Minas Gerais. Desse modo, os resultados obtidos mostraram que o cultivo do café arábica na região de Rondônia é promissor e fornece informações técnicas e científicas que estimulam o prosseguimento do programa de melhoramento com a seleção de novas progênes.

A porcentagem geral de frutos chochos foi 10,78%, sendo que a média das cultivares foi de 10,74%, e das progênes 11,75 (Tabela 2). Nos anos avaliados, não houve incidência de ferrugem alaranjada provavelmente devido às altas temperaturas durante todo o ciclo da cultura. Em nenhuma progênie, a porcentagem de frutos chochos foi excessiva, dado semelhante ao encontrado por Botelho et al. (2010) em ensaios no sudeste brasileiro, indicando que essa característica não foi afetada pelas altas temperaturas de Rondônia.

Em relação ao ciclo de maturação observou-se que, todas as colheitas foram realizadas entre os meses de fevereiro e abril. Quanto à diferença entre progênes, 31 foram classificadas como de ciclo tardio (abril), 63 de ciclo intermediário (março) e dez de ciclo precoce (fevereiro) (Tabela 2). A colheita da cultivar Catuaí foi realizada em março, sendo classificada como de ciclo de maturação intermediário para as condições de Rondônia.

A produtividade das progênes foi o principal critério utilizado para mensurar a tolerância dos mesmos ao estresse térmico. Wahid et al. (2007) afirmam que, a tolerância ao calor é a capacidade da planta se desenvolver e produzir sob condições de altas temperaturas. Falconer and Mackay (1996) demonstram que o caráter produtividade de grãos é governado por vários genes de pequeno efeito sobre o fenótipo, indicando ser esse caráter quantitativo, fortemente influenciado pelo ambiente.

O “pool gênico” dessas progênes pelo lado materno é da cultivar Obatã, muito produtiva, porém exigente em nutrição e água. Tem ciclo bastante tardio nas condições do Sudeste e possui resistência a várias raças da ferrugem alaranjada, características introgrididas de *Coffea canephora*. Pelo lado paterno do pool gênico deriva da espécie *Coffea eugenoides* que, nas condições de Campinas, é também bastante tardia e possui boa qualidade da bebida, características essas que segregam em sua progênes de retrocruzamentos para *C. arabica* e que foram especialmente selecionadas visando seu aproveitamento às condições edafoclimáticas de Rondônia. O presente estudo reflete a importância não somente da preservação dos recursos genéticos de *Coffea* e afins, como também a efetiva utilização da variabilidade genética no melhoramento do café atendendo às demandas agroindustriais da cultura e às necessidades socioeconômicas regionais.

Tabela 2. Estimativa média dos caracteres agrônômicos de 30 progênes e quatro testemunhas de *Coffea arabica* quanto à produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹), porcentagem de frutos chochos (%) e ciclo de maturação (P/I/T), referente às safras de 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14.

| Progênes | Café beneficiado (sacas ha ⁻¹) | Frutos Chochos (%) | Ciclo de Maturação ¹ |
|--|---|-----------------------|------------------------------------|
| PROGÊNIES | | | |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P1 | 35,35 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1578 - P1 | 34,87 | 12 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P4 | 33,85 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P2 | 33,74 | 9 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P7 | 33,55 | 12 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1560 - P3 | 33,50 | 6 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1560 - P2 | 33,24 | 11 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1578 - P4 | 33,01 | 13 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1560 - P1 | 32,60 | 12 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P8 | 32,47 | 7 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P5 | 32,40 | 8 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1578 - P2 | 32,36 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P9 | 32,10 | 9 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1518 - P1 | 31,79 | 11 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1587 - P1 | 31,78 | 9 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P10 | 31,66 | 12 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1583 - P6 | 31,61 | 11 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1608 - P10 | 31,08 | 10 | T |
| F ₃ CATUAÍ X GLÁUCIA C.278 - P5 | 30,82 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P7 | 30,72 | 9 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1528 - P6 | 30,65 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1578 - P3 | 30,52 | 12 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1575 - P2 | 30,34 | 7 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1515 - P1 | 30,00 | 10 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1552 - P1 | 30,00 | 12 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1608 - P4 | 29,77 | 11 | T |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1576 - P9 | 29,43 | 8 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1576 - P5 | 29,08 | 12 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1585 - P1 | 28,95 | 6 | I |
| F ₂ OBATÃ X (CATUAÍ X EUG DP X MN) C.1576 - P6 | 28,47 | 11 | I |
| ... | ... | ... | ... |
| TESTEMUNHAS | | | |
| T09P06 | 25,05 | 10 | I |
| T31P12 | 21,49 | 13 | I |
| CATUAÍ | 19,64 | 14 | I |
| T33P16 | 18,40 | 10 | P |
| Média Geral | 25,71 | 10,78 | |
| Média progênes | 25,89 | 10,74 | |
| Média testemunhas | 21,15 | 11,75 | |

¹P = Precoce; I = Intermediário; T = Tardio.

CONCLUSÕES

1. Foram identificadas progênes F₃ com produtividade média acima de 30 sacas ha⁻¹ e ciclo tardio, viabilizando a continuidade do processo seletivo para a obtenção de linhagens adaptadas às condições edafoclimáticas de Rondônia.
2. Dentre as progênes avaliadas, 30% apresentaram ciclo de maturação tardio para as condições do região norte, atingindo o ponto de colheita no mês de abril.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa e ao Instituto Agronômico de Campinas pela disponibilização da infraestrutura e equipamentos. Ao Consórcio Pesquisa Café pela viabilização financeira do projeto e as agências de fomento Capes e CNPq pela concessão de bolsas de estudo e recursos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC. *Estatísticas*, 2013. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas.html>>. Acesso em: 15 fev. 2014.
- BOTELHO, C. E.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. D.; CARVALHO, G. R. D.; GONÇALVES, F. M. A.; CARVALHO, A. M. D. Evaluation of coffee progenies from crosses between the Icatu and Catimor cultivars (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science* 2:10-19. (2007).
- BOTELHO, C. E.; REZENDE, J. C. D.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, A. M. D.; ANDRADE, V. T.; BARBOSA, C. R. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45:1404-1411. (2010).
- CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20:831-839. (1985).
- CARVALHO, A. M. D.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45:269-275. (2010).
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy* 35:271-276. (2013).
- DAMATTA, F. M. & RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18:55-81. (2006).
- FALCONER, D. S. & MACKAY, T. F. C. *Introduction to quantitative genetics*. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 463p.
- FAZUOLI, L. C.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. *O Agrônomo* 59:19-20. (2007).
- MEDINA FILHO, H. P. & BORDIGNON, R. Rendimento Intrínseco: um critério adicional para selecionar cafeeiros mais rentáveis. *O Agrônomo* 55:24-26. (2003).
- SOUZA, F. D. F. & SANTOS, M. M. D. Melhoramento genético do café canéfora em Rondônia. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). *Tecnologias para Produção do Café Conilon*. Viçosa-MG: DFT/UFV, 2009. p. 175-200.
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* 61:199-223. (2007).