

# METAIS PESADOS E MICRONUTRIENTES NO SOLO E EM FOLHAS DE *Brachiaria decumbens* ÀS MARGENS DE RODOVIAS

## HEAVY METALS AND MICRONUTRIENTS IN SOIL AND IN LEAVES OF *Brachiaria decumbens* ON THE MARGINS OF HIGHWAYS

Aquiria Alvarenga PEREIRA<sup>1</sup>; Jácomo Divino BORGES<sup>2</sup>; Wilson Mozena LEANDRO<sup>3</sup>

1. Engenheira Agrônoma, Msc. em Agronomia, Universidade Estadual de Goiás -UEG, Anápolis, GO, Brasil. [aquria@bol.com.br](mailto:aquria@bol.com.br);  
2. Professor, Doutor, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos -, Departamento de Olericultura, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia, GO, Brasil - [jacomo.borges@gmail.com](mailto:jacomo.borges@gmail.com); 3. Professor, Doutor, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Departamento de Solos - UFG, Goiânia, GO, Brasil. [wilson-ufg@bol.com.br](mailto:wilson-ufg@bol.com.br).

**RESUMO:** A presente pesquisa objetivou avaliar os teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco no solo e nas folhas de *Brachiaria decumbens* Stapf., em áreas sob influência de rodovias com diferentes fluxos de veículos e em uma área testemunha, no Estado de Goiás. As áreas com essa gramínea localizavam-se às margens da BR-153, da GO-222 e no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP). Foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, e de folhas de *B. decumbens*, nos tratamentos BR-153, GO-222 e PEAMP (testemunha), com quatro repetições cada, e afastamentos de 10 m, 25 m e 40 m das rodovias (BR-153 e GO-222). Os valores resultantes das análises químicas foram submetidos à análise estatística. Os resultados obtidos indicam que os teores médios dos metais pesados e micronutrientes analisados não caracterizam a ocorrência de contaminação nesses ambientes em função dos mesmos. Na área testemunha os teores de alguns elementos analisados se equivalem aos obtidos nos tratamentos BR-153 e GO-222. O comportamento irregular dos teores médios dos elementos analisados no solo e nas folhas de *B. decumbens*, em todos os tratamentos, dificultou, em parte, definir melhor se suas origens são fontes naturais ou antropogênicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Brachiaria decumbens*. Contaminação do solo. Resíduos. Fitotoxicidade.

### INTRODUÇÃO

Há uma grande diversidade de substâncias fitotóxicas que entram na atmosfera, na água e no solo. Elas têm sua origem em diferentes locais, como processos industriais, uso e aplicação excessiva de fertilizantes e agentes químicos na agricultura, usos domésticos e, principalmente, o excesso do consumo dos combustíveis fósseis e o intenso tráfego de veículos. Essas substâncias tóxicas e altamente concentradas levam danos à vegetação e têm, na sua maioria, restrições especialmente a situações, como SO<sub>2</sub> e gases halógenos emitidos por indústrias que utilizam combustíveis fósseis; metalúrgicas e fábricas de cerâmicas; metais pesados e metalóides (elementos com propriedades intermediárias daqueles dos metais e não metais) provenientes de lixo e aterros sanitários; sais de gelo e gases de motores ao longo das estradas (LARCHER, 2004).

Metais pesados é um termo genérico aplicado a um grupo heterogêneo de elementos, incluindo metais, semi-metais (arsênio) e não metais (flúor e selênio). A característica comum entre esses elementos é que possuem peso específico maior que 5 g cm<sup>-3</sup> ou número atômico maior que 20 (MALAVOLTA, 1994). Os metais pesados possuem origens litogênicas e antropogênicas, sendo as primeiras

relacionadas às fontes geológicas, como resíduos de rochas e processo de intemperismo, indicando que esse teor natural pode estar relacionado ao material de origem. As fontes antropogênicas relacionam com as atividades humanas e podem atingir teores elevados, comprometendo a qualidade ambiental (CAMARGO et al., 2001).

No Brasil, há alguns levantamentos dos teores de metais pesados, porém não foram definidos, ainda, os níveis de referência desses elementos no solo que pudessem indicar uma possível contaminação, e conhecer suas concentrações naturais é um suporte para a definição desses padrões. A determinação das faixas de concentrações naturais, de acordo com as variáveis de solos, é útil na avaliação dos teores de metais pesados no solo, pois esses valores atuam como um indicativo para verificar se um solo está poluído ou alterado pelo uso antrópico (FADIGAS et al., 2002).

Segundo Moreira e Siqueira (2006), o aumento dos teores de metais pesados no solo ocorre de várias formas, principalmente através da adição de compostos, pesticidas e fertilizantes, rejeitos orgânicos e industriais, da mineralização e queima de combustíveis, irrigação e deposição atmosférica. Verifica-se, ao longo do desenvolvimento tecnológico mundial, uma contribuição crescente

dessas fontes de metais para o solo, o que resulta na poluição de extensas áreas e no avanço do impacto negativo desses sobre o meio ambiente.

A crescente utilização de transportes terrestres movidos a energias fósseis (óleo diesel e gasolina) tem provocado um aumento significativo da poluição ambiental a nível atmosférico, solo e águas subterrâneas. Durante a vida útil de uma estrada ocorre a produção de vários resíduos pela circulação de veículos que originam determinados compostos, com possibilidades de contaminar o ambiente. Esses compostos são resultados do tipo de combustível utilizado, desgaste dos componentes do veículo, desgaste de acessórios da estrada, degradação da superfície, manutenção da própria estrada e derramamentos de diferentes produtos que podem ocorrer (LEITÃO et al., 2000).

Os veículos são considerados como fontes substanciais de metais através do desgaste de pastilhas e discos de frenagem, borracha dos pneus, derramamento de gasolina e óleos lubrificantes e partículas liberadas por emissão (DAVIS et al., 2001; LOUGH et al., 2005). O aumento do número de veículos automotores circulando está entre os fatores de maiores poluentes provenientes de atividade antropogênicas. A avaliação das taxas de emissão originárias na combustão veicular em um túnel, nos Estados Unidos da América, detectou altos valores para os elementos cádmio, chumbo, cobre e zinco. Possivelmente, a origem do zinco, nos veículos, é resultante do desgaste de componentes dos freios, pneus e óleos lubrificantes. O cádmio e o cobre são provenientes, principalmente, do desgaste de freios, enquanto que o chumbo tem na gasolina sua principal fonte (LOUGH et al., 2005).

Com intuito de avaliar os teores de cádmio, chumbo, níquel e zinco no solo e em plantas e cabelos humanos, provenientes da poluição emitida pela queima de combustíveis de veículos automotores, às margens ao longo de quatro rodovias do Estado de São Paulo, Duarte e Paschoal (2000) detectaram, no solo, concentrações de cádmio, chumbo, níquel e zinco, em distâncias de afastamento variando de 10 m a 50 m e na profundidade de 0-20 cm, tendo concluído que as diferentes quantidades de veículos trafegando em cada rodovia podem influenciar no grau de contaminação e dispersão de metais pesados ao longo de rodovias, embora não tenham observado essa correlação devido a fatores externos, porém esses não foram especificados.

Ao analisar os teores de chumbo, cádmio, cobalto, cromo, níquel, ferro, alumínio, cobre, manganês e zinco, em solos urbanos na cidade de Teresina-PI, em áreas com perturbação humana ou não, Moura et al. (2006) obtiveram os maiores

teores de cobre, chumbo e zinco acumulado na superfície de solos em locais situados às margens de avenidas de grande tráfego de veículos, tendo atribuído esta ocorrência a fontes antrópicas.

Considerando-se que há a possibilidade de acúmulo de determinados metais pesados liberados no processo de combustão de motores de veículos e resíduos provenientes do aumento do tráfego e do desgaste de determinados componentes dos veículos no meio ambiente, particularmente no solo e em estruturas de plantas, o presente trabalho que possui características exploratórias, teve como objetivo avaliar os teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco no solo e nas folhas de plantas de *Brachiaria decumbens*, sob a influência de rodovias e em uma área testemunha, no Estado de Goiás.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas áreas cultivadas com *Brachiaria decumbens* Stapf., às margens de rodovias com diferentes fluxos de veículos e em uma área testemunha, praticamente sem fluxo de veículos. Nestes locais foram coletadas amostras de solo, e de folhas da gramínea forrageira para análises químicas. As áreas selecionadas estão localizadas no interior da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ribeirão João Leite, na bacia do Ribeirão João Leite (16° 29' 30,27" de latitude Sul e 49° 06' 58,68" de longitude W Gr.), no Estado de Goiás. Na escolha dos locais de coletas, foram selecionados aqueles com características semelhantes quanto ao solo, relevo e a gramínea em estudo.

O primeiro local selecionado foi um trecho às margens da BR-153, entre as cidades de Goiânia e Anápolis, caracterizada por ser uma rodovia com duplicada, pavimentada, com intenso fluxo de veículos e elevado tráfego de veículos de cargas pesadas (tratamento BR-153). O segundo local foi às margens da rodovia GO-222 (tratamento GO-222), pavimentada, pista simples, caracterizada pelo pequeno fluxo de veículos, na sua maioria veículos de passeio, entre as cidades de Anápolis e Nerópolis. As rodovias BR-153 e GO-222 foram construídas e pavimentadas há mais de 30 anos.

A área testemunha foi selecionada no interior do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (tratamento PEAMP), onde é mínimo o fluxo de veículo nas áreas de realização das coletas, limitando-se apenas à circulação de veículos para a realização da manutenção do local.

O clima predominante nos locais dessas áreas, conforme classificação de Köppen, é Tropical chuvoso, como Aw-savana, tendo o caráter sub-

úmido, com duas estações bem definidas, com a precipitação média anual variando de 1.500 mm a 2.000 mm (CONFLORA, 1998). Na bacia do Ribeirão João Leite ocorre grande variedade de solos. Nos locais de coletas das amostras, ocorre o Latossolo Vermelho, textura argilosa. Esses Latossolos são muito importantes para a região, pois ocupam grandes extensões e caracterizam-se como solos profundos, com boa drenagem (Oliveira, 1996).

A região na qual foi desenvolvida a pesquisa, que compreende parte dos municípios de Anápolis, Goiânia e Nerópolis, segundo CPRM (2001), é caracterizada pela presença de Estações anômalas em concentrado de bateia para arsênio, cromo, ilmenita, lantânio e rutilo; sedimentos de

corrente para arsênio, cobalto, cobre, cromo, níquel e zinco; e Zonas anômalas com o cobalto, cobre, cromo, itrio, latânio, níquel, zinco e vanádio. Desta forma, constata-se que seu solo é bastante influenciado pelo material de origem, dificultando discernir, pelas informações resultantes desta pesquisa, quanto aos teores dos metais pesados e micronutrientes avaliados, se estes são provenientes de fontes naturais ou antrópicas.

A caracterização química do solo nas áreas dos tratamentos, referentes ao pH, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC) e aos elementos fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio, encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores gerais de pH, matéria orgânica (MO) e capacidade de troca catiônica (CTC), e teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio no solo, nas áreas dos tratamentos BR-153 e GO-222, às margens das rodovias BR-153 e GO-222, respectivamente, e PEAMP, no Parque Estadual Altamiro Moura Pacheco (PEAMP), no Estado de Goiás. 2008.

Tratamento	Valor	pH (CaCl <sub>2</sub> )	MO (dag dm <sup>-3</sup> )	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg	Al	CTC
BR-153	Médio	5,10	2,73	1,36	55,25	2,40	0,63	0,19	6,64
GO-222	Médio	4,82	3,53	1,36	46,54	1,79	0,54	0,25	6,99
PPEAMP	Médio	5,00	2,84	1,32	66,12	2,17	1,46	0,10	7,22
Média geral <sup>(1)</sup>		4,97	3,09	1,36	53,07	2,11	0,71	0,20	6,88

<sup>1</sup> Média geral das 56 amostras de solo coletadas em todos os pontos amostrais.

Foram coletadas amostras do solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, e de folhas de *B. decumbens*, nos três tratamentos, em quatro pontos (repetições), com distâncias variáveis entre si. Nas margens das rodovias, a partir de cada um dos quatro pontos determinados, considerando-se o sentido perpendicular à rodovia, foram selecionados locais das coletas a 10 m, 25 m e 40 m de afastamento, tendo como referência o término lateral do pavimento asfáltico da pista de rolagem. Em cada ponto de coleta foram anotadas as coordenadas geográficas obtidas com a utilização de um equipamento do tipo GPS (Global Positioning System), que possibilitou defini-los com maior precisão.

Foram obtidas 48 amostras de solo nos pontos amostrais dos tratamentos BR-153 e GO-222, e oito amostras nos pontos amostrais do tratamento PEAMP, totalizando 56 amostras compostas. Cada amostra composta foi obtida a partir de cinco amostras simples. Foram coletadas 28

amostras compostas de folhas de *B. decumbens*, nos mesmos pontos amostrais de coleta do solo. As amostras foram colocadas em embalagens plásticas, identificadas, lacradas e transportadas para o Laboratório de Análises de Solos e Foliar da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia, GO.

As análises químicas para obtenção dos teores de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, chumbo e níquel, no solo e nas folhas de *B. decumbens*, foram realizadas conforme as metodologias de análises estabelecidas pela Embrapa (1997).

A análise química do solo consistiu em uma seqüência de rotinas para a determinação dos elementos químicos. Essa rotina consistiu em prática de extração do elemento da solução de terra fina seca ao ar (TFSA), via extratores químicos, e posterior determinação do seu teor, utilizando uma técnica analítica adequada. Os teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco, foram

determinados utilizando-se a espectrofotometria de absorção atômica, tendo como extrator o Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N). O processo consistiu em utilizar 5 ml de TFSA, adicionar 50 ml da solução de Mehlich-1, deixando em repouso. Após esse procedimento, foi utilizado o sobrenadante para a leitura dos teores dos elementos no espectrofotômetro de absorção atômica. No momento de realizar a leitura, para cada elemento, foi selecionada a lâmpada adequada e realizada a leitura dos padrões.

A rotina de preparação das folhas consistiu em lavagem, secagem e colocadas na estufa. Após a secagem, o material foi moído, peneirado e acondicionado. O extrato foi obtido com a solução nitro-clórica e utilizado para determinar os teores dos metais pesados. A determinação dos teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco nas folhas das plantas de *B. decumbens* ocorreram através da espectrofotometria de absorção atômica.

Para a análise estatística dos valores dos metais pesados e dos micronutrientes analisados no solo e nas folhas de *B. decumbens*, nos tratamentos, foram usados os programas SAS, R e EInsight.

Os valores médios obtidos foram analisados através da estatística descritiva objetivando verificar o comportamento dos elementos quanto aos teores

médios, máximos e mínimos em cada tratamento. Realizou-se a análise de variância e aplicou-se o teste de Tukey, para verificar se as diferenças encontradas entre os valores médios dos tratamentos BR-153 e GO-222, nos pontos com diferentes afastamentos das rodovias e nas profundidades de coleta (solo) apresentavam significância entre si. Nos valores obtidos na área testemunha (PEAMP) não foi aplicado o teste de Tukey.

Aplicou-se, de forma complementar, a técnica da Análise de Componentes Principais (PCA) (análise multivariada) e o programa EInsight nos valores médios calculados. A PCA tem como finalidade a redução de dados, através de combinações lineares das variáveis originais, sendo um método exploratório que auxilia na elaboração de hipóteses gerais a partir de dados coletados. De acordo com Sena et al. (2000), esta técnica tem sido usada no estudo de contaminação de solos por metais pesados e outros poluentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco analisados no solo, referentes aos tratamentos BR-153, GO-222 e PEAMP, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Teores médios gerais de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco, no solo dos tratamentos BR-153, GO-222 (10 m, 25 m e 40 m de afastamento) e profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) e PEAMP (profundidades), no Estado de Goiás. 2008.

Tratamento	Valor	mg dm <sup>-3</sup>							
		Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
BR-153	Médio <sup>(1)</sup>	0,19a	0,69a	1,00a	0,23a	43,42a	37,65a	1,58a	2,05a
	Mínimo	0,10	0,60	0,10	0,10	17,00	10,70	1,10	0,90
	Máximo	0,30	0,80	3,70	0,40	101,90	96,00	2,80	3,80
	CV	24,00	10,11	93,33	38,23	51,96	66,26	26,71	41,30
GO-222	Médio	0,19a	0,68a	0,63a	0,17a	51,88a	44,52a	2,45a	2,20a
	Mínimo	0,10	0,60	0,01	0,10	29,60	16,50	1,50	1,50
	Máximo	0,30	0,80	2,60	0,30	90,10	77,00	3,90	3,90
	CV	23,92	8,66	128,97	42,12	30,49	39,37	25,45	31,03
PEAMP	Médio	0,19	0,66	0,11	0,14	76,81	44,61	2,98	3,39
	Mínimo	0,10	0,60	0,01	0,10	42,10	24,60	2,10	2,10
	Máximo	0,30	0,70	0,40	0,20	170,60	84,70	3,80	8,00
	CV	24,18	7,81	110,79	37,64	55,24	42,40	21,54	57,47
Média geral <sup>(2)</sup>		0,19	0,68	0,71	0,20	51,82	41,59	2,15	2,30

<sup>1</sup>Valores médios dos tratamentos BR-153 e GO-222 seguidos da mesma letra na coluna, não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey, a 5%; <sup>2</sup>Média geral das 56 amostras de solo coletadas em todos os pontos amostrais.

Os valores dos Coeficientes de Variação indicam uma elevada amplitude nos teores dos micronutrientes e metais pesados analisados no solo, sugerindo que podem estar relacionados com as características peculiares nos locais de coleta, às

margens de rodovias, onde, possivelmente, há a influência de diferentes fatores como fertilizantes, poluentes diversos, material de origem, deposição de resíduos pelo vento e enxurrada e outros. Estes resultados eram esperados, pela natureza dos

materiais coletados, em ambientes com características bastante heterogêneas.

No tratamento BR-153 há a tendência de maiores teores médios para os elementos cobre, cromo e chumbo, enquanto que no tratamento GO-222 essa tendência foi observada para o ferro, manganês, níquel e zinco. Comparando os teores, em ambos os tratamentos, com os teores analisados no tratamento PEAMP, verifica-se que os elementos com tendência de maiores teores no tratamento GO-222, também foram observados com maiores concentrações médias no PEAMP.

O cádmio apresentou comportamento semelhante nos três tratamentos, com teores médios de  $0,19 \text{ mg dm}^{-3}$ . Esperava-se que no solo do tratamento BR-153 mais sujeito à deposição de grande quantidade de gases resultante da queima de combustíveis, teria os maiores teores de cádmio e que estes não deveriam ser inferiores ao teor médio de ocorrência natural, no entanto, os teores médios encontrados nesse ambiente antropizado não indicam esse comportamento.

No tratamento BR-153 há a tendência de maiores teores médios para os elementos cobre, cromo e chumbo, enquanto que no tratamento GO-222 essa tendência foi observada para o ferro, manganês, níquel e zinco. Comparando os teores, em ambos os tratamentos, com os teores analisados no tratamento PEAMP, verifica-se que os elementos com tendência de maiores teores

O maior teor médio de chumbo, foi detectado no tratamento BR-153 ( $0,69 \text{ mg dm}^{-3}$ ), porém não difere estatisticamente dos teores nos tratamentos GO-222 ( $0,68 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e PEAMP ( $0,66 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Segundo Duarte (2003), em análises de amostras de solos às margens de rodovias do eixo Rio de Janeiro - São Paulo foi detectado que o chumbo, de alguma maneira, estava acumulando-se nos pontos pesquisados. Ele ressalta que, mesmo existindo Legislação sobre o uso de aditivos em combustíveis no Brasil, os resultados de sua pesquisa indicam um grau significativo de contaminação local por este metal pesado, tanto para a variável distância de afastamento da rodovia como em relação à profundidade de coleta das amostras de solo. Com base nessas informações, esperava-se a ocorrência de teores de chumbo disponíveis mais elevados no tratamento BR-153, em relação aos tratamentos GO-222 e PEAMP, porém, isto não foi constatado.

O maior teor médio absoluto de cobre foi detectado no tratamento BR-153 ( $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), a 10 m de afastamento da rodovia, e profundidade de 0-10 cm, sendo que Sousa & Lobato (2004) consideram altos os teores de cobre maiores que  $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ . Comparando seus teores neste tratamento

com os obtidos nos tratamentos GO-222 ( $0,63 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e PEAMP ( $0,11 \text{ mg dm}^{-3}$ ), observa-se que, provavelmente, há uma fonte antrópica ou natural influenciando seus teores no tratamento BR-153, pois, de acordo com Malavolta (2006), além da sua origem natural, o cobre possui várias outras fontes, entre elas a deposição atmosférica.

Os maiores teores de cromo foram detectados no tratamento BR-153 ( $0,23 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Apesar dos teores médios de cromo neste tratamento serem mais elevados que nos outros tratamentos, provavelmente em função de alguma fonte antrópica e, ou, natural interferindo na concentração deste metal pesado, não é possível afirmar que seus teores estejam causando malefícios ambientais.

No tratamento PEAMP foi detectado o maior teor médio de ferro no solo. Normalmente, os Latossolos possuem elevados teores de óxidos de ferro, o que justifica os altos teores médios deste elemento obtidos nos tratamentos BR-153 ( $43,42 \text{ mg dm}^{-3}$ ), GO-222 ( $51,88 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e PEAMP ( $76,81 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

Os teores médios de manganês no solo encontrado nesse trabalho foram 37,62, 44,52 e 44,61  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente, nos tratamentos BR-153, GO-222 e PEAMP. Para Malavolta (2006), todo o manganês presente no solo vem praticamente das rochas que lhe deram origem, e seu teor reflete sua concentração na rocha.

No solo do tratamento PEAMP (testemunha) foi obtido o maior teor médio de níquel ( $2,98 \text{ mg dm}^{-3}$ ), enquanto que seus menores teores médios foram verificados no tratamento BR-153 ( $1,58 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Os elevados teores de níquel observados por Duarte (2003) em solos às margens de Rodovia, no Estado de São Paulo, sugerem que sua disponibilização na atmosfera ocorreu através da queima de combustíveis e óleos usados nos milhares de veículos que trafegam por aquela rodovia diariamente, acumulando-se gradativamente no solo, o que não foi confirmado nesta pesquisa, apesar de Malavolta (2006) citar que a queima de combustíveis fósseis e de óleos residuais é a principal fonte antropogênica de níquel.

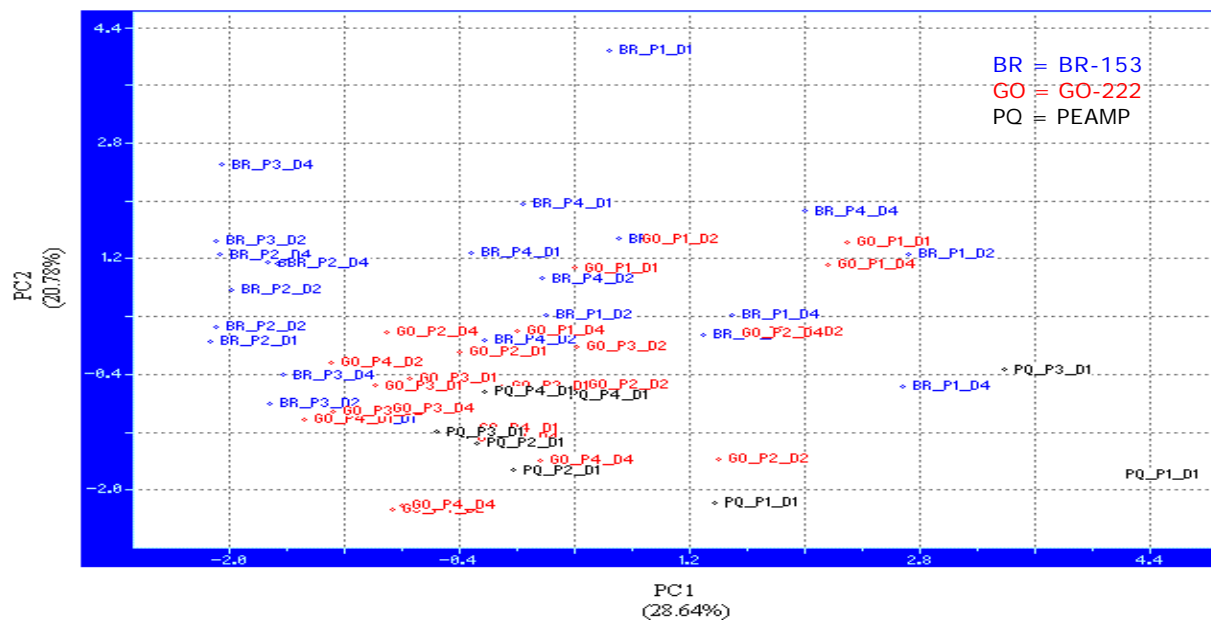
Os teores médios de zinco não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, porém constatou-se que estes foram altos, tendo sido de  $2,05 \text{ mg dm}^{-3}$  (BR-153),  $2,20 \text{ mg dm}^{-3}$  (GO-222) e  $3,39 \text{ mg dm}^{-3}$  (PEAMP). Provavelmente, estes teores derivam da concentração do material de origem, pois, independente das características de cada tratamento, os teores de zinco analisados estão acima de seu limite em solo de Cerrado, de acordo com Sousa & Lobato (2004).

A Análise de Componente Principal (PCA) teve como objetivo indicar se havia tendência dos teores dos micronutrientes e metais pesados se concentrarem mais nos solos do tratamento BR-153, comparados com os resultados dos tratamentos GO-222 e PEAMP, ou seja, se havia indicação das concentrações destes elementos terem sido influenciadas por fontes naturais ou antropogênicas.

Foram consideradas 56 amostras de solos (escores), das quais foram analisadas oito variáveis (*loadings*) que geraram sete componentes principais. Essas componentes principais explicam 97,21% da variância total dos valores em função dos três tratamentos e das oito variáveis estudadas.

Segundo Moura et al. (2006), as primeiras componentes principais explicam a maior parte da variância total existente no conjunto de dados e podem ser usadas para representá-lo. Esta informação foi comprovada nesta análise, pois a PC1 (28,64 %) e a PC2 (20,78 %) juntas, somam 49,42% da variação, ou seja, há indicação de que estas duas PCs são responsáveis pela maior tendência de variação da matriz estudada.

A Figura 1 apresenta os escores entre a PC1 e a PC2, discriminando os grupos de acordo com os tratamentos e o posicionamento no plano cartesiano.



**Figura 1.** Distribuição dos escores das Componentes Principais (PC1 x PC2) no plano cartesiano, indicando os pontos amostrais de solo dos tratamentos BR-153, GO-222 e PEAMP.

O eixo horizontal (PC1) dos escores não revela informações relevantes sobre a variância dos dados, enquanto que o eixo vertical (PC2) indica uma tendência na formação de dois grupos de pontos amostrais, sendo um com a contribuição principal do tratamento BR-153, se concentrando do lado positivo do eixo, e outro grupo, em sua maior parte formado pelos pontos amostrais do tratamento GO-222, se concentrando no lado negativo deste eixo. Os pontos amostrais do tratamento PEAMP estão dispersos no grupo do tratamento GO-222.

Os *loadings* (variáveis) das PCs formadas são representados por pesos, que são valores que variam de + 1 a - 1, e estes indicam a contribuição de cada variável. O posicionamento dos *loadings* obtidos entre as PC1 e PC2 mostra a contribuição das variáveis (micronutrientes e metais pesados) na

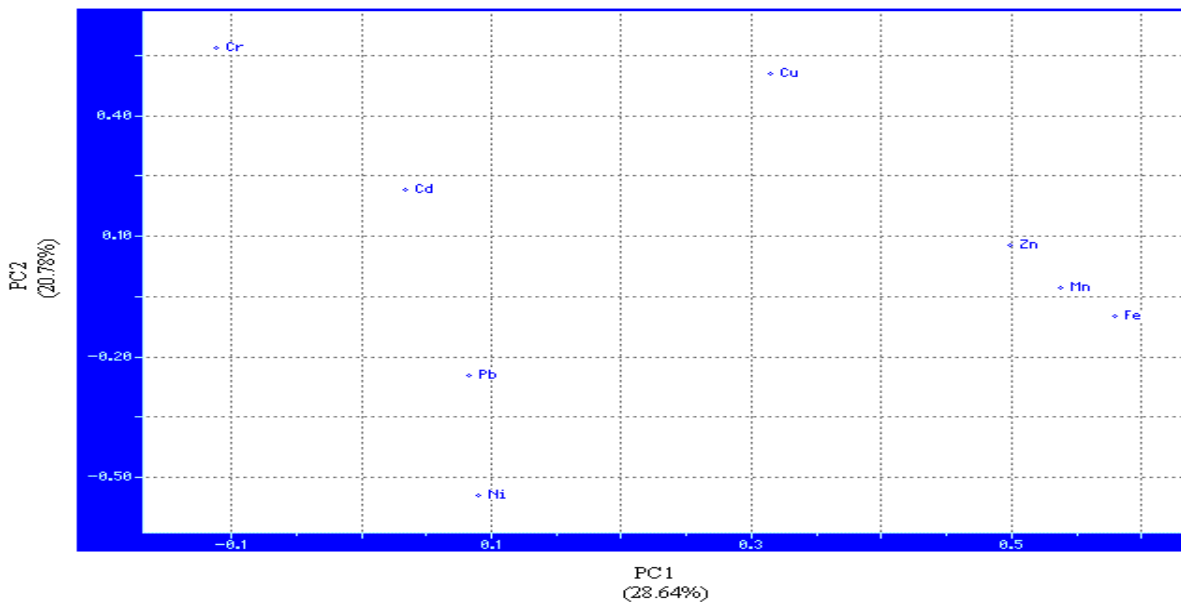
tendência da formação dos grupos de acordo com as amostras (Figura 2).

A figura dos *loadings* mostra que o eixo horizontal (PC1) não contribuiu para a formação de nenhum grupo específico, ou seja, todos os pontos amostrais de solo estão dispersos neste eixo. Entretanto, é possível perceber que neste eixo estão os maiores pesos para os elementos ferro, zinco e manganês e indicando, assim, os seus maiores teores.

Analisando o eixo vertical (PC2), as variáveis com maior contribuição foram o cobre, cromo e cádmio. O chumbo e o níquel posicionam-se na situação apostada, contribuindo para a caracterização negativa da PC2. Na PC2 há a tendência de formar dois grupos, o primeiro tendo como contribuição principal as informações do tratamento BR-153, pois a maioria dos pontos

amostrais deste tratamento ocupou a parte positiva do eixo, indicando a ação de fonte antrópica,

enquanto que o segundo grupo está formado pelos pontos do tratamento GO-222, na parte inferior.



**Figura 2.** Posicionamento dos *loadings* das Componentes Principais, PC1 versus PC2, no plano cartesiano, indicando a distribuição de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco analisados nos diferentes tratamentos.

Verifica-se, através da PC2 (vertical) os maiores pesos para o cobre, cromo e cádmio, e as disposições destes no eixo coincidem com a maioria dos pontos amostrais do tratamento BR-153, enquanto que o chumbo e o níquel coincidem com os pontos dos tratamentos GO-222 e PEAMP, e esses elementos possuem pesos consideráveis, com tendência de terem suas maiores concentrações nesses tratamentos. Esta distribuição no eixo vertical (PC2), que explica 20,78% da variância total, indica que as concentrações do cobre e do

cromo podem estar sendo influenciadas por fontes antropogênicas, ou seja, a PC2 pode indicar uma tendência da contribuição antropogênica no ambiente solo.

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os teores médios de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco, analisados nas folhas de *B. decumbens*, correspondentes aos tratamentos e afastamento em distâncias dos pontos amostrais nas rodovias.

**Tabela 3.** Teores médios gerais de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco nas folhas de *Brachiaria decumbens* em áreas de pastagem dos tratamentos às margens das rodovias BR-153 e GO-222 e no Parque Estadual Altamiro Moura Pacheco (PEAMP).

Tratamento	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
BR-153	0,11a <sup>(1)</sup>	0,20a	6,17a	0,20a	772,30a	75,83a	0,22a	18,99a
GO-222	0,12a	0,21a	4,75b	0,22a	1.137,40b	109,08b	0,20a	19,09a
PEAMP <sup>2</sup>	0,12	0,20	2,25	0,27	541,00	81,50	0,20	16,82

<sup>1</sup> Valores médios dos tratamentos BR-153 e GO-222 seguidos da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey, a 5%.

Verifica-se que os maiores teores médios de cobre e níquel foram obtidos em folhas de *B. decumbens* do tratamento BR-153, no entanto, o chumbo, ferro, manganês e zinco tiveram seus maiores teores no tratamento GO-222 e o cromo no tratamento PEAMP. Constatou-se que houve

diferença significativa, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, para os teores médios gerais de cobre, manganês e ferro nos tratamentos BR-153 e GO-222 (Tabelas 3) e para o cobre e manganês (Tabelas 4) nas distâncias de afastamentos dos pontos amostrais.

**Tabela 4.** Teores médios de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco nas folhas de *Brachiaria decumbens*, em áreas de pastagens, nos tratamentos BR-153 e GO-222 (distâncias 10 m, 25 m e 40 m de afastamento), no Estado de Goiás. 2008.

Distâncias	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
10 m	0,11a <sup>(1)</sup>	0,20a	6,37a	0,19a	42,25a	107,25a	0,22a	19,39a
25 m	0,10a	0,19a	4,87b	0,21a	982,25a	88,00b	0,22a	19,12a
40 m	0,12a	0,22a	5,12a	0,22a	1.040,00a	82,12a	0,19a	18,61a

<sup>1</sup>Valores médios das distâncias de afastamento, seguidos da mesma letra na coluna, não apresentam diferenças estatísticas entre si, pelo teste Tukey, a 5%.

Os teores de cádmio e de chumbo encontrados nesta pesquisa nas folhas de *B. decumbens* variaram de 0,10 a 0,30 mg kg<sup>-1</sup>, o cádmio teve o seu maior teor médio (0,12 mg kg<sup>-1</sup>) nos tratamentos GO-222 e PEAMP, e o chumbo (0,21 mg kg<sup>-1</sup>) no tratamento GO-222.

Os teores médios de cobre nas folhas desta gramínea forrageira apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, e entre as distâncias de afastamentos dos pontos amostrais, nos tratamentos BR-153 e GO-222 (Tabela 3). Os maiores teores médios de cobre foram no tratamento BR-153 (6,17 mg kg<sup>-1</sup>), e afastamento a 10 m de distância (6,37 mg kg<sup>-1</sup>). Os teores de cobre são considerados adequados para as condições do Cerrado, de acordo com Sousa & Lobato (2004), que determinam seus teores variando entre 4,0 e 12,0 mg kg<sup>-1</sup>.

No tratamento PEAMP foi obtido o maior teor médio de cromo nas folhas das plantas de *B. decumbens* (0,27 mg kg<sup>-1</sup>) e, observando todos os tratamentos, estes variaram de 0,1 a 0,3 mg kg<sup>-1</sup>, que podem ser considerados normais em tecidos vegetais.

Detectou-se o maior teor médio de ferro (1.137,40 mg kg<sup>-1</sup>), em folhas de *B. decumbens* do tratamento GO-222. Em geral, os teores deste elemento nas folhas variaram de 470 a 2.312 mg kg<sup>-1</sup>, sendo considerados acima dos teores indicados como concentração ideal, que varia de 50 a 250 mg kg<sup>-1</sup>, de acordo com Sousa & Lobato (2004).

Há diferença significativa para os teores médios de manganês nas folhas entre os tratamentos BR-153 e GO-222 e, também, entre as distâncias de afastamentos dos pontos amostrais nas rodovias. No tratamento GO-222 obteve-se o maior teor de manganês, que foi de 109,08 mg kg<sup>-1</sup>. Sousa e Lobato (2004) recomendam teores de manganês variando de 40 a 250 mg kg<sup>-1</sup>, assim sendo, os teores avaliados nesta pesquisa são considerados adequados para esta espécie forrageira.

Nas folhas, as concentrações de níquel podem variar de 0,30 a 3,50 mg kg<sup>-1</sup>, na matéria seca, dependendo da espécie e de sua parte

amostrada (Sousa & Lobato, 2004). Nas folhas de *B. decumbens*, analisadas na presente pesquisa, os teores de níquel variaram de 0,10 mg kg<sup>-1</sup> a 0,30 mg kg<sup>-1</sup>, e seu maior teor médio foi de 0,22 mg kg<sup>-1</sup>, obtido no tratamento BR-153.

No tratamento GO-222 ocorreu o maior teor médio de zinco nas folhas de *B. decumbens* (19,09 mg kg<sup>-1</sup>), tendo este elemento sido detectado no intervalo de 16,2 a 21,9 mg kg<sup>-1</sup>. Seus teores estão em concentrações adequadas para esta forrageira, de acordo com Sousa E Lobato (2004), que indicam sua variação, nestas estruturas da planta, entre 20,0 e 50,0 mg kg<sup>-1</sup>.

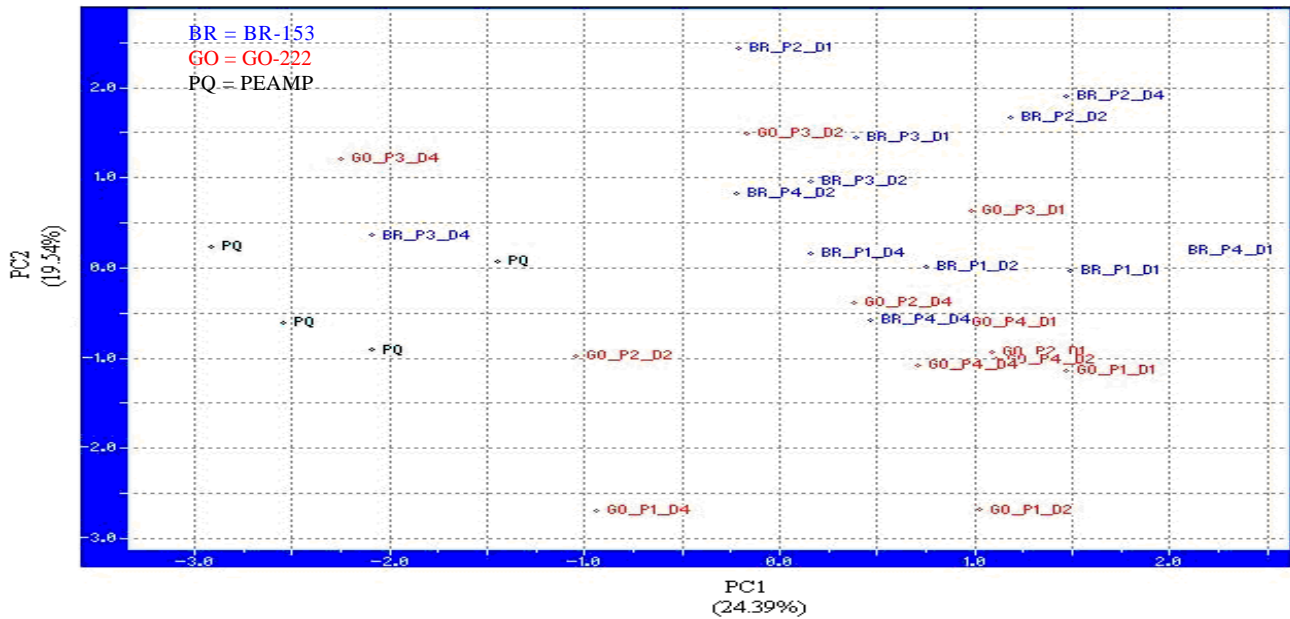
A PCA das folhas foi formada por dados das 28 amostras de folhas (scores), considerando oito variáveis (*loadings*), que geraram sete Componentes Principais (PC), e estas explicaram 96,51% da variância total dos dados. Foram analisadas apenas a PC1 e a PC2, cujos valores acumulados contribuem com 43,93% da variação. A distribuição dos pontos amostrais (scores) no plano cartesiano está apresentada na Figura 3.

Verifica-se que a maioria dos pontos amostrais do tratamento GO-222 se encontra na PC1, enquanto na PC2 estão os pontos amostrais do tratamento BR-153 e, de forma dispersa, alguns pontos amostrais do tratamento GO-222, não sendo verificada a formação característica dos grupos de pontos amostrais.

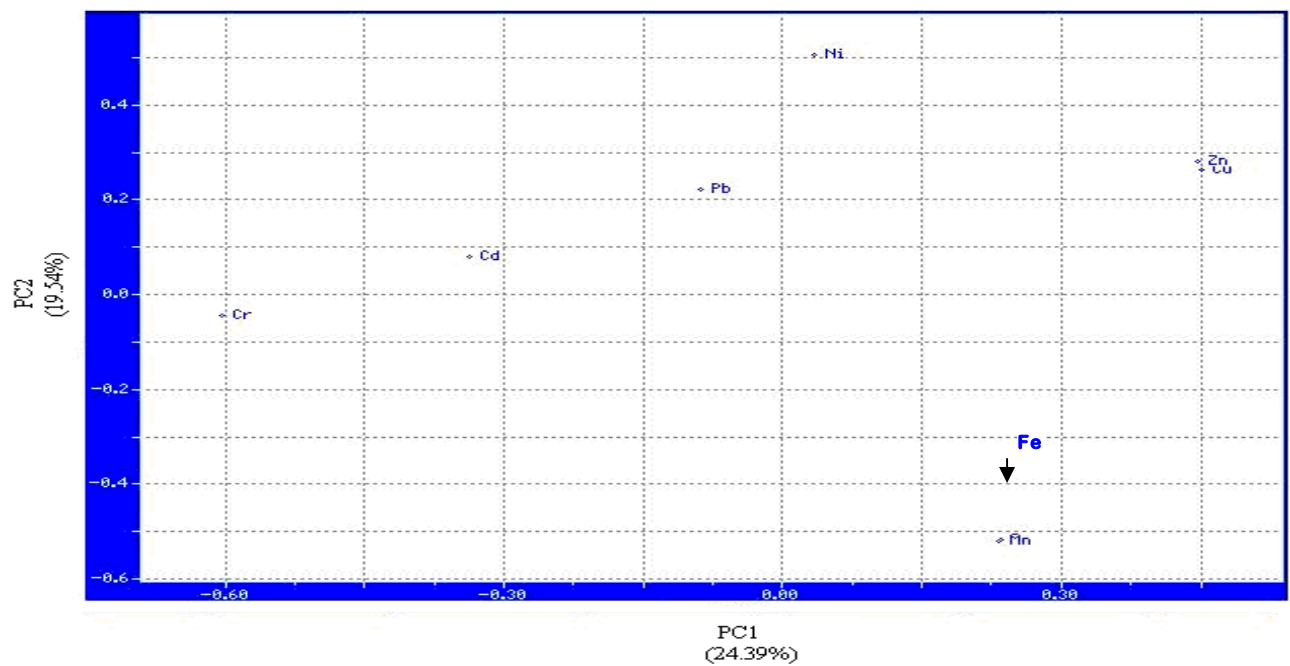
A Figura 4 mostra o posicionamento dos *loadings* (variáveis) obtidos entre as PC1 e PC2. No eixo horizontal (PC1) posicionam os maiores pesos para o cobre, zinco, ferro e manganês, e no eixo vertical (PC2) os maiores pesos são para o níquel, zinco e cobre, indicando, assim, a tendência de cada elemento no posicionamento dos pontos amostrais.

Comparando as Figuras 3 e 4, verifica-se que o ferro, o zinco e o manganês tendem a expressar-se melhor no tratamento GO-222, e os metais pesados níquel e chumbo apresentam este comportamento no tratamento BR-153, confirmando os resultados obtidos com a aplicação da estatística descritiva.





**Figura 3.** Distribuição dos escores das Componentes Principais (PC1 x PC2) no plano cartesiano, indicando os pontos amostrais de solo dos tratamentos BR-153, GO-222 e PEAMP.



**Figura 4.** Posicionamento dos *loadings* das Componentes Principais, PC1 versus PC2, no plano cartesiano, indicando a distribuição de cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco analisados nos diferentes tratamentos.

**CONCLUSÕES**

Nas condições em que esta pesquisa foi desenvolvida, os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- Os teores médios dos micronutrientes e metais pesados analisados no solo e nas folhas de *B. decumbens*, em áreas de pastagens às margens das

rodovias BR-153 e GO-222, não caracterizam a ocorrência de contaminação destes por cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel e zinco, em função de seus teores;

Na área avaliada no interior do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP), os teores de alguns metais pesados se equivalem aos obtidos às margens das rodovias;

O comportamento irregular dos teores médios dos micronutrientes e metais pesados, em todos os tratamentos, dificulta, em parte, definir

melhor se suas origens são fontes naturais ou antropogênicas;

---

**ABSTRACT:** The present research it aimed to evaluate the levels of cadmium, lead, copper, chrome, iron, manganese, nickel and zinc in soil and leaves of *Brachiaria decumbens* Stapf., in areas of pastures under influence the highways with different traffics of vehicles and in an area control, in the State of Goiás. The areas of pastures located on the margins of BR-153, the GO-222 and in the “Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)”. Soil samples were collected, in the depths of 0-10 cm and 10-20 cm, and of leaves of *B. decumbens* in the treatments BR-153, GO-222 and PEAMP (testifies), with four replicates each, with removals of 10 m, 25 m, 40 m of the highways (BR-153 and GO-222). The values resulting of the chemical analyses were submitted to the statistical analysis. The obtained results indicated that the average levels of heavy metals and micronutrients analysis did not characterize the occurrence of contamination in these environments due to its content. At the witness area, the levels of elements are equivalent to those obtained in other treatments. The irregular behavior of the average levels of the elements in all treatments, hindered, in part, to better define whether its origins are natural or anthropogenic sources.

**KEYWORD:** *Brachiaria decumbens*. Soil pollution. Waste. Phytotoxicity.

---

## REFERÊNCIAS

CAMARGO, O. A.; ALLEINI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; Reação dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq; Fapesp; Potafos, 2001. 599p.

CONFLORA-Consultoria, Planejamento e Acessória Florestal Ltda. **Plano diretor: Parque Estadual de Preservação Ambiental e Florestal Ulisses Guimarães (Parque Estadual de Goiânia)**. Goiânia, GO. 189 p. 1998.

CPRM-Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**, IBGE, Goiânia, – Folha SE.22-X-B. Texto explicativo e mapa, escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 2001.

DAVIS, A. P.; SHOKOUHIAN, M.; NI, S. Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. **Chemosphere**, v. 44, p. 997-1009, 2001

DUARTE, R. P. S. **Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas às margens de uma rodovia de tráfego intenso de veículos**. 2003. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas do campus de Botucatu - UNESP, Botucatu 2003.

DUARTE, R. P. S.; PASQUAL, A. Avaliação do Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 15, n. 1, 46-58, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 151-159, 2002.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LOUGH, G. C.; CHAUER, J. J.; PARK, J. S.; SHAFER, S. M.; DEMINTER, J.; WEINSTEIN, J. Emissions of metals associated with motor vehicle roadway, **Environment Science Technology**. v. 39, n. 3, p. 826-836, 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados – mitos, mistificação e fatos**. Piracicaba: Produquímica, 1994. 153p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

MOURA, M. C. S.; LOPES, A. N. C.; MOITA, G. C.; MOITA NETO, J. M. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 3, 429-435, maio/ junho, 2006.

OLIVEIRA, V. A. de. **Levantamento de reconhecimento com alta intensidade dos solos da Bacia do Rio João Leite**. Comissão 5. “Gênese, morf. e classificação do solo”, 1996, 1 CD-Rom.

SENA, M. M.; POPPI, R. J.; SHIRAISHI, R. T.; VALARINI, P. J. Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p.547-556, julho/agosto, 2000.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado – Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004.416 p.