

## Limitações físicas dos solos ao crescimento radicular de milho

### Soil physical limitation to maize root elongation

#### RESUMO

**Guilherme Soares Gazola**  
[guilhermesoaresgazola@alunos.utfpr.edu.br](mailto:guilhermesoaresgazola@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

**Moacir Tuzzin de Moraes**  
[mtmoraes@professores.utfpr.edu.br](mailto:mtmoraes@professores.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

A qualidade física dos solos pode ser avaliada por meio de relações entre as limitações físicas dos solos (i.e. resistência do solo à penetração e potencial matricial) e as taxas de alongamento radiculares das culturas. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática referente aos impactos das limitações físicas dos solos ao alongamento radicular da cultura do milho. Esta revisão seguiu os procedimentos do método PRISMA para revisões. Os resultados indicam que a taxa de crescimento radicular está diretamente ligada as interações entre resistência à penetração do solo e potencial matricial do solo. As taxas de alongamento radiculares de milho, tanto das raízes de primeira ordem, como de segunda ordem são reduzidas exponencialmente em função do incremento de valores de resistência do solo à penetração. A redução do conteúdo de água do solo, medido pelo potencial matricial, favorece redução linear na taxa de alongamento radicular desta cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resistência do solo à penetração. Estresse hídrico. Taxa de alongamento radicular de milho.

#### ABSTRACT

Soil quality can be assessed by means of relationships between the physical limitations of the soils (i.e. soil resistance to penetration and matric potential) with the crop root growth. We aim to performed a systematic review regarding the impacts of soil physical limitations to root elongation of maize. This review followed the procedures of the PRISMA method. The results indicate that the root elongation is directly related with the interaction of soil penetration resistance and matric potential. Maize crop presented exponentially reduction of root elongation due to soil strength for both roots, the first and second order. Soil water content reduction, measured by the matric potential, favors a linear reduction in the root elongation rate of maize crop.

**KEYWORDS:** Soil penetration resistance. Water stress. Maize root elongation.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Práticas conservacionistas de solo e água, tais como o sistema plantio direto, tem sido objeto de intensas pesquisas nas últimas décadas (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2018), as quais tem se difundido nas áreas produtoras de grãos (DERPSCH et al., 2010) como alternativa mais frequente para melhoria das condições físicas, químicas e biológicas dos solos. Com a modernização da agricultura, o uso de máquinas tem aumentado, resultando em significativas alterações nas suas propriedades físicas (STRECK et al., 2004), sendo a principal causa da compactação do solo (HAMZA; ANDERSON, 2005). Solos fisicamente degradados limitam o crescimento radicular (OTTO et al., 2011; SOUZA et al., 2014) o acesso à água e nutrientes (HEINEN; MOLLIER; DE WILLIGEN, 2003), e conseqüentemente, reduzem a produtividade das culturas (AGUILERA ESTEBAN et al., 2019; SOUZA et al., 2014).

O crescimento radicular das culturas, tanto de ciclo anual ou semiperene, pode ser limitado por vários fatores químicos (FOY, 1992), físicos (BENGOUGH et al., 2011a) e biológicos (GREGORY, 2006; GREGORY et al., 2013). Dentre os principais fatores físicos, se destacam o potencial de água no solo (MORAES et al., 2018), a aeração (VALENTINE et al., 2012), o impedimento mecânico (BENGOUGH et al., 2011b) e a temperatura (LETEY, 1985). Vários processos e mecanismos estão envolvidos na manutenção do crescimento radicular sob impedimento mecânico (CLARK; WHALLEY; BARRACLOUGH, 2003) e estresse hídrico (WHALLEY; BENGOUGH; DEXTER, 1998), tais como os ajustes osmóticos (SCHMIDT et al., 2013) e sinais bioquímicos (BLILOU et al., 2005) os quais causam alterações no turgor celular (TOMOS; PRITCHARD, 1994), nas respostas fisiológicas (BODNER; NAKHFOROOSH; KAUL, 2015) e morfológicas nas raízes das plantas (POTOCKA; SZYMANOWSKA-PUŁKA, 2018).

O uso de simulações do crescimento radicular em modelos matemáticos têm apresentado um importante papel no avanço do entendimento dos processos biofísicos no solo (MORAES et al., 2018), principalmente relacionados com as interações solo-raízes (LANDL et al., 2017; TRON et al., 2015). Entretanto, ainda são poucos os trabalhos que apresentam medições da resposta do crescimento radicular das culturas considerando as limitações físicas dos solos (resistência do solo à penetração e potencial matricial) (KELLER et al., 2019).

Portanto, uma revisão de literatura torna-se fundamental para agrupar informações sobre impactos das limitações físicas nas taxas de alongamento radicular do milho. O objetivo deste trabalho foi elaborar uma revisão sistemática referente aos impactos das limitações físicas dos solos ao alongamento radicular da cultura do milho.

## METODOLOGIA

Esta revisão seguiu os procedimentos descritos no método PRISMA, que trata dos Principais Itens para Relatar Revisões Sistemáticas e Meta-análises (MOHER et al., 2009). Os dados foram obtidos de artigos publicados em revistas indexadas em nas bases Scielo, Periódicos CAPES e Google Scholar. A busca por artigos foi realizada considerando as palavras-chave em inglês e português: “Maize”, “root

*elongation*”, “*water stress*” e “*mechanical stress*”. Assim, os artigos considerados nesta revisão sistemática estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos científicos utilizados nesta revisão.

| Referência                | Potencial Matricial (kPa) | Resistência à Penetração (kPa) | Meio de cultivo                   |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Mirreh e Ketcheson (1973) | -100 a -800               | 0 a 2500                       | <i>Alfisols</i> , franco argiloso |
| Veen e Boone (1990)       | -100 a -800               | 0 a 2500                       | <i>Alfisols</i> , Arenoso         |
| Rosolem et al. (1999)     | -60 a -1500               | 0 a 6000                       | Latossolo Vermelho, Argiloso      |
| Voetberg e Sharp (1991)   | 0 a -2500                 | nd                             | Vermiculita                       |

nd: não determinado. Fonte: Autoria própria (2020).

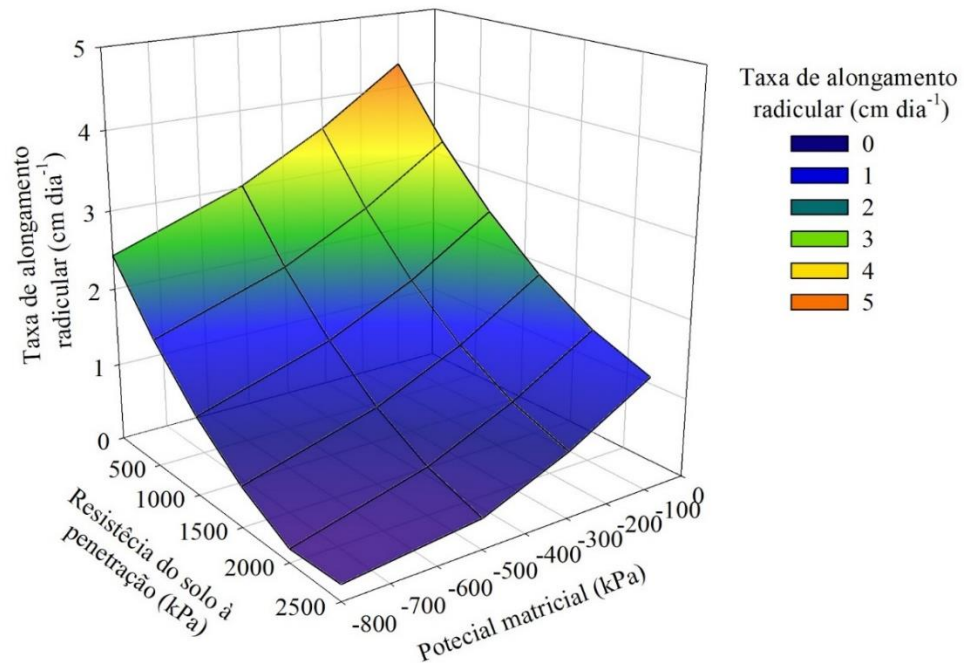
O modelo de análise da taxa de crescimento radicular mais comumente usado foi descrito em Mirreh e Ketcheson (1972, 1973). Este método consiste no cultivo do milho em amostras de solo com estrutura reconstruída, sendo utilizado três cilindros de acrílico. Os níveis de compactação são artificialmente construídos pela compressão do solo em equipamentos de compressão uniaxial (pistões hidráulicos). No esquema de construção dos tratamentos, utilizam-se de três cilindros (6,4 cm de diâmetro e 10 cm de altura), sendo que o cilindro central apresenta os níveis de compactação estudados. A avaliação do crescimento radicular do milho, se inicia com o transplante de plântulas germinadas da cultura, as quais são plantas a 3 mm de profundidade em pequenos orifícios no solo, onde estas raízes são confinadas para o crescimento. Estas plântulas são acondicionadas em câmaras de germinação, com temperatura e fotoperíodo controlados, e após 36h as plântulas são separadas do solo para quantificação dos parâmetros radiculares, tais como o comprimento das raízes.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A taxa de crescimento radicular do milho esteve diretamente relacionada com a variação da resistência à penetração do solo e do potencial matricial do solo (Figura 1). A redução do conteúdo de água do solo, pode ser verificada pela redução do potencial matricial, o qual demonstra que há uma redução exponencial da taxa de alongamento radicular do milho em função da alteração do potencial de água no solo (Figura 1).

A taxa de alongamento radicular do milho, também foi reduzida de forma exponencial devido ao incremento dos valores de resistência do solo à penetração (Figura 1). Estes valores foram reduzidos de 4 cm dia<sup>-1</sup> em condições de baixa resistência à penetração de 500 kPa para taxas de 1 cm dia<sup>-1</sup> em condição de solo compactado com resistência do solo à penetração de 2500 kPa. Entretanto, o secamento do solo, medido pelo potencial matricial de -800 kPa indica que resistências do solo à penetração de 2000 kPa já são suficientes para limitar o crescimento radicular da cultura do milho.

Figura 1. Impacto da resistência do solo à penetração e do potencial matricial na taxa de alongamento radicular de milho.



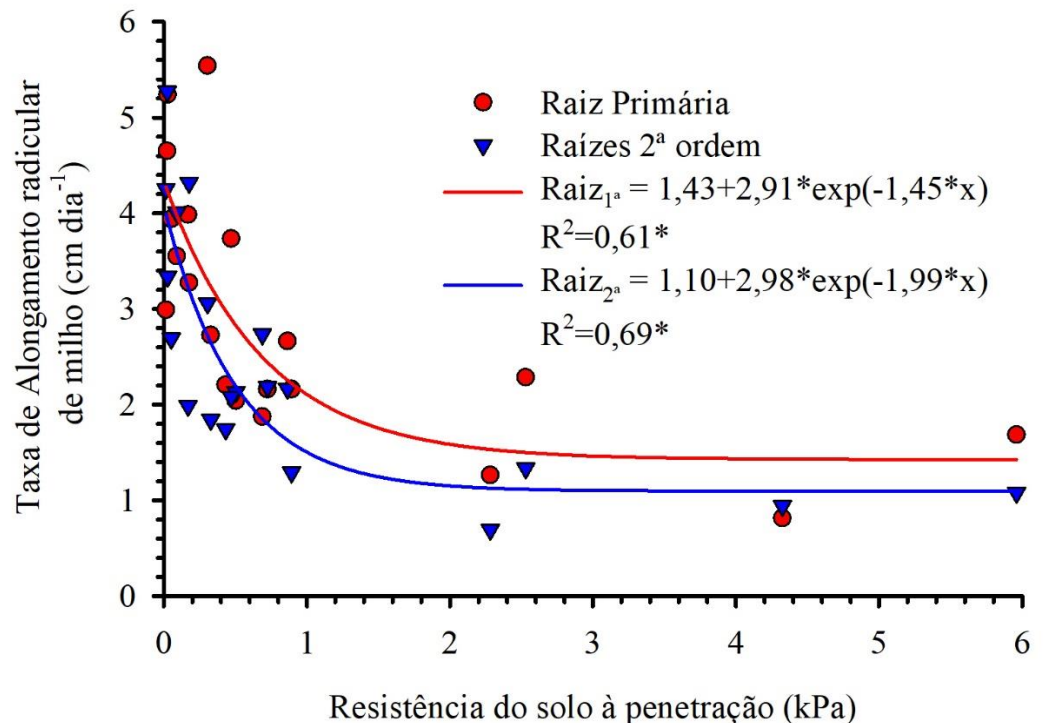
Fonte: Adaptado de Mirreh e Ketcheson (1973), Veen e Boone (1990).

O impacto da resistência do solo à penetração na taxa de alongamento radicular de milho, ainda depende do tipo de raiz que está sendo avaliada (Figura 2). Ambas raízes, primária e de segunda ordem, apresentaram reduções exponenciais da taxa de alongamento radicular em função do aumento de valores de resistência do solo à penetração. Entretanto, as raízes de segunda ordem da cultura do milho cresceram mais lentamente do que a raiz primária, isso demonstra que o impacto do grau de compactação do solo interfere na resposta das diferentes raízes.

A taxa de alongamento radicular impacta diretamente na expansão do sistema radicular no perfil do solo. Solos mais compactados apresentam maiores valores de resistência do solo à penetração, e isso reduz a taxa de penetração radicular no perfil do solo (COLOMBI et al., 2018). Na maioria das condições agrícolas com solos compactados as raízes são expostas aos estresses hídrico e mecânico (MORAES et al., 2019), estas limitações físicas, causam restrição do aprofundamento do sistema radicular (CHEN; WEIL, 2011) e, conseqüentemente, o acesso das raízes à água e aos nutrientes (COLOMBI et al., 2018). Além disso, o impedimento mecânico (BENGOUGH; MULLINS, 1991), causa redução da produtividade de grãos do milho em condições de solos compactados. Entretanto, além do impedimento mecânico, o estresse hídrico pode causar reduções na produtividade de grãos do milho.



Figura 2: Comparação entre o comprimento da raiz primária e adventícia em relação a resistência à penetração do solo.



Fonte: Adaptado de Rosolem et al. (1999).

As limitações físicas dos solos ao crescimento radicular, também podem ser intensificadas devido a textura do solo. Em estudo sobre o impacto da textura do solo, Rosolem et al. (1999) observaram que em solos argilosos, ocorrem maiores incrementos nos valores de resistência à penetração com o aumento da densidade do solo. Isso impacta diretamente nas restrições mecânicas dos solos na taxa de alongamento radicular da cultura do milho. Além disso, em solos com menores teores argila, devido as menores forças de coesão dos agregados de solo, há menores valores de resistência do solo à penetração, e com isso pode haver maiores taxas de crescimento radiculares (ROSOLEM et al., 1999), entretanto, quanto mais arenoso for o solo, menor é a capacidade de retenção de água, e conseqüentemente mais frequentes as plantas podem estar expostas a condições de estresse hídrico.

## CONCLUSÕES

A taxa de crescimento radicular está diretamente ligada à resistência a penetração do solo e o potencial matricial do solo sendo também influenciada pelo teor de argila no solo.

As taxas de alongamento radiculares de milho, tanto das raízes de primeira ordem, como de segunda ordem são reduzidas exponencialmente em função do incremento de valores de resistência do solo à penetração. A redução do conteúdo de água do solo, medido pelo potencial matricial, favorece a redução linear na taxa de alongamento radicular desta cultura.

## REFERÊNCIAS

AGUILERA ESTEBAN, D. A. et al. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil and Tillage Research**, v. 187, n. October 2018, p. 60–71, 2019.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59–68, 2011a.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59–68, jan. 2011b.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation rate in two sandy loam soils. **Plant and Soil**, v. 131, n. 1, p. 59–66, 1991.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, n. March, p. 164–200, 2018.

BLILOU, I. et al. The PIN auxin efflux facilitator network controls growth and patterning in Arabidopsis roots. **Nature**, v. 433, n. 7021, p. 39–44, jan. 2005.

BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H.-P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 2, p. 401–442, 4 abr. 2015.

CHEN, G.; WEIL, R. R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 17–27, dez. 2011.

CLARK, L. J.; WHALLEY, W. R.; BARRACLOUGH, P. B. How do roots penetrate strong soil? **Plant and Soil**, v. 255, n. 1, p. 93–104, ago. 2003.

COLOMBI, T. et al. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – A vicious circle. **Science of The Total Environment**, v. 626, n. 6, p. 1026–1035, jun. 2018.

DERPSCH, R. et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological**

*Engineering*, v. 3, n. 1, p. 1–25, 2010.

FOY, C. D. **Limitations to Plant Root Growth**. New York, NY: Springer New York, 1992. v. 19

GREGORY, P. J. **Plant Roots: Growth, Activity and Interaction with Soils**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2006.

GREGORY, P. J. et al. Rhizosphere Engineering by Plants: Quantifying Soil–Root Interactions. In: TIMLIN, D.; AHUJA, L. R. (Eds.). . **Advances in Agricultural Systems Modeling Transdisciplinary Research, Synthesis, and Applications - Enhancing Understanding and Quantification of Soil–Root Growth Interactions**. volume 4 ed. Madison, USA: [s.n.]. v. 4p. 1–30, 2013.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121–145, 2005.

HEINEN, M.; MOLLIER, A.; DE WILLIGEN, P. Growth of a root system described as diffusion. II. Numerical model and application. **Plant and Soil**, v. 252, n. 2, p. 251–265, 2003.

KELLER, T. et al. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n. May, p. 104293, 2019.

LANDL, M. et al. A new model for root growth in soil with macropores. **Plant and Soil**, v. 415, n. 1–2, p. 99–116, 17 jun. 2017.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, *Advances in Soil Science*. v. 1, p. 277–294, 1985.

MIRREH, H. F.; KETCHESON, J. W. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 52, n. 3, p. 477–483, 1 out. 1972.

MIRREH, H. F.; KETCHESON, J. W. Influence of soil water matric potential and resistance to penetration on corn root elongation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 53, n. 4, p. 383–388, nov. 1973.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-

analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MORAES, M. T. et al. Mechanistic framework to link root growth models with weather and soil physical properties, including example applications to soybean growth in Brazil. **Plant and Soil**, v. 428, n. 1–2, p. 67–92, 2018.

MORAES, M. T. et al. Mechanical and Hydric Stress Effects on Maize Root System Development at Different Soil Compaction Levels. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 10, p. 1358, 29 out. 2019.

OTTO, R. et al. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 201–210, 2011.

POTOCKA, I.; SZYMANOWSKA-PUŁKA, J. Morphological responses of plant roots to mechanical stress. **Annals of Botany**, v. 45, n. Special\_Issue, p. 1721–1731, 17 fev. 2018.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821–828, maio 1999.

SCHMIDT, S. et al. Root elongation rate is correlated with the length of the bare root apex of maize and lupin roots despite contrasting responses of root growth to compact and dry soils. **Plant and Soil**, v. 372, n. 1–2, p. 609–618, 26 nov. 2013.

SOUZA, G. S. DE et al. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 135–146, 2014.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755–760, 2004.

TOMOS, D.; PRITCHARD, J. Biophysical and biochemical control of cell expansion in roots and leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. Special\_Issue, p. 1721–1731, 1994.

TRON, S. et al. Can diversity in root architecture explain plant water use efficiency? A modeling study. **Ecological Modelling**, v. 312, p. 200–210, 2015.

VALENTINE, T. A. et al. Soil strength and macropore volume limit root elongation



rates in many UK agricultural soils. **Annals of Botany**, v. 110, n. 2, p. 259–270, 2012.

VEEN, B. W.; BOONE, F. R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1–2, p. 219–226, abr. 1990.

VOETBERG, G. S.; SHARP, R. E. Growth of the Maize Primary Root at Low Water Potentials. **Plant Physiology**, v. 96, n. 4, p. 1125–1130, 1991.

WHALLEY, W. R.; BENGOUGH, A. G.; DEXTER, A. R. Water stress induced by PEG decreases the maximum growth pressure of the roots of pea seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 327, p. 1689–1694, 1 out. 1998.