

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 29/08/2017.



UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE BOTUCATU

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

**INTENSIDADE LUMINOSA E EXCLUSÃO DA RADIAÇÃO UV NA PRODUÇÃO
DE *Curcuma longa* L. E PURIFICAÇÃO MAGNÉTICA DE CURCUMINOIDES**

MARIA IZABELA FERREIRA

**Tese apresentada ao Instituto de
Biociências, Câmpus de Botucatu,
UNESP, para obtenção do título de
Doutor em Ciências Biológicas
(Botânica), AC: Fisiologia Vegetal**

BOTUCATU - SP

- 2016 -

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CÂMPUS DE BOTUCATU

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

**INTENSIDADE LUMINOSA E EXCLUSÃO DA RADIAÇÃO UV NA PRODUÇÃO
DE *Curcuma longa* L. E PURIFICAÇÃO MAGNÉTICA DE CURCUMINOIDES**

MARIA IZABELA FERREIRA

PROF^a DR^a GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA

ORIENTADORA

PROF^a DR^a MARCIA ORTIZ MAIO MARQUES

Co-orientadora

**Tese apresentada ao Instituto de
Biotecnologia, Câmpus de Botucatu,
UNESP, para obtenção do título de
Doutor em Ciências Biológicas
(Botânica), AC: Fisiologia Vegetal**

BOTUCATU - SP

- 2016 -

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Ferreira, Maria Izabela.

Intensidade luminosa e exclusão da radiação UV na produção de *Curcuma longa* L. e purificação magnética de curcuminoides / Maria Izabela Ferreira. - Botucatu, 2016

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Giuseppina Pace Pereira Lima
Coorientador: Marcia Ortiz Maio Marques
Capes: 20303009

1. Cúrcuma. 2. Fotossíntese. 3. Nanopartículas. 4. Compostos bioativos. 5. Cromatografia líquida de alta eficiência.

Palavras-chave: HPLC; açafrão-da-terra; compostos bioativos; fotossíntese; nanopartículas.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e na Itália, ao CNPq e FAPESP pelo auxílio concedido.

À minha orientadora, Profa. Dra. Giuseppina Pace Pereira Lima, pelo exemplo de mulher e de mestre, pela confiança e amizade, por todo o aprendizado, crescimento profissional e pessoal que me proporcionou.

Ao Prof. Dr. Fabio Vianello e sua equipe, Massimiliano, Vitorino, Emauela, Jessica e Davide, pelo acolhimento na Università degli Studi di Padova e por valiosos ensinamentos e experiências durante o período na Itália.

A Dra. Marcia Ortiz Maio Marques pela disponibilidade e ajuda em todos os projetos desenvolvidos durante o doutorado.

Ao Prof. Dr. Lin Chau Ming por todo suporte, conversas enriquecedoras e oportunidades de crescimento.

Aos colegas de pós-graduação: Edilson, pela ajuda nos cálculos e implantação dos tensiômetros. Cleber, pela ajuda com as trocas gasosas, assim como ao casal Mônica e Luan que também me ajudaram muito durante as colheitas. Débora, pela ajuda com as enzimas. Dra. Maíra e ao Dr. Sérgio pelo auxílio nas análises de HPLC. As “minhas meninas”, Aisni e Giovana, estagiárias assíduas e dedicadas que me ajudaram e me ensinaram muito.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino Pesquisa e Produção da FCA (São Manoel) por toda a estrutura, disponibilidade e ajuda durante o experimento de campo.

Aos funcionários da seção de Pós-graduação do IBB/UNESP pelo auxílio sempre que necessário.

Ao meu marido e melhor amigo, Murilo, por me ajudar em todos os momentos.

A toda minha família, por me apoiar sempre, ao longo desta caminhada.

A Deus, pela força.

Sumário

RESUMO	7
Abstract.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1. Aspectos botânicos de <i>Curcuma longa</i> L.	12
3.2. Aspectos químicos	14
3.3. Importância da espécie.....	16
3.4. Influência da luz na fisiologia das plantas.....	18
3.5. Influência da luz na produção de <i>C. longa</i>	21
3.6. Influência da maturidade na produção vegetal.....	23
3.7. Purificação de curcuminoides com nanopartículas magnéticas	26
CAPÍTULO 1 – “Biomass production and photosynthetic efficiency of turmeric grown in different shade conditions”	30
Resumo.....	31
Abstract.....	32
INTRODUCTION.....	32
MATERIALS AND METHODS	33
RESULTS AND DISCUSSION	33
CONCLUSIONS.....	35
Literature Cited	35
Tables	36
Figures.....	37
CAPÍTULO 2 – “Exclusão da radiação UV solar aumenta o rendimento de curcuminoides em <i>Curcuma longa</i> L.	40
RESUMO	41
Abstract.....	42
1. Introdução.....	42
2. Material e Metodos	44

2.1	Local e delineamento experimental.....	44
2.2	Caracterização dos tratamentos.....	45
2.3	Preparação de amostras e determinação de biomassa	46
2.4	Análises bioquímicas.....	46
2.4.1	Reagentes Químicos.....	46
2.4.2	Extração e estimativa da atividade da PAL (EC 4.3.1.5),	47
2.4.3	Extração e estimativa da atividade da POD (EC 1.11.1.7).....	47
2.4.4	Extração e determinação do teor de fenóis totais (FT).....	47
2.4.5	Determinação do conteúdo de poliaminas (PAs)	48
2.4.6	Determinação do teor de curcuminoides.....	49
2.5	Análise Estaística	49
3.	Resultados e Discussão	50
3.1	Atividade da PAL e teor de fenóis totais (FT)	50
3.2	Atividade da POD e teor de PAS.....	51
3.3	Biomassa e assimilação fotossintética de CO ₂ (A).....	53
3.4	Teor de curcuminoides	54
4.	Conclusão.....	57
5.	Referências.....	57
	CAPÍTULO 3 - "Otimização da produção e da purificação magnética de curcuminoides de <i>Curcuma longa</i> L.	67
	RESUMO	68
	Abstract.....	69
1.	Introdução.....	70
2.	Material e Métodos	72
2.1	Reagentes químicos.....	74
2.2	Instrumentação	75
2.3	Síntese das Surface Active Maghemite Nanoparticles (SAMNs)	75
2.4	Determinação quantitativa de curcuminoides por HPLC.....	76
2.5	Incubação de extratos de <i>C. longa</i> com nanopartículas magnéticas.....	77
2.6	Análise Estatística.....	77
3.	Resultados e Discussão	77

3.1	Efeito da maturidade e das condições de luz no teor de curcuminoides em rizomas de <i>C. longa</i>	77
3.2	Ligação de curcuminoides e nanopartículas magnética	82
3.3	Recuperação de curcuminoides do complexo SAMN@curcuminoides.....	86
4.	Conclusões.....	89
5.	Referências.....	90
4.	APÊNDICE.....	95
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
6.	CONCLUSÃO GERAL.....	102
7.	REFERÊNCIAS.....	103

FERREIRA, M.I. INTENSIDADE LUMINOSA E EXCLUSÃO DA RADIAÇÃO UV NA PRODUÇÃO DE *Curcuma longa* L. E PURIFICAÇÃO MAGNÉTICA DE CURCUMINOIDES. 2016. 106p. TESE (DOUTORADO) – INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

RESUMO

Curcuma longa L. é uma monocotiledônea da família Zingiberaceae. É uma importante fonte de curcuminoides e apresenta variações significativas de produtividade em diferentes condições agro-climáticas. No presente trabalho investigamos os efeitos dos níveis de intensidade luminosa e da exclusão da radiação UV solar durante diferentes fases do desenvolvimento de *C. longa* no teor e rendimento de curcuminoides. Também estudamos o desempenho ecofisiológico, a produção de biomassa, a atividade enzimática, o teor de poliaminas e fenóis totais dessas plantas durante o cultivo. Além disso, propusemos a otimização do método de purificação de curcuminoides com nanopartículas magnéticas chamadas Surface Active Maghemite Nanoparticles (SAMNs). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado envolvendo 5 níveis de luminosidade e 4 tempos de colheita, com parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições de 8 plantas. Os níveis de luminosidade foram polietileno anti-uv, pleno sol, 30 %, 50 % e 70 % de sombreamento e as colheitas em diferentes fases do desenvolvimento foram realizadas aos 65, 128, 174 e 203 dias após o plantio (DAP) correspondendo aos meses de janeiro, abril, maio e junho de 2013. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu - SP, em São Manuel - SP (22°46'0, 571 "S e 48°34'11, 32" W, 744 metros de altitude). Observou-se que nas plantas cultivadas sob exclusão de UV a eficiência fotossintética foi mais elevada durante todo o período de crescimento e esta alta assimilação de CO₂ (*A*) refletiu significativamente no maior acúmulo de biomassa de rizomas e folhas. No final do ciclo de cultivo o teor de fenóis totais (FT), a atividade da peroxidase (POD) e da L-fenilalanina amônio-liase (PAL) aumentaram com a exposição à luz e diminuíram sob exclusão do UV. O conteúdo de Spm foi maior nos rizomas das plantas expostas ao sol, os níveis de Put foram superiores sob exclusão de UV e o teor de curcumina permaneceu inalterado. Notavelmente, as plantas protegidas do UV apresentaram aumento na fotossíntese e, conseqüentemente, na produção de biomassa, levando a um aumento de 44,63 % no rendimento de curcuminoides totais, comparando com as plantas a pleno sol. No entanto, o maior teor destes compostos foi obtido aos 65 DAP, sob 70 % de sombreamento. Este dado é interessante para o processo de purificação, uma vez que nesta fase do desenvolvimento a biomassa é reduzida e o teor de curcuminoides é acentuado. O processo de purificação com nanopartículas magnéticas (SAMNs) foi otimizado considerando a influência da polaridade do solvente e a concentração de nanopartículas, levando a um rendimento de 69,7 mg de curcuminoides g⁻¹ de pó de rizoma de *C. longa*, um aumento correspondente a 17,6 maior em relação ao protocolo anteriormente relatado, levando à recuperação de > 98 % de curcuminoides e oferecendo possibilidades reais para a produção industrial competitiva destes compostos.

Palavras-chave: açafrão-da-terra, fotossíntese, nanopartículas, compostos bioativos, HPLC

FERREIRA, M.I. **LIGHT INTENSITY AND UV EXCLUSION IN *Curcuma longa* L. PRODUCTION AND MAGNETIC CURCUMINOIDS PURIFICATION.** 2016. 106p. THESIS (DOCTOR - BIOLOGICAL SCIENCES/BOTANY) - INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

Abstract

Curcuma longa L. is a monocot of Zingiberaceae family. It is an important source of curcuminoids and its productivity differs significantly in different agro-climatic conditions. In this study we investigate the effects of light intensity levels and exclusion of solar UV radiation during different stages of the *C. longa* development on the content and yield of curcuminoids. We also studied the ecophysiological performance, biomass production, enzymatic activity, the level of polyamines and total phenols of these plants during cultivation. In addition, we proposed the optimization of curcuminoids purification method with magnetic nanoparticles called Surface Active maghemite Nanoparticles (SAMNs). The experimental design was completely randomized with five light levels and four harvests, in a split plot in time, with five replicates of eight plants. Light levels were anti-UV polyethylene, full sun, 30 %, 50 % and 70 % of shading and harvest times were 65, 128, 174, and 203 days after planting (DAP) corresponding to January, April, May, and June 2013. The experiment was conducted in a experimental farm of Agronomic Sciences College, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu - SP, in São Manuel - SP (22°46'0, 571 "S and 48°34'11, 32" W, 744 meters). It was observed that photosynthetic efficiency was higher in plants grown under UV exclusion throughout the growing season and this high CO₂ assimilation (*A*) reflected in significantly higher dry rhizomes and leaves biomass. At the end of the crop cycle total phenols content (TP), peroxidase (POD) and L-phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity increased with decreased exposure to light and under UV exclusion. The Spm content was higher in rhizomes of the plant exposed to full sun, Put levels were higher under UV exclusion and curcumin content remained unaltered. Remarkably, the UV exclusion led to higher CO₂ net assimilation, biomass production and consequently, a notable 44,63 % higher total curcuminoid yield was observed, comparing with full sun plants. However the higher curcuminoid content was obtained at 65 DAP, under 70 % shading. This is interesting for the purification process, since at this developmental stage, the biomass is reduced and curcuminoid content is limited. The curcuminoids purification process with magnetic nanoparticles (SAMNs) has been optimized considering the influence of polarity of the solvent and the concentration of nanoparticles, leading to a yield of 69.7 mg curcuminoids g⁻¹ of *C. longa* powder rhizome, a increase of 17.6 times, compared to the previously reported protocol, leading to the recovery of > 98 % curcuminoids and providing real possibilities for competitive industrial production of curcuminoids.

Keywords: turmeric, photosynthesis, nanoparticles, bioactive compounds, HPLC

1. INTRODUÇÃO

A influência de fatores ambientais e técnicas de cultivo na fisiologia de plantas cultivadas é um importante tópico de pesquisa, pois influenciam o acúmulo de biomassa, bem como a biossíntese de compostos bioativos, alterando a produção e qualidade das plantas. Portanto, determinar as condições de cultivo e o momento adequado para a colheita de uma cultura é importante para aumentar a sua produtividade e qualidade. A biossíntese e acúmulo de compostos fenólicos, por exemplo, está sujeito a variação em função de vários fatores, entre eles a fase do desenvolvimento das plantas (TREUTTER, 2010), a alta intensidade luminosa e a radiação ultravioleta (UV) (MIERZIAK; KOSTYN; KULMA, 2014).

Estas condições de luz são stressantes para as plantas e são uma fonte de radicais livres, pois níveis ambientais de radiação UV solar (280-400 nm) podem conduzir a um aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), provocando efeitos protetores, como a indução da biossíntese de compostos fenólicos que absorvem a radiação UV-B (280-315 nm) (JANSEN; GABA; GREENBERG, 1998) e alterações nas atividades de enzimas antioxidantes, bem como do teor de poliaminas (PAs) (JANSEN et al., 2008)

A luz solar também causa danos ao aparelho fotossintético, principalmente ao fotossistema II (PSII), levando à fotoinibição e perda de desempenho das plantas, e em última análise, suprime a assimilação fotossintética de CO₂ (A), o crescimento e a produtividade. Porém, os comprimentos de onda na faixa do ultravioleta (UV) fazem com que fotoinibição seja muito mais eficiente do que a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (400-700 nm) (TAKAHASHI et al., 2010).

Alguns estudos já foram realizados para determinar a influência da intensidade luminosa na biomassa e na qualidade da *Curcuma longa* (BHUIYAN et al., 2012; HOSSAIN et al., 2009; PADMAPRIYA; CHEZHIAN; SATHIYAMURTHY, 2007; SRIKRISHNAH; SUTHARSAN, 2015), indicando que a espécie tem boa produtividade em ambientes parcialmente sombreados, no entanto, a intensidade de luz adequada para o cultivo da curcuma varia de acordo com o local, ano e nível de irradiância, além disso nada se sabe sobre o efeito da radiação UV sobre essas plantas.

Estudos destinados a correlacionar o tempo de colheita com a biomassa e a produção de curcuminoides foram realizados em diferentes regiões (ASGHARI; MOSTAJERAN;

SHEBLI, 2009; COORAY et al., 1988; HOSSAIN, 2010; KUMAR; GILL, 2009) mostrando que a dependência do teor de curcuminoides do período de colheita ainda é uma questão de interesse, pois o tempo de maturidade da espécie pode variar em diferentes regiões agroclimáticas.

Hoje em dia, a curcumina é usada como suplemento alimentar, em vários países e a base molecular para a sua utilização farmacêutica foi já delineada para uma ampla gama de doenças (GUPTA; KISMALI; AGGARWAL, 2013). Por esta razão, a curcumina e seus derivados estão atraindo um crescente interesse na área de alimentos e farmacêutica.

Assim, o desenvolvimento de diferentes tecnologias de cultivo que visem a melhoria na produção da espécie, e conseqüentemente do açafrão em pó, bem como o incremento no rendimento de curcuminoides puros, visando a purificação dessas moléculas é crucial para otimização do processo de purificação. Entre os protocolos de purificação existentes, separação e purificação por meio de técnicas magnéticas representam alternativas promissoras para captura seletiva e fiável de moléculas específicas (HORÁK et al., 2007).

Recentemente, foi desenvolvido um material superparamagnético nanoestruturado, constituído de maghemita estequiométrica (γ -Fe₂O₃), chamado Surface Active Maghemite Nanoparticles (SAMNs) (MAGRO et al., 2012a) que apresentam os requisitos fundamentais para o desenvolvimento de processos eficazes de purificação magnéticos para biomoléculas em matrizes complexas. As SAMNs já foram utilizadas para imobilizar a curcumina (MAGRO et al., 2014) e um protocolo para a purificação magnética de curcuminoides foi proposto (MAGRO et al., 2015). Portanto, otimizar a produção de *C. longae* a purificação magnética de curcuminoides oferece oportunidades reais de inovação na produção de curcuminoides puros.

6. CONCLUSÃO GERAL

O desempenho ecofisiológico, a atividade enzimática, o teor de poliaminas, fenóis totais e curcuminoides foram avaliados sob diferentes intensidade de luz e sob a exclusão da radiação UV, em função das fases do desenvolvimento de *C. longa*, viabilizando a individualização da melhor condição de exposição à luz, bem como do tempo ideal para a colheita, visando a produção de rizomas de alta qualidade .

Observamos que independentemente das condições de luz, o acúmulo de biomassa das folhas apresentou aumento até a segunda colheita, já a biomassa dos rizomas apresentou aumento linear, no intervalo de tempo estudado. Notavelmente, nas plantas protegidas do UV o aumento da assimilação de CO₂, durante todo o ciclo da cultura, proporcionou incremento na produção de biomassa e, conseqüentemente, no rendimento total de curcumina e de curcuminoides.

Em relação ao teor de curcuminoides, ao final do ciclo de cultivo (203 DAP), o teor de curcumina e DMC não foram afetados pelas diferentes condições de luz; e o ambiente protegido da radiação UV proporcionou o menor teor de BDMC. Concluimos que a luz solar plena é um ambiente estressante para o cultivo de *C. longa* e a exclusão da radiação UV fornecida pelo filme de polietileno anti-UV durante o crescimento das plantas conduziu a melhorias em termos de assimilação de CO₂, biomassa e rendimento final de curcuminoides totais.

Porém, encontramos maior teor de curcuminoides no início do cultivo, aos 65 DAP. Nesta fase o ambiente com 70 % de sombreamento foi considerado o melhor para a produção de curcuminoides, visando o processo de purificação, já que nesta fase a biomassa é marcadamente menor.

Para a purificação dos curcuminoides de *C. longa* otimizamos um protocolo já estabelecido, utilizando nanopartículas magnéticas, chamadas de Surface Active Maghemite Nanoparticles (SAMNs). O rendimento de purificação alcançado foi 17,6 maior, em relação ao protocolo anteriormente relatado, levando à recuperação de > 98 % desses compostos, oferecendo possibilidades reais para a sua produção industrial competitiva.

7. REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, C.; COSTA, G.; TREUTTER, D. Composition of phenolic compounds in pear leaves as affected by genetics, ontogenesis and the environment. **Scientia Horticulturae**, v. 109, p. 130–137, 2006.
- ASGHARI, G.; MOSTAJERAN, A.; SHEBLI, M. Curcuminoid and essential oil components of turmeric at different stages of growth cultivated in Iran. **Research in Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 1, p. 55–61, 2009.
- BAMBIRRA, M. L. A.; JUNQUEIRA, R. G.; GLÓRIA, M. B. A. Influence of post harvest processing conditions on yield and quality of ground turmeric (*Curcuma longa* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 4, p. 423–429, dez. 2002.
- BERBERICH, T.; SAGOR, G. H. M.; KUSANO, T. Polyamines in Plant Stress Response. In: KUSANO, T.; SUZUKI, H. (Eds.). **Polyamines**. [s.l.] Springer Japan, 2015. p. 155–168.
- BERGQUIST, S. A. et al. Flavonoids in Baby Spinach (*Spinacia oleracea* L.): Changes during Plant Growth and Storage. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, p. 9459–9464, 2005.
- BHUIYAN, M. M. R. et al. Impact of multistoreyed agro-forestry systems on growth and yield of turmeric and ginger at Mymensingh, Bangladesh. **eSci Journal of Crop Production**, v. 1, n. 1, p. 19–23, 15 dez. 2012.
- BORSARI, M. et al. Curcuminoids as potential new iron-chelating agents: spectroscopic, polarographic and potentiometric study on their Fe(III) complexing ability. **Inorganica Chimica Acta**, v. 328, n. 1, p. 61–68, jan. 2002.
- CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. **Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil**. Campinas: EMBRAPA-SNLCS, 1987.
- CHENG, S. et al. Molecular identification of phenylalanine ammonia-lyase as a substrate of a specific constitutively active Arabidopsis CDPK expressed in maize protoplasts. **FEBS Letters**, v. 503, n. 2-3, p. 185–188, 17 ago. 2001.
- COORAY, N. et al. Effect of maturity on some chemical constituents of turmeric (*Curcuma longa* L.). **J. Natn. Sci. Coun. Sri Lanka**, v. 16, n. 1, p. 39–51, 1988.
- DÍAZ, B. M. et al. Impact of ultraviolet-blocking plastic films on insect vectors of virus diseases infecting crisp lettuce. **HortScience**, v. 41, p. 711–716, 2006.
- DIXIT, D.; SRIVASTAVA, N. K. Partitioning of ¹⁴C-photosynthate of leaves in roots, rhizome, and in essential oil and curcumin in turmeric (*Curcuma longa* L.). **Photosynthetica**, v. 38, p. 275–280, 2000a.
- DIXIT, D.; SRIVASTAVA, N. K. Distribution of photosynthetically fixed ¹⁴CO₂ into curcumin and essential oil in relation to primary metabolites in developing turmeric (*Curcuma longa*) leaves. **Plant Science**, v. 152, p. 165–171, 2000b.
- ESATBEYOGLU, T. et al. Curcumin - vom Molekül zur biologischen Wirkung. **Angewandte Chemie**, v. 124, n. 22, p. 5402–5427, 29 maio 2012.
- FROHNMEYER, H.; STAIGER, D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants. Balancing damage and protection. **Plant physiology**, v. 133, n. 4, p. 1420–8, 1 dez. 2003.
- GARCÍA-MACÍAS, P. et al. Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 10168–10172, 2007.
- GHASEMZADEH, A. et al. Effect of Different Light Intensities on Total Phenolics and

- Flavonoids Synthesis and Anti-oxidant Activities in Young Ginger Varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, p. 3885–3897, 2010.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Polyamines and abiotic stress tolerance in plants. **Plant signaling & behavior**, v. 5, n. 1, p. 26–33, jan. 2010.
- GUPTA, S. C.; KISMALI, G.; AGGARWAL, B. B. Curcumin, a component of turmeric: from farm to pharmacy. **BioFactors (Oxford, England)**, v. 39, n. 1, p. 2–13, jan. 2013.
- HACKETT, W. P. Differential expression and functional significance of anthocyanins in relation to phasic development in *Hedera helix* L. **Advances in Botanical Research**, v. 37, p. 95–102, 2002.
- HERTWIG, I. VON. Curcuma. In: **Plantas medicinais e aromáticas**. São Paulo: Icone, 1986. p. 254–65.
- HORÁK, D. et al. Preparation and properties of magnetic nano- and micro-sized particles for biological and environmental separations. **Journal of separation science**, v. 30, n. 11, p. 1751–72, jul. 2007.
- HOSSAIN, M. A. et al. Effects of Relative Light Intensity on the Growth, Yield and Curcumin Content of Turmeric (*Curcuma longa* L.) in Okinawa, Japan. **Plant Production Science**, v. 12, p. 29–36, 2009.
- HOSSAIN, M. A. Effects of Harvest Time on Shoot Biomass and Yield of Turmeric (*Curcuma longa* L.) in Okinawa, Japan. v. 13, n. June 2009, 2010.
- HOSSAIN, M. A.; ISHIMINE, Y. Growth, Yield and Quality of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Cultivated on Dark-red Soil, Gray Soil and Red Soil in Okinawa, Japan. **Plant Production Science**, v. 8, n. 4, p. 482–486, 22 dez. 2005.
- JANSEN, M. A. ; GABA, V.; GREENBERG, B. M. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. **Trends in Plant Science**, v. 3, n. 4, p. 131–135, 4 abr. 1998.
- JANSEN, M. A. K. et al. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? **Plant Science**, v. 175, n. 4, p. 449–458, out. 2008.
- JAYAPRAKASHA, G. K.; JAGAN MOHAN RAO, L.; SAKARIAH, K. K. Chemistry and biological activities of *C. longa*. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 12, p. 533–548, dez. 2005.
- KANDIANNAN, K.; CHEMPAKAM, B.; KRISHNAMURTHY, K. Turmeric. In: PARTHASARATHY, V. A.; KANDIANNAN, K.; SRINIVASAN, V. (Eds.). . **Organic Spices**. 1. ed. [s.l.] New India Publishing, 2008. p. 387–438.
- KATSUYAMA, Y. et al. Curcuminoid biosynthesis by two type III polyketide synthases in the herb *Curcuma longa*. **The Journal of biological chemistry**, v. 284, n. 17, p. 11160–70, 24 abr. 2009.
- KITTS, D.; WEILER, K. Bioactive Proteins and Peptides from Food Sources. Applications of Bioprocesses used in Isolation and Recovery. **Current Pharmaceutical Design**, v. 9, n. 16, p. 1309–1323, 1 jun. 2003.
- KOLB, C. A. et al. UV screening by phenolics in berries of grapevine (*Vitis vinifera*). **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 1177–1186, 2003.
- KRIZEK, D. T. et al. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation of growth of cv. New Red Fire lettuce. **Physiologia Plantarum Plant.**, v. 103, n. 1, p. 1–7, maio 1998.
- KRUMBEIN, ANGELIKA, SAEGER-FINK HEIDI, S. I. Changes in quercetin and

kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. **Journal of applied botany and Food Quality**, v. 81, p. 136–139, 2007.

KULKARNI, S. J. et al. Extraction and purification of curcuminoids from Turmeric (*Curcuma longa* L.). p. 81–84, 2012.

KUMAR, B.; GILL, B. S. Effect of method of planting and harvesting time on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.). **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 1, p. 22–27, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos - SP: Rima, 2000.

LAVOLA, A. et al. Allocation of carbon to growth and secondary metabolites in birch seedlings under UV-B radiation and CO₂ exposure. **Physiologia Plantarum**, v. 109, n. 3, p. 260–267, 25 jul. 2000.

LI, S. et al. Chemical Composition and Product Quality Control of Turmeric (*Curcuma longa* L.). **Pharmaceutical Crops**, v. 2, p. 28–54, 2011.

LORENZI, H.; MATOS, F. DE A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2002.

LUTHRIA, D. L.; MUKHOPADHYAY, S.; KRIZEK, D. T. Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 771–777, 2006.

LÜTZ, C. et al. Simulated solar irradiation with enhanced UV-B adjust plastid- and thylakoid-associated polyamine changes for UV-B protection. **Biochimica et biophysica acta**, v. 1710, p. 24–33, 15 nov. 2005.

MACKAY, M. E. General Strategies for Nanoparticle Dispersion. **Science**, v. 311, n. 5768, p. 1740–1743, 24 mar. 2006.

MAGRO, M. et al. **Maghemite nanoparticles and method for preparing thereof**, 17 mar. 2012a. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US8980218>>. Acesso em: 19 nov. 2015

MAGRO, M. et al. Charge binding of rhodamine derivative to OH- stabilized nanomaghemite: universal nanocarrier for construction of magnetofluorescent biosensors. **Acta biomaterialia**, v. 8, n. 6, p. 2068–76, jul. 2012b.

MAGRO, M. et al. A magnetically drivable nanovehicle for curcumin with antioxidant capacity and MRI relaxation properties. **Chemistry (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)**, v. 20, n. 37, p. 11913–20, 8 set. 2014.

MAGRO, M. et al. Magnetic purification of curcumin from *Curcuma longa* rhizome by novel naked maghemite nanoparticles. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 3, p. 912–20, 28 jan. 2015.

MAHESHWARI, R. K. et al. Multiple biological activities of curcumin: a short review. **Life sciences**, v. 78, n. 18, p. 2081–7, 27 mar. 2006.

MALLICK, N.; MOHN, F. H. Reactive oxygen species: response of algal cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, n. 2, p. 183–193, ago. 2000.

MANHAS, S. S.; GILL, B. S. Effect of different cultural practices on production of turmeric (*Curcuma longa* L.) in Punjab. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 21, n. 1, p. 53–58, 2012.

MARCHESE, J. A. et al. Carbon isotope composition as a tool to control the quality of herbs and medicinal plants. **Photosynthetica**, v. 44, p. 155–159, 2006.

MARÍN, A. et al. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p.

3861–3869, 2004.

MIERZIAK, J.; KOSTYN, K.; KULMA, A. Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment. **Molecules**, v. 19, p. 16240–16265, jan. 2014.

NAIR, K. P. P. The Botany of Turmeric. In: **The Agronomy and Economy of Turmeric and Ginger: the invaluable medicinal spice crops**. Amsterdam: Elsevier, 2013. p. 7–32.

PADMAPRIYA, S.; CHEZHIYAN, N.; SATHIYAMURTHY, V. A. Effect of shade and integrated nutrient management on biochemical constituents of turmeric (*Curcuma longa* L.). **Journal of Horticultural Sciences**, v. 2, n. 2, p. 123–129, 2007.

POTHITIRAT, W.; GRITSANAPAN, W. Variability of curcuminoids: anti-oxidative components in ethanolic turmeric extract determined by UV and HPLC methods. **Acta Horticulturae**, v. 786, p. 175–184, 2008.

PRASAD, S.; AGGARWAL, B. B. Turmeric - the Golden Spice. In: BENZIE, I.; WACHTEL-GALOR, S. (Eds.). **Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects**. 2. ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 2011.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: Molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995–1014, 2005.

SFICHI, L.; LOANNIDIS, N.; KOTZABASIS, K. Thylakoid-associated Polyamines Adjust the UV-B Sensitivity of the Photosynthetic Apparatus by Means of Light-harvesting Complex II Changes. **Photochemistry and Photobiology**, v. 80, n. 3, p. 499–506, 30 abr. 2004.

SINGH, S.; PANDA, M. K.; NAYAK, S. Evaluation of genetic diversity in turmeric (*Curcuma longa* L.) using RAPD and ISSR markers. **Industrial Crops and Products**, v. 37, p. 284–291, maio 2012.

SINIGAGLIA, G. et al. Catalytically active bovine serum amine oxidase bound to fluorescent and magnetically drivable nanoparticles. **International journal of nanomedicine**, v. 7, p. 2249–59, jan. 2012.

SMITH, J.; BURRITT, D.; BANNISTER, P. Ultraviolet-B radiation leads to a reduction in free polyamines in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Growth Regulation**, v. 35, n. 3, p. 289–294, 2001.

SOLOVCHENKO, A.; SCHMITZ-EIBERGER, M. Significance of skin flavonoids for UV-B-protection in apple fruits. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 389, p. 1977–1984, 2003.

SRIKRISHNAH, S.; SUTHARSAN, S. Effect of Different Shade Levels on Growth and Tuber Yield of Turmeric (*Curcuma longa* L.) In the Batticaloa District of Sri Lanka. **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.**, v. 15, n. 5, p. 813–816, 2015.

SRIVASTAVA, N. K.; SHARMA, S.; MISRA, A. Influence of Zn on allocation of leaf-assimilated $^{14}\text{CO}_2$ into primary metabolites in relation to production of essential oil and curcumin in Turmeric (*Curcuma longa* L.). **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 2, p. 201–207, 2006.

SURESH, D.; MANJUNATHA, H.; SRINIVASAN, K. Effect of heat processing of spices on the concentrations of their bioactive principles: Turmeric (*Curcuma longa*), red pepper (*Capsicum annum*) and black pepper (*Piper nigrum*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 20, n. 3-4, p. 346–351, maio 2007.

TAKAHASHI, S. et al. The solar action spectrum of photosystem II damage. **Plant**

physiology, v. 153, n. 3, p. 988–93, 1 jul. 2010.

TREUTTER, D. Managing Phenol Contents in Crop Plants by Phytochemical Farming and Breeding — Visions and Constraints. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, p. 807–857, 2010.

TROPICOS. **Tropicos.org** - **Curcuma longa L.** Disponível em: <<http://www.tropicos.org/Name/34500029>>. Acesso em: 6 jan. 2014.

TSORMPATSIDIS, E. et al. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce “Revolution” grown under polyethylene films. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 232–239, 2008.

TURKOVÁ, J. **Affinity Chromatography**. 1. ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.

VALLEJO, F.; GARCÍA-VIGUERA, C.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A. Changes in broccoli (*Brassica oleracea* L. Var. *italica*) health-promoting compounds with inflorescence development. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, p. 3776–3782, 2003.

VENERANDO, R. et al. Magnetic Nanoparticles with Covalently Bound Self-Assembled Protein Corona for Advanced Biomedical Applications. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 117, n. 39, p. 20320–20331, 3 out. 2013.

WANG, Y.; HU, W.; WANG, M. HPLC determination of three curcuminoid constituents in rhizoma *Curcumae*. **Acta Pharmaceutica Sinica**, 1999.

