

A altitude e os processos fisiológicos das plantas
Physiological changes in plants with altitude

JAYME-OLIVEIRA, Adilson¹; REIS, Welton Rodrigo da Silva²; JAKELAITIS, Adriano³; COSTA, Alan Carlos^{3,4}; RIBEIRO JR., Walter Quadros⁵

1 Instituto Federal de Brasília e Instituto Federal Goiano, adilson.oliveira@ifb.edu.br; 2 Instituto Federal de Brasília e UNIP, weltonreisrodrigo@gmail.com; 3 Instituto Federal Goiano ajakelaitis@yahoo.com.br; 4 alcarcos@gmail.com; 5 Embrapa Cerrados, walter.quadros@embrapa.br

Resumo

Com o objetivo de analisar a produção científica sobre a modificação dos processos fisiológicos das plantas, especialmente para a quinoa e influenciada pelas mudanças de altitude, utilizou-se a representação em diagramas qualitativos para identificar as interações ambientais, em particular o aumento da temperatura. A complexidade das mudanças fisiológicas para aclimação das plantas e a escassez de artigos na literatura internacional indicam a necessidade de realizar mais ensaios experimentais no Brasil visando avaliar a adaptação do cultivo da quinoa e outras plantas oriundas de elevadas altitudes.

Palavras-chave: quinoa; *Chenopodium quinoa*; temperatura; adaptação ambiental.

Abstract

For analyzing the scientific literature by physiological changes processes of plants, especially for quinoa, influenced by changes in altitude have been chosen the representation of qualitative diagrams to identify the environmental interactions, in particular the increase in temperature. The complexity of the physiological changes in plant acclimation and few papers in the literature indicate the need for further experimental trials in Brazil, to evaluate the adaptation of the production of quinoa and other plants from high altitude.

Keywords: quinoa; *Chenopodium quinoa*; temperature; environmental adaptation.

Introdução

Considerando que o aquecimento climático é um fenômeno meteorológico inevitável e a necessidade dos vegetais se desenvolverem sob amplitudes térmicas favoráveis justificam a investigação científica para avaliar a adaptabilidade das plantas sob mudanças da altitude.

Devido ao aquecimento global, Walther (2004) citado por Jump *et al.* (2009) os cordões vegetativos migraram em média para 130 metros de altitude nos últimos 50 anos.

Numa direção oposta ao fenômeno do aquecimento global, existem espécies com excelente qualidade nutricional nos grãos e capacidade de tolerar condições de estresse, tais como salinidade do solo, acidez, seca e geada, cultivadas em elevadas altitudes e que necessitam se adaptar para cultivo em outras altitudes. É o caso da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cuja demanda tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (Jacobsen, 2011).

Este artigo tem como objetivo analisar a produção científica sobre a modificação dos processos fisiológicos das plantas, especialmente para a quinoa, influenciada pelas mudanças de altitude e sua representação em diagramas qualitativos no que se refere à Dinâmica de Sistemas.

Metodologia

Forrester (1998) propõe a análise da estrutura e do comportamento da Dinâmica de Sistemas, a partir da criação de modelos que representem a realidade agrupando as principais políticas que regem um sistema. A principal utilidade desta metodologia resulta na compreensão de como as políticas de um sistema, ou seja, sua estrutura determina o comportamento observado. A

elaboração desses modelos leva em consideração a interdependência, ou seja, a forma como os elementos de um sistema estão ligados uns aos outros. Tais modelos, chamados de “diagramas ciclos causais” (DCC), são elaborados a partir das pressuposições, crenças, valores e experiências acumuladas (modelos mentais) de cada indivíduo (Sterman, 2000).

O mesmo autor indica que a elaboração dos DCC deve seguir alguns princípios de forma que facilitem o entendimento do leitor ou dos usuários dos mesmos. Dessa forma, serão descritos três passos que devem ser observados na elaboração dos DCC, visando uma melhor estruturação de um dado sistema:

1° Passo – Correlações: Deve-se evitar na elaboração dos DCC o uso de causalidades que indiquem correlações entre as variáveis do sistema. As correlações descrevem o comportamento passado de um sistema e não o objetivo almejado.

2° Passo – Relações de causa e efeito: Conseqüentemente, os diagramas devem representar apenas as relações de causalidade entre as variáveis que descrevem a estrutura do sistema.

3° Passo – Indicar as causalidades: Este passo permite a fácil compreensão das relações de causa e efeito que podem ser positivas ou negativas (Figura 1).

Resultados e Discussão

Estudos da geobotânica avaliam a distribuição da cobertura vegetal com o relevo. Jump *et al.* (2009) menciona a redução de 6°C a cada 1.000 metros de elevação (Figura 2) identificando a causalidade negativa do aumento da temperatura causada pela redução da altitude); concomitantemente a cada 1.000 quilômetros em latitude ocorre a redução de 6,9°C (causalidade negativa). O aumento da altitude também é associado à diminuição da pressão atmosférica (causalidade negativa, reduzindo também a pressão parcial de todos os gases da atmosfera, inclusive o CO₂), aumento da nebulosidade e neblina (causalidade positiva), aumento da irradiância quando o céu está sem nuvens e maior fração de radiação UV-B (causalidade positiva), aumento da amplitude térmica entre o dia e a noite (causalidade positiva) e, na maioria dos casos, o aumento da precipitação (causalidade positiva; Körner, 2003 citado por Li *et al.*, 2013; Öncel *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2007). Acrescentou-se no diagrama alguns relacionamentos meteorológicos (umidade relativa e déficit de pressão de vapor) e a capacidade de regeneração vegetal por intermédio da resiliência.

Apesar de Jacobsen (2003), citado por Bhargava (2007), mencionar que a quinoa é adaptada para cultivo desde o nível do mar até as elevadas altitudes, são raros os artigos que avaliam a interação de algum comportamento fisiológico com a altitude. González *et al.* (2009) montou um ensaio com plântulas de duas variedades de quinoa submetidas a 2 e 70 kJ.m⁻².d⁻¹ de radiação UV-B e os resultados obtidos foram controversos entre as variedades, indicando que a quinoa é uma espécie geneticamente bem adaptada a tolerar elevada irradiância de UV-B, mas não foi capaz de perceber as pequenas variações nas folhas e cotilédones.

Diante da escassez de artigos avaliando a influência da redução da altitude nos processos fisiológicos para a quinoa e outras plantas e, considerando que a temperatura é a principal variável climática com acentuadas mudanças em relação à altitude, optou-se por concentrar esta revisão apresentando os processos metabólicos que favorecem a termotolerância.

As principais respostas fisiológicas das plantas ao calor são fechamento dos estômatos, redução da fotossíntese, aumento da respiração, aumento da temperatura da folha, aumento da catálise de amido (produção de energia), aumento das espécies reativas de oxigênio, aumento da peroxidação de lipídeos da membrana e pigmentos (alterações nas funções de membrana e perda de células) e aumento dos radicais hidroxila (que podem danificar clorofila, proteínas, DNA e lipídeos) (Mittler *et al.*, 2012; Bokszczanin, 2013). Os mesmos autores sugerem intensificar os estudos para compreender a termotolerância adquirida adaptativa (TAA), induzida pela pré-exposição das plantas a temperaturas elevadas, mas não letais e conferindo a capacidade de sobreviver a um estresse térmico, que seria letal na ausência do tratamento pré-condicionado ao calor. A TAA é de natureza transitória, e aumenta a termotolerância basal (independente de aclimação) e a resistência ao calor através de uma "eficiente" transição para promover a aclimação (homeostase). As plantas investem preciosos recursos para fomentar processos metabólicos que previnam os danos causados pelo calor. Destacam-se as proteínas chaperonas moleculares, protegendo a desnaturação das proteínas, os osmoprotetores (moléculas de baixo peso molecular, aminoácidos, amins quaternárias e açúcares), que atuam na manutenção do volume celular (homeostase) e na produção de metabólitos secundários (flavonoides, carotenoides e xantofilas).

De acordo com a Figura 3, o aumento da temperatura do ar e na folha pode destruir as células vegetais (causalidade negativa), reduzir a atividade fotossintética (causalidade negativa) e aumentar a taxa transpiratória (causalidade positiva) que reduz o fluxo de água nas células (causalidade negativa). Destaca-se a capacidade de aclimação dos vegetais (homeostase) por intermédio do aumento da concentração dos metabólitos secundários (causalidade negativa para reduzir a temperatura da folha), produção de osmoprotetores para preservar a água na folha (causalidade positiva) e as chaperonas moleculares para reduzir a perda da integridade das proteínas, DNA e lipídeos (causalidade negativa).

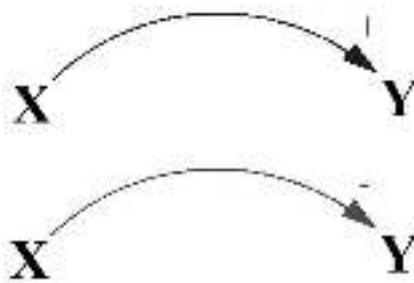
Conclusões

As interações fisiológicas que as plantas são submetidas com o aumento da temperatura são mais complexas que a mudança das variáveis meteorológicas alteradas pela altitude. É importante realizar mais ensaios no Brasil para avaliar a capacidade da quinoa tolerar o aumento na intensidade dos estresses abióticos, principalmente a temperatura.

Referências bibliográficas

- BHARGAVA, A., SHUKLA, S., OHRI, D. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Field Crops Research**, n. 101, p. 104–116. 2007.
- BOKSZCZANIN, K. L.; FRAGKOSTEFANAKIS, S. Perspectives on deciphering mechanisms underlying plant heat stress response and thermotolerance. **Front. Plant Sci.**, n. 23, ago. 2013.
- FORRESTER, J.W. **Designing the future**. (Road Map n. D-4726). 1998. 11p. Disponível em: <<http://sysdyn.clexchange.org/sdep/papers/Designjf.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2011.
- GONZÁLEZ, J. A.; ROSA, M.; MARÍA F. PARRADO, M. F.; HILAL. M., PRADO, F. E. Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species (*Chenopodium quinoa* Willd.) growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, n. 96, p. 144–151. 2009.
- JACOBSEN, S. E. The situation for quinoa and its production in Southern Bolivia: From economic

- success to environmental disaster. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 197:390-399. 2011.
- JUMP, A. S.; MÁTYÁS, C.; PEÑUELAS, J. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. **Trends in Ecology and Evolution**. v. 24, n. 12, p. 694–701, 2009.
- KUMAR, N.; VYAS D.; KUMAR, S. Plants at high altitude exhibit higher component of alternative respiration. **Journal of Plant Physiology**. n. 164, p. 31-38, 2007.
- LI, R.; LUO, T. ; TANG, Y; M. DU, M.; ZHANG, X. The altitudinal distribution center of a widespread cushion species is related to an optimum combination of temperature and precipitation in the central Tibetan Plateau. **Journal of Arid Environments**. n. 88, p. 70-77. 2013.
- MITTLER, R.; FINKA, A.; GOLOUBINOFF, P. How do plants feel the heat? **Trends in Biochemical Sciences**, v. 37, n. 3. mar. p. 118-125. 2012.
- ÖNCEL, I.; YURDAKULOL, E.; KELES, Y.; KURT, L.; YILDIZ, A. Role of antioxidant defense system and biochemical adaptation on stress tolerance of high mountain and steppe plants. **Acta Oecologica**. n. 26, p. 211–218, 2004.
- STERMAN, J. D. **Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world**. 1. ed. Boston: Irwin McGraw-Hill, 2000. 982p.



Uma influência causal de X para Y é definida como **positiva** se uma mudança em X causa uma mudança em Y no mesmo sentido. Se X aumenta e Y também ou se X diminui e Y diminui, temos uma **causalidade positiva**.

Uma influência causal de X para Y é definida como **negativa** se uma mudança em X causa uma mudança em Y no sentido contrário. Se X aumenta e Y diminui ou se X diminui e Y aumenta, temos uma **causalidade negativa**.

Figura 1. Influências causais dos diagramas qualitativos da Dinâmica de Sistemas.

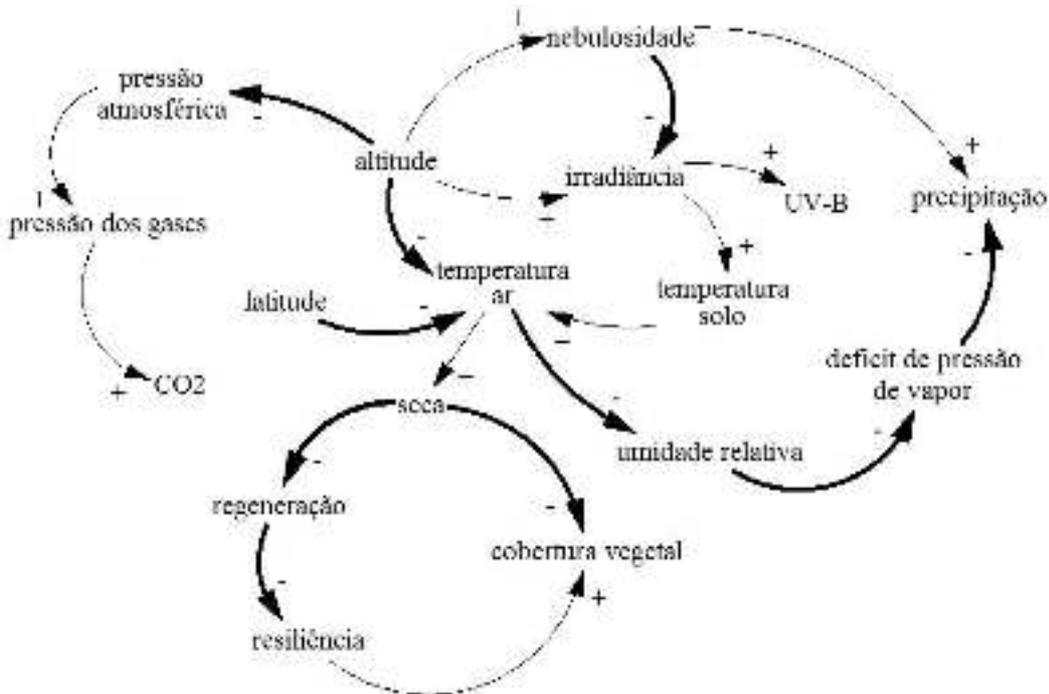


Figura 2. Diagrama de causalidades da interferência da altitude nas variáveis climáticas e cobertura vegetal.

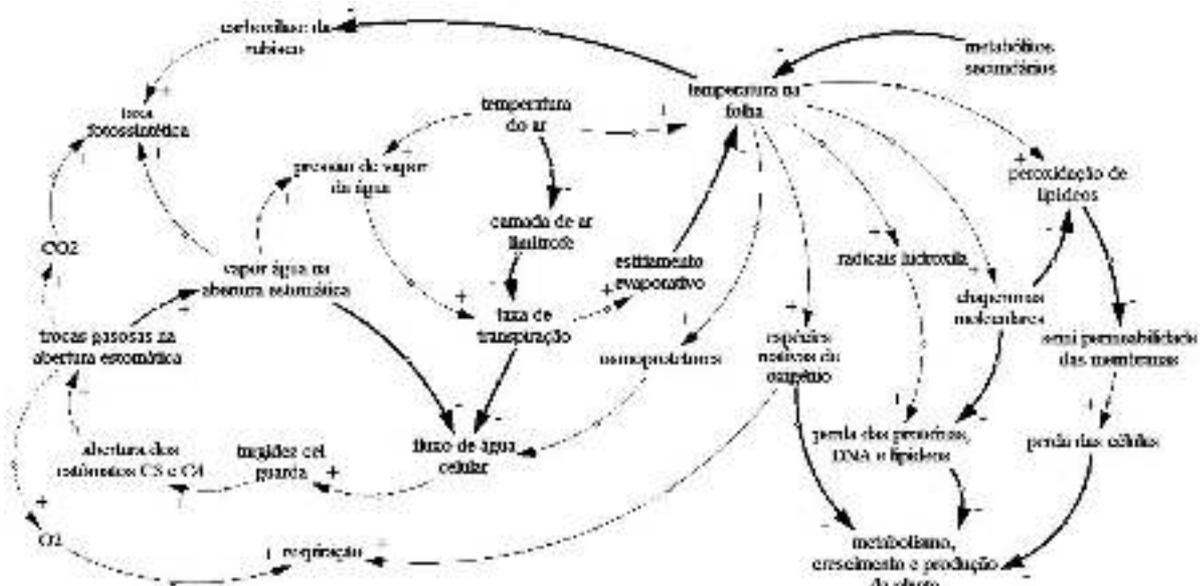


Figura 3. Diagrama de causalidades da interferência da temperatura do ar nos processos fisiológicos das plantas.