

**INFLUÊNCIA DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO NA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE  
*Eugenia uniflora* L. (PITANGUEIRA)**

**Daiane Maria Melo Pazinato<sup>1</sup>**

**Anelise Marlene Schmidt<sup>1</sup>**

**Caroline Wagner<sup>1</sup>**

**Guilherme Pacheco Casa Nova<sup>1</sup>**

**RESUMO**

As condições ambientais podem influenciar a composição e produção dos metabólitos secundários, ocasionando maior ou menor capacidade antioxidante nas plantas. Neste trabalho foi avaliada a atividade antioxidante de *Eugenia uniflora* L. (pitangueira) presente em área de mineração de calcário, em comparação à atividade antioxidante de um espécime localizado em área natural (controle), através de dois métodos: complexação do fosfomolibdênio e o método de sequestro de radicais livres DPPH. Também foram investigados alguns parâmetros físico-químicos dos solos e das águas superficiais das regiões em estudo. O valor de pH do solo mostrou-se elevado na área de mineração ( $8,85 \pm 0,78$ ), fator este que causa mais impactos na nutrição vegetal que a acidez do solo da área controle ( $5,37 \pm 0,35$ ). Alguns elementos que são considerados essenciais para a nutrição vegetal, tais como, cobre, molibdênio, níquel e zinco, não foram detectados na área de mineração. A análise das águas superficiais indicou que a qualidade da água na área de controle é adequada, enquanto altos valores de pH, condutividade e dureza foram mensurados na área de mineração. A atividade antioxidante da planta localizada na área de mineração foi superior à da área controle. O maior percentual de atividade antioxidante observado foi de 96,55% para a planta na área de mineração de calcário, enquanto para a planta na área controle foi de 92,78%. A maior produção de compostos antioxidantes da planta da área de mineração pode ser explicada pela ausência ou déficit de alguns elementos minerais essenciais e pelo pH elevado, que afeta a disponibilidade de alguns nutrientes.

**Palavras-chave:** Mineradora; Alteração Ambiental; Solos; Plantas; Atividade Antioxidante.

**ABSTRACT**

**Antioxidant capacity of *Eugenia uniflora* L. (pitangueira) in response to the limestone mining environment.** Environmental conditions can influence the composition and production of secondary metabolites, causing greater or lesser antioxidant capacity in plants. In this work, the antioxidant activity of the leaves of *Eugenia uniflora* L. present in a mining area was compared with a control area. The antioxidant activity was analyzed by two methods: phosphomolybdenum complexation and the free radical sequestration method DPPH. In order to verify the quality of the soils where the plants were, the pH and the presence of some chemical elements were investigated. In the mining region there was no detection of some elements that are essential for plant nutrition: copper, molybdenum, nickel and zinc. The determination of the pH allowed to define the soil of the mining area as basic ( $8.85 \pm 0.78$ ), while that

---

<sup>1</sup> PPG em Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Caçapava do Sul, RS, Brasil. E-mail para correspondência: da.paz.melo@hotmail.com

of the control area was characterized as acid ( $5.37 \pm 0.35$ ). The high pH value in the mining area is a factor that causes more impacts on plant nutrition than the soil acidity of the control area. Surface waters analysis indicated that the water quality in the control area is adequate, while high values of pH, conductivity and hardness were detected in the mining area. The antioxidant activity of the plant located in the mining area was higher than that of the control area, which is not under the influence of mining activities. In the free radical sequestration method (DPPH) there was a significant difference between the different extracts. The highest percentage of antioxidant activity observed was 96.55% for the extract from the mining area, while for the control area it was 92.78%. The higher production of antioxidant compounds in the mining area plant can be explained by the absence or deficit of some essential mineral elements and the high pH, which affects the availability of some nutrients.

**Keywords:** Mining; Environmental Change; Soils; Plants; Antioxidant Activity.

## INTRODUÇÃO

As atividades de mineração geralmente causam impacto significativo ao meio ambiente, alterando a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo. Os impactos que ocorrem nestas áreas podem levar as plantas a condições de estresse, que como mecanismo de defesa alteram seu metabolismo (Ahmad et al., 2016; Alves et al., 2017).

Nas plantas, as respostas aos estímulos ambientais ocorrem através da ativação da produção de metabólitos secundários. Quando os vegetais estão sob estresse pode ocorrer a produção de radicais livres, que podem ser estabilizados ou desativados pelas defesas antioxidantes (Atoui et al., 2005). A eficácia da ação antioxidante desses compostos depende de sua concentração no vegetal, que além dos fatores genéticos, são influenciados pelas condições do ambiente (Alves et al., 2017).

A atividade antioxidante apresentada por vários vegetais, incluindo, frutos, folhas e sementes, está correlacionada ao seu teor de compostos fenólicos totais, tendo a espécie *Eugenia uniflora* comprovada ação antioxidante (Luzia et al., 2010; Vergara et al., 2016). Esta espécie pertence à família Myrtaceae e é popularmente conhecida como pitangueira. Seu cultivo é disseminado por vários países do mundo, inclusive no Brasil. Esta planta começou a ser estudada devido às propriedades benéficas à saúde atribuídas às folhas (Adebajo et al., 1989). Vários efeitos biológicos do extrato bruto de folhas de *E. uniflora* têm sido descritos na literatura, tendo destaque seu potencial antioxidante (Falcão, 2018).

Várias pesquisas comprovam a atividade antioxidante da espécie *Eugenia uniflora*, no entanto, estudos sobre estas plantas localizadas em áreas de mineração não são usuais. Assim, o trabalho teve como objetivo investigar a capacidade antioxidante de *E. uniflora* em área de mineradora de calcário considerando as possíveis influências das condições ambientais locais (Pazinato, 2017).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da Área de Estudo

As áreas em estudo estão situadas no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul (Figura 1) e fazem parte do Bioma Pampa, região zoogeográfica da província Pampeana da Serra do Sudeste. Esta região é caracterizada por uma fisionomia de transição, por apresentar um domínio fisionômico composto por um mosaico de formações herbáceo-arbustivas e florestais (Cordeiro e Hasenack, 2009).

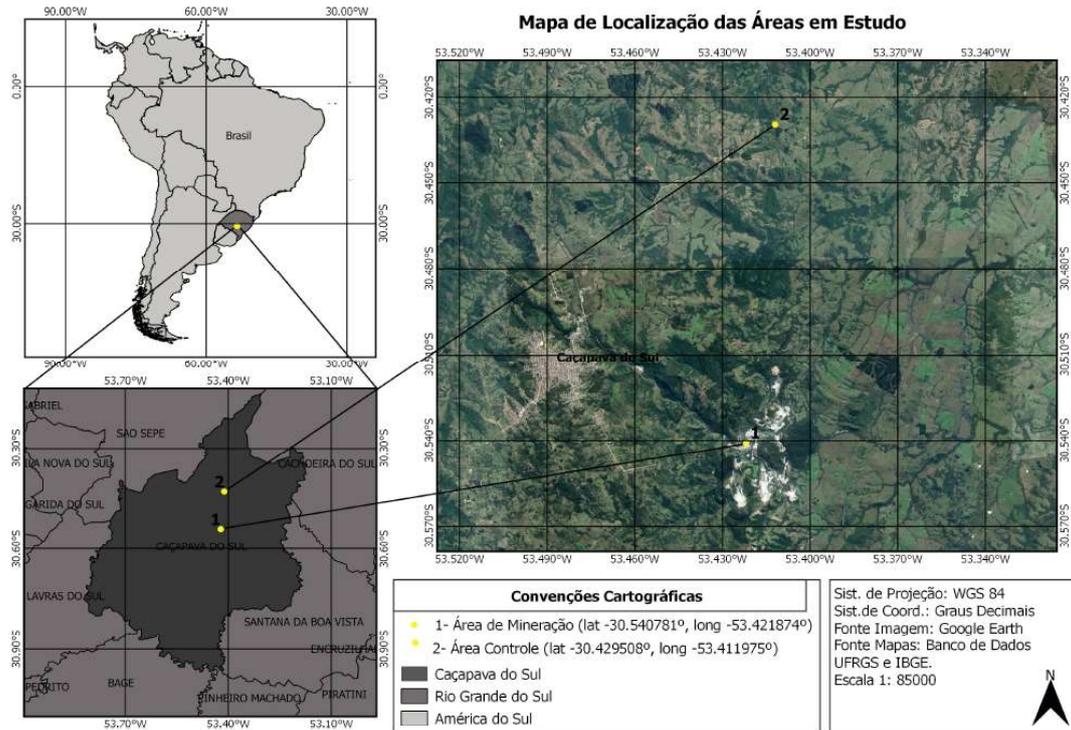


Figura 1. Mapa indicativo das áreas em estudo.

De acordo com Marchiori (2002), dentre as regiões fitoecológicas que compõem o Rio Grande do Sul, Caçapava do Sul está dentro da formação gramíneo lenhosa com matas de galeria. É uma região de clima temperado úmido, com temperaturas médias de 18°C e precipitação pluvial média de 1718 mm (IBF, 2020; IRGA, 2020).

A área de estudo onde está localizada a mineradora (53°42'18,74"O e 30°54'07,81"S) dista aproximadamente 9 km do centro de Caçapava do Sul (Figura 2), está assentada em metassedimentos do Complexo Metamórfico Vacacaí, representados por mármore dolomíticos impuros, como os descritos por Bortolotto (1987), bem como intercalações de silicatos que formam bandas entre partes de composição carbonática uniforme.

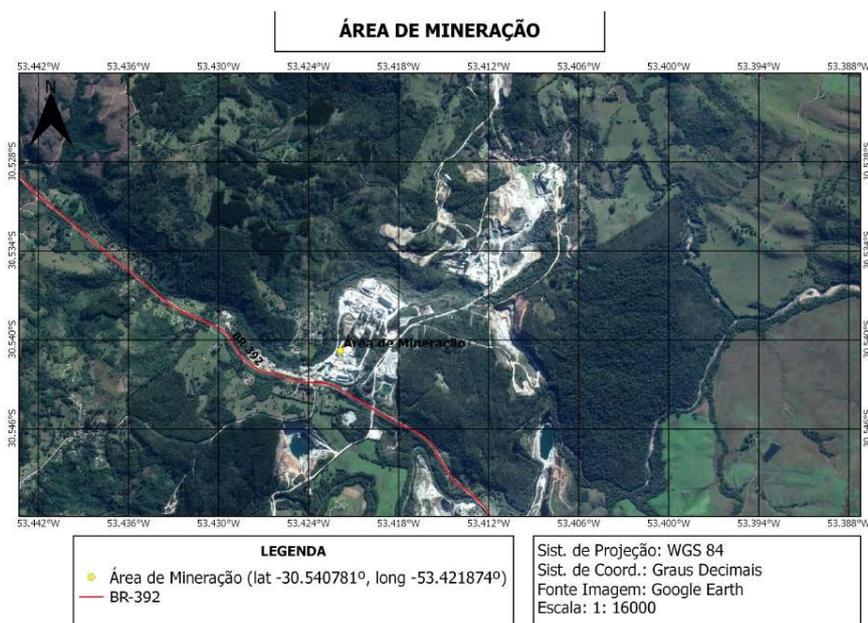


Figura 2. Mapa indicativo da área de mineração.

A região de vegetação da área controle (53°41'19,75"O e 30°42'9,08"S) fica distante da área de mineração cerca de 24 km (Figura 3), é uma área de mata nativa composta por vegetação arbórea e herbáceo-arbustivas.

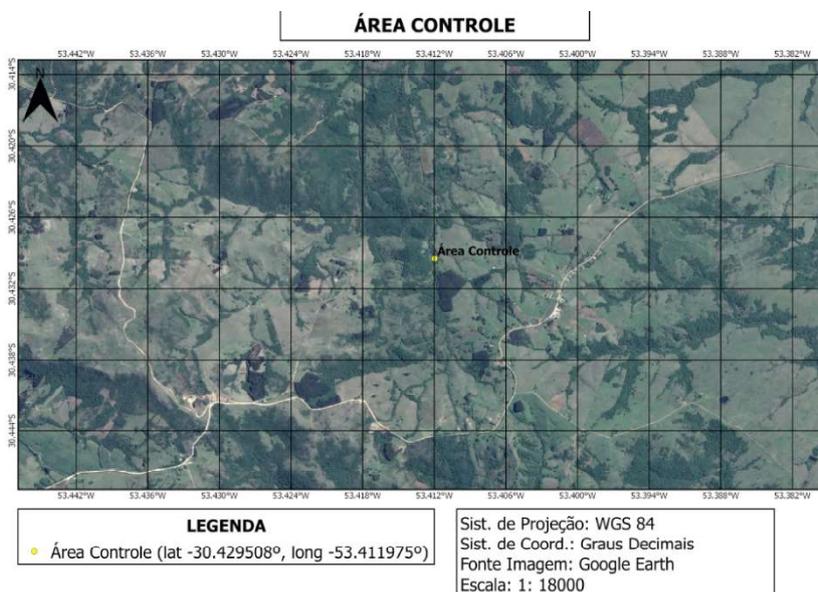


Figura 3. Mapa indicativo da área controle.

### Coleta de Amostras e Extratos Vegetais

No mês de janeiro de 2016 foram coletadas folhas de dois espécimes de *Eugenia uniflora* L., localizados em duas áreas distintas, uma dentro da empresa mineradora de calcário, próxima da bacia de decantação de efluentes de fábrica de cal, e outra em área sem influência das atividades de mineração (controle). As análises foram realizadas em apenas um espécime de *E. uniflora* na área de mineração, pois no local onde consideramos adequado para realizar a coleta havia somente um exemplar de pitangueira, apesar de haver vegetação variada. A planta controle escolhida possuía características físicas e condições ambientais similares (posição em relação ao sol, incidência de radiação e /ou sombreamento), e estava localizada em local distante da área de mineração.

As coletas foram realizadas no mesmo dia, em ambas as plantas. As folhas que não apresentavam danos estruturais visíveis foram selecionadas e em seguida foram lavadas com água destilada e secas em estufa em temperatura constante de aproximadamente 40°C. Após secagem, as folhas foram maceradas manualmente com auxílio de gral e pistilo. Os extratos etanólicos foram preparados a partir de 4 g de extrato seco das folhas maceradas e 150 mL de etanol utilizando um extrator Soxhlet, em um tempo de extração de 8 horas.

### Análises de Águas e Solos

Amostras de águas superficiais foram coletadas na bacia de decantação da fábrica de cal e em arroio localizado na área controle, pontos próximos de onde estavam inseridas as plantas. As coletas foram efetuadas no mesmo período de coleta das amostras vegetais.

Os parâmetros de qualidade da água analisados foram pH, condutividade, alcalinidade, cálcio, magnésio e dureza total. As medidas de pH e condutividade foram efetuadas em aparelhos de bancada logo após a coleta das amostras (APHA, 2012). A dureza, cálcio e magnésio foram analisados através de técnicas analíticas de volumetria de complexação e a alcalinidade total por volumetria de neutralização (APHA, 2012). Foram realizadas três medições de pH e condutividade e três análises químicas de cada amostra para reprodutibilidade dos resultados.

As amostras de solos foram coletadas próximo das raízes das plantas para a avaliação do pH e análise de alguns óxidos e elementos químicos, nas profundidades de 0-10 cm e 30-40 cm. Após a coleta, os solos foram secos em estufa a 40°C, triturados e peneirados a seco e foram efetuadas medidas de pH de solução destas amostras em água destilada (Tedesco, 1995). Para a detecção dos elementos presentes nos solos foi utilizado o Espectrômetro Portátil de Fluorescência de raio-X por Dispersão de energia (ED-XRF), da marca Bruker, modelo S1 turbo SD.

### Determinação da Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada por dois métodos, o de avaliação da atividade antioxidante total através da complexação do fosfomolibdênio (Prieto et al., 1999) e o de redução do radical livre DPPH (Brand-Willians et al., 1995).

No primeiro método, o complexo fosfomolibdênio foi adicionado a alíquotas dos extratos das folhas diluídas em etanol, obtendo-se concentrações de 13,3; 26,6; 66; 133 e 200 mg/L. A prova em branco foi obtida utilizando 100 µL de álcool etílico p.a.

As amostras foram levadas a banho-maria por 90 minutos a 95°C e após o resfriamento foi realizada leitura de absorbância a 695 nm em espectrofotômetro marca Bel photonics, modelo SP2000. Uma curva padrão foi obtida como referência utilizando como padrões soluções de ácido ascórbico em concentrações de 50, 75, 100, 150 e 200 µM.

Os resultados da avaliação da atividade antioxidante, pelo método do fosfomolibdênio, foram expressos na forma de atividade antioxidante relativa. Na fórmula utilizada para o cálculo (Equação 1), o ácido ascórbico foi considerado como 100% de atividade antioxidante (Balestrin et al., 2008).

$$\text{AAR\%} = \frac{\text{Abs (amostra)} - \text{Abs (branco)}}{\text{Abs (ácido ascórbico)} - \text{Abs (branco)}} \times 100 \quad (1)$$

\*Onde: AAR: Atividade Antioxidante Relativa; Abs: absorbância.

No método de redução do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila) uma curva de calibração foi construída a partir da solução etanólica de DPPH em diferentes concentrações (200, 150, 100, 50 e 10 µM), tendo o etanol como prova em branco.

Para a avaliação da atividade captadora do radical livre DPPH, foram empregadas alíquotas de 10, 50 e 100 µL do extrato das folhas, que correspondem à concentração final no ensaio de 133, 666 e 1333 mg/L, respectivamente. Em cada amostra acrescentou-se 50 µL de solução alcoólica de DPPH 10mM e

completou-se até volume final de 2 mL com etanol. Após 40 minutos de incubação à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, a redução do radical livre DPPH foi mensurada pela leitura da absorbância em 515 nm. Provas em branco foram obtidas pelos extratos nas suas respectivas diluições em etanol.

Um controle negativo foi feito pela adição de etanol e DPPH e o controle positivo foi feito pela adição de solução de um padrão de ácido gálico nas concentrações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30  $\mu\text{M}$  e DPPH. A capacidade antioxidante dos extratos foi expressa em equivalentes de ácido gálico.

A capacidade de eliminar o radical DPPH (% de atividade antioxidante) foi calculada utilizando-se a seguinte equação (Molyneux, 2004):

$$\%SRL = \frac{Ac - Aam}{Ac} \times 100 \quad (2)$$

\*Onde: SRL: Sequestro de Radicais Livres; Ac: Absorbância controle; Aam: absorbância da amostra.

A capacidade antioxidante dos extratos foi expressa em equivalentes de ácido gálico, tendo como base as absorbâncias medidas na curva padrão em seis concentrações diferentes (5, 10, 15, 20, 25 e 30  $\mu\text{M}$ ).

### Análise Estatística

Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio-padrão e as médias foram obtidas de três medições ou análises para cada amostra. Para a comparação das médias aritméticas, empregaram-se a análise de variância (Anova) e o teste de Tukey, usando o software Prisma 7.03 (GraphPad). Adotou-se o nível de significância de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS

### Análises Físico-químicas das Águas e Solos

A água da área controle apresentou caráter levemente ácido e a da área da mineração, caráter básico (Tabela 1). Os valores de dureza para a área controle indicam água moderada enquanto que a amostra da área da mineração é classificada como muito dura (Brasil, 2014). Os valores de condutividade também foram significativamente mais elevados para a área de mineração, o que está relacionado aos processos de dissolução e arraste de carbonatos (Schmidt, 2019).

**Tabela 1.** Análises das amostras de águas das áreas em estudo. Valores expressos como média  $\pm$  desvio-padrão.

	Área Controle	Área de Mineração
pH	6,70 $\pm$ 0,02	8,70 $\pm$ 0,02
Alcalinidade mg/L	40 $\pm$ 0,2	40 $\pm$ 0,2
Dureza mg/L CaCO <sub>3</sub>	85 $\pm$ 0,2	409 $\pm$ 0,2
Cálcio mg/L	16,03 $\pm$ 0,03	115,43 $\pm$ 0,03
Magnésio mg/L	10,94 $\pm$ 0,02	29,42 $\pm$ 0,02
Condutividade $\mu\text{s/cm}$	160 $\pm$ 0,2	742 $\pm$ 0,2

A tabela 2 apresenta os resultados da análise da composição dos solos (superficiais) pela difração de raio-X. A tabela 3, por sua vez, apresenta os valores de pH das amostras de solos em diferentes profundidades. Observa-se que o solo da área controle tem caráter ácido que se acentua com a profundidade enquanto que o solo da mineradora apresenta caráter básico que diminui com a profundidade.

**Tabela 2.** Elementos e compostos químicos identificados nas amostras de solos das áreas em estudo. Valores expressos como média  $\pm$  desvio-padrão; ND: não detectado.

Elemento	Área de Mineração Concentração (%)	Área Controle Concentração (%)
Cádmio (Cd)	0,17 $\pm$ 0,02	0,12 $\pm$ 0,03
Cloro (Cl)	0,02 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,03
Chumbo (Pb)	0,01 $\pm$ 0,01	ND
Cobalto (Co)	0,017 $\pm$ 0,02	0,3 $\pm$ 0,26
Cobre (Cu)	ND	0,1 $\pm$ 0,00
Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )	35,83 $\pm$ 1,40	29,13 $\pm$ 0,83
Dióxido de Titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,57 $\pm$ 0,15	1,11 $\pm$ 0,23
Estrôncio (Sr)	0,18 $\pm$ 0,27	0,003 $\pm$ 0,005
Molibdênio (Mo)	ND	0,01 $\pm$ 0,00
Níquel (Ni)	ND	0,07 $\pm$ 0,05
Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,42 $\pm$ 0,16	6,66 $\pm$ 0,26
Óxido de Cálcio (CaO)	2,37 $\pm$ 0,31	4,36 $\pm$ 0,5
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,85 $\pm$ 0,4	10,41 $\pm$ 1,81
Óxido de Magnésio (MgO)	2,5 $\pm$ 0,97	3,88 $\pm$ 0,71
Óxido de Manganês (MnO)	0,06 $\pm$ 0,02	0,26 $\pm$ 0,07
Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O)	2,64 $\pm$ 0,46	0,55 $\pm$ 0,15
Ródio (Rh)	0,17 $\pm$ 0,18	0,17 $\pm$ 0,14
Rubídio (Rb)	0,02 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,05
Vanádio (V)	ND	0,007 $\pm$ 0,011
Zinco (Zn)	ND	0,007 $\pm$ 0,005
Zircônio (Zr)	0,07 $\pm$ 0,06	0,026 $\pm$ 0,04
Material não identificado	47,10	42,76
TOTAL	100	100

**Tabela 3.** Valores de pH obtidos nas amostras de solos. Valores expressos como média  $\pm$  0,02.

Profundidade (cm)	Área controle (pH)	Área de Mineração (pH)
0-10	5,62	9,40
30-40	5,13	8,30

### Avaliação da Capacidade Antioxidante

A avaliação da capacidade antioxidante dos extratos de *E. uniflora* das diferentes amostras, foi realizada através do método fosfomolibdênio (Figura 4) e através do método de sequestro de radicais livres (DPPH) (Figura 5).

Nos resultados do método DPPH, obteve-se valores de 93,64% para a menor concentração do extrato e de 96,55% para a maior concentração na planta da área da mineradora, enquanto que para a planta da área controle obteve-se valores entre 89,81% e 92,78% (Figura 5).

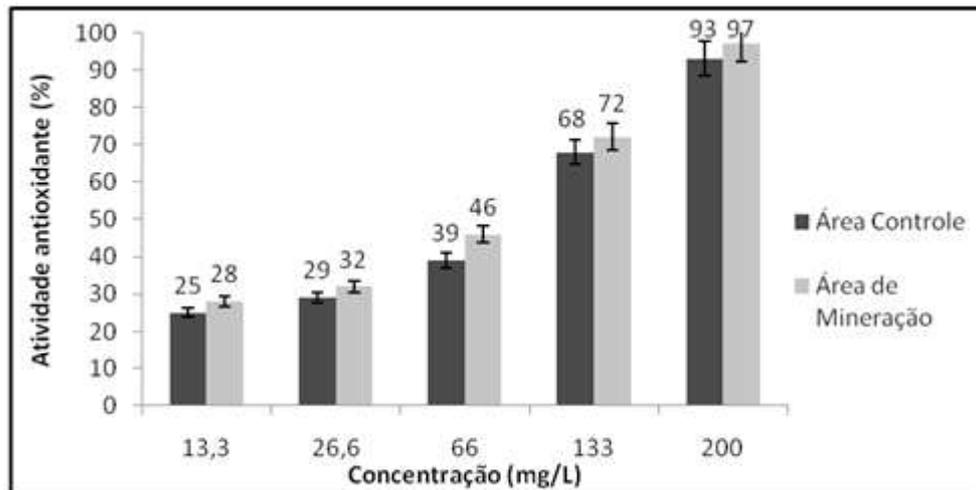


Figura 4. Atividade antioxidante de *Eugenia uniflora* através do método fosfomolibdênio.

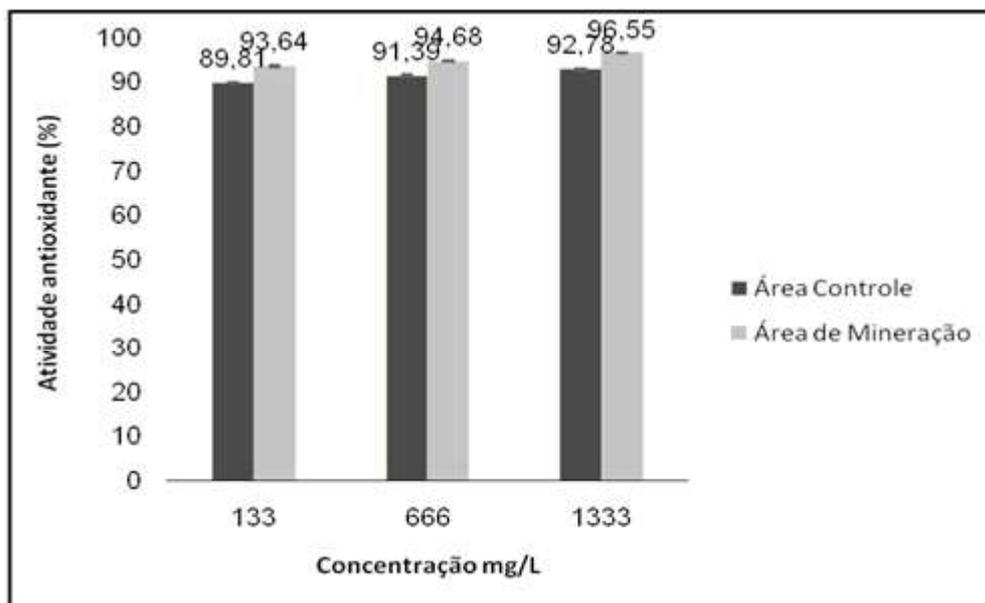


Figura 5. Atividade antioxidante de *Eugenia uniflora* através do método de sequestro de radicais livres (DPPH).

Nos dois métodos utilizados, observa-se maior capacidade antioxidante para a planta localizada em área de mineração, sendo que o método DPPH demonstrou maior significância ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSSÃO

As análises das águas indicaram uma alta condutividade da água na área de mineração que podem ser relacionados aos processos de dissolução e arraste de carbonatos, confirmados pelos altos valores de dureza e de cálcio.

As águas naturais mesmo consideradas “puras” contêm quantidades significativas de dióxido de carbono e de íons que são por ele produzidos, bem como cátions de cálcio e magnésio, além disso, o pH dessas águas raramente é igual a 7,0 (Baird e Cann, 2011). Na área controle, o pH da água esteve bem próximo desse valor, apresentando-se levemente ácida e de acordo com sua dureza pode ser classificada como moderada, já a água da área de mineração apresentou caráter básico e foi classificada como dura, conforme escala internacional de dureza. Na área de mineração a água foi coletada em bacia de decantação da fábrica de cal, contendo, portanto, carbonatos de cálcio e magnésio dissolvidos, o que confere o caráter básico.

Na área controle, todos os parâmetros analisados estão em conformidade com a literatura. Apesar do alto valor de cálcio e magnésio observado na água da mineradora, estes elementos não se apresentaram elevados no solo, sendo até mais expressivos na área controle, não sendo estabelecida uma correlação significativa entre águas e solos, o que poderia interferir na absorção do vegetal.

As plantas absorvem do solo, sem muita discriminação, todos os elementos químicos que se apresentam na forma disponível. Portanto, além dos elementos essenciais, as plantas absorvem outros elementos não essenciais que apresentam efeitos benéficos no seu desenvolvimento (Faquin, 2005). Porém, nem todos os elementos não essenciais são benéficos para as plantas.

Até o momento são reconhecidos 15 elementos minerais essenciais, que de acordo com a sua concentração, são classificados em macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (ferro, cloro, cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio, cobalto e níquel) (Castro et al., 2005). As diferenças na concentração dos elementos detectados nas duas áreas estudadas podem auxiliar no esclarecimento do diferencial encontrado na capacidade antioxidante da espécie, já que o suprimento inadequado de um elemento essencial pode provocar um distúrbio metabólico.

Os papéis específicos dos elementos essenciais não estão completamente elucidados, assim como, outros elementos não configurados como essenciais desempenham papéis relevantes para um adequado desenvolvimento das plantas. Pesquisas com o dióxido de titânio demonstraram que há influência positiva deste composto no crescimento e desenvolvimento vegetal (Yang et al., 2006), sendo que na área controle houve uma maior concentração deste composto que na área de mineração.

O cloro esteve presente em ambas as áreas, mas alguns dos elementos que são essenciais para as plantas não foram detectados na área de mineração, são eles: cobre, molibdênio, níquel e zinco. Esses micronutrientes são utilizados pelas plantas em pequenas quantidades, mas sua ausência, no entanto, pode acarretar problemas no metabolismo vegetal.

O cobre está envolvido em processos de oxidação e redução, entre as várias substâncias que possuem cobre estão as enzimas fenolase e lacase, que catalisam a oxigenação dos fenóis. A deficiência de cobre provoca redução na lignificação ao mesmo tempo em que se acumulam fenóis (Castro et al., 2005).

As necessidades quantitativas de molibdênio pelos vegetais estão entre as menores dentre todos os elementos essenciais conhecidos, mas a deficiência deste elemento promove mudanças metabólicas e no desenvolvimento vegetal. Sua essencialidade é justificada por ser componente de várias enzimas (Castro et al., 2005), incluindo a nitrato redutase e a nitrogenase, envolvidas na redução do nitrato e fixação do nitrogênio, respectivamente (Taiz e Zeiger, 2009).

O Níquel entra na composição da enzima urease, plantas deficientes em níquel acumulam ureia em suas folhas, resultando em necrose nos ápices foliares (Santos, 2019).

A deficiência de zinco pode provocar numerosas alterações metabólicas, particularmente na síntese de proteínas e no metabolismo de carboidratos, o zinco é um constituinte estrutural e também atua como ativador ou regulador de várias enzimas (Castro et al., 2005).

O cádmio foi observado nas duas áreas, mas em baixas concentrações. Este metal é considerado tóxico somente quando em altas concentrações e pode estar presente naturalmente nos solos em quantidades moderadas devido aos processos pedogenéticos ao longo do tempo (Alloway, 1995). O chumbo foi detectado somente no solo da região mineradora, apesar de ser um metal tóxico, esteve presente em baixa concentração.

O solo da área controle revelou teor mais alto de óxido de ferro III, o que está em conformidade com o caráter ácido. O ferro é um micronutriente essencial para as plantas, envolvido em vários processos fundamentais como fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio e síntese de DNA e hormônios (Sahrawat, 2004). Mesmo quando o solo apresenta elevada concentração de Fe, normalmente isto não traz danos às plantas, pois a maior parte desse nutriente encontra-se numa forma pouco disponível (Guerinot e Yi, 1994).

Os solos ácidos normalmente apresentam concentrações baixas de potássio, pois as perdas de bases são características do processo de acidificação dos solos (Luchese et al., 2002). Da mesma forma, o cálcio geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos, que são típicos do território brasileiro (Marschner, 2012).

Apesar de o solo da área controle ser ácido, este apresentou maiores teores de óxidos de cálcio do que na área de mineração, no entanto em concentrações menores do que o óxido de ferro.

Os níveis de pH controlam vários processos químicos que acontecem no solo, de acordo com Taiz e Zeiger (2009) a faixa ideal de pH para a maioria das plantas é entre 5,5 e 6,5, pois facilita a absorção da maior parte dos nutrientes.

A faixa de pH de 5 a 5,5 (área controle) apresenta uma maior disponibilidade para a maioria dos nutrientes quando em comparação com a faixa de pH em torno 8 (área de mineração), afetando a disponibilidade de nutrientes como fósforo, potássio, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco.

Os nutrientes afetam não somente o metabolismo primário, mas também influenciam a produção de diferentes metabólitos secundários (Gobbo-Neto e Lopes, 2007). Em solos pobres em nutrientes, paralelamente à menor taxa de crescimento, se verifica maior produção de metabólitos secundários (Gershenson, 1984; Coley et al., 1985).

As reações metabólicas na qual participam cada elemento essencial são muito variadas, mas toda deficiência mineral perturba o metabolismo e o funcionamento vegetal, o que pode estimular uma maior produção de compostos antioxidantes (Alves et al., 2017).

## CONCLUSÕES

Neste estudo, a planta localizada em área de mineração mostrou maior capacidade antioxidante do que a planta da área controle, nos dois métodos utilizados, sendo que o método de captura de radicais livres (DPPH) apresentou diferencial mais significativo, dados estes confirmados estatisticamente.

Alguns fatores ambientais, como o pH do solo e a presença ou ausência de alguns minerais podem interferir na nutrição e gerar estresse nas espécies vegetais, produzindo radicais livres, e em resposta, as plantas aumentam sua produção de compostos antioxidantes. Assim sendo, a maior capacidade antioxidante observada na planta localizada em área de mineração pode ser explicada pelo déficit ou até mesmo a ausência de alguns elementos minerais essenciais, como cobre, níquel, molibdênio e zinco, e pelo pH elevado, que afeta a disponibilidade de alguns nutrientes. Estudos futuros são necessários para que haja um maior esclarecimento sobre a atividade antioxidante de *Eugenia uniflora* sob influência de mineração de calcário, elucidando os demais fatores que podem vir a causar desequilíbrios nos vegetais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Dagoberto Barcellos por permitir as coletas de amostras; ao Prof. Dr. Julio Cesar Mendes Soares pelas sugestões ao desenvolvimento deste trabalho; ao Engenheiro Ambiental e Sanitarista Stener Camargo pela contribuição na obtenção dos extratos; à técnica Ângela Cristina Bertoi Fleck pelas análises da composição dos solos; ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral da Unipampa pelo apoio financeiro. E, por fim, agradecemos aos revisores anônimos.

## REFERÊNCIAS

- ADEBAJO, A. C.; OLOKI, K. J.; ALADESANMI, A. 1989. Antimicrobial activity of the leaf extract of *Eugenia uniflora*. **Journal of Phytotherapy Resource**, 3(6):258-259
- AHMAD, P. et al. 2016. Role of proteomics in crop stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, 7:1-14.
- ALLOWAY, B. J. 1995. Cadmium. In: B. J. Alloway (Ed.). **Heavy metals in soils**. 2. ed. London: Blackie Academic & Professional, p. 122-151.
- ALVES, L. R. et al. 2017. Fisiologia do estresse vegetal e metabolismo antioxidante de resposta. In: C. R. Bastos et al. (Coord.). **Tópicos especiais em Genética Aplicada**. Jaboticabal, SP: Funep, p. 21-32.
- APHA, American Public Health Association. 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, DC: APHA, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1426 p.
- ATOUI, A. K. et al. 2005. Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**, 89(1):27-36.
- BAIRD, C.; CANN, M. 2011. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 844p.
- BALESTRIN, L. et al. 2008. Contribuição ao estudo fitoquímico de *Dorstenia multiflora* Miquel (Moraceae) com abordagem em atividade antioxidante. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 18(2): 230-235.
- BORTOLOTTO, O. J. 1987. Petrografia dos mármore de Caçapava do Sul. **Ciência e Natura**, 9(9): 37-65.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology Research**, 28(1):25-30.

- BRASIL. 2014. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 112p.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; PERES, L. E. P. 2005. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 650p.
- COLEY, P. D.; BRYANT, J. P.; CHAPIN III, F. S. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. **Science**, **230**(4728):895-899.
- CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. 2009. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V. P. et al. (Ed.). **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, p. 285-299.
- FALCÃO, T. R. et al. 2018. Crude extract and fractions from *Eugenia uniflora* Linn leaves showed anti-inflammatory, antioxidant, and antibacterial activities. **BMC Complement Altern Med**, **18**(1):1-12
- FAQUIN, V. 2005. **Nutrição mineral de plantas**. Especialização (Curso de Pós-Graduação em Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, 186p.
- GERSHENZON, J. 1984. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. **Rec. Adv. Phytochem.**, **18**:273-320.
- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, **30**(2):374-381.
- GUERINOT, M. L.; YI, Y. 1994. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, **104**:815-820.
- IBF, Instituto Brasileiro de Florestas. 2020. Bioma Pampa. Disponível em: <[https://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa?utm\\_source=google-ads&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=biomas&keyword=%2Bbioma%20Bpampa&creative=320586884144&gclid=EAIAIQobChMIyfv3JfV7QIVCYGRCh2Hvg38EAYASAAEgLvB\\_D\\_BwE](https://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa?utm_source=google-ads&utm_medium=cpc&utm_campaign=biomas&keyword=%2Bbioma%20Bpampa&creative=320586884144&gclid=EAIAIQobChMIyfv3JfV7QIVCYGRCh2Hvg38EAYASAAEgLvB_D_BwE)>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- IRGA, Instituto Riograndense do Arroz. 2020. Médias Climatológicas. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. 2002. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 182p.
- LUZIA, D. M. M.; BERTANHA, B. J.; JORGE, N. 2010. Sementes de pitanga (*Eugenia uniflora* L.): potencial antioxidante e perfil de ácidos graxos. **Rev Inst Adolfo Lutz**, **69**(2):175-180.
- MARCHIORI, J. N. C. 2002. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistema de classificação**. Porto Alegre: EST, 118p.
- MARSCHNER, H. 2012. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 672p.
- MOLYNEUX, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. **Songklanakarin J. Sci. Technol.**, **26**(2):211-219.
- OLIVEIRA, G. L. S. 2015. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão. **Rev. Bras. Pl. Med.**, **17**(1):36-44.
- PAZINATO, D. M. M. 2017. **Capacidade antioxidante de *Eugenia uniflora* L. (pitangueira) em resposta ao ambiente de mineração de calcário**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 63p.
- PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. 1999. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. **Analytical Biochemistry**, **269**:337-341.
- SAHRAWAT, K. L. 2004. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal Plant Nutrition**, **27**:1471-1504.
- SANTOS, C. C. B. 2019. **Urease na reciclagem de nitrogênio em plantas e o papel do níquel como micronutriente essencial**. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Estadual de Campinas, 84p.

- 
- SCHMIDT, A. M. et al. 2019. Estudo geoquímico de águas e sedimentos provenientes de processos de lavras de calcário. In: H. C. SILVA (Org.). **E-book Engenharia Sanitária e Ambiental**. Ponta Grossa: Atena, p. 93-100.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2009. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 719p.
- TEDESCO, M. J. et al. 1995. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico de Solos, 5). 2. ed. Porto Alegre: Depto. de Solos da UFRGS, 174p.
- VERGARA, L. P. et al. 2016. Compostos bioativos em polpa de pitanga vermelha. In: 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2016, Gramado, RS, p.1-6.
- YANG, F. et al. 2006. Influences of nano-anatase TiO<sub>2</sub> on the nitrogen metabolism of growing spinach. **Biological Trace Element Research**, 110(2):179-190.