

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DECOMPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS VEGETAIS DA *Acrocomia aculeata* SOB
CONDIÇÕES DE LENÇOL FREÁTICO**

LUCIANE GOMES QUINTANA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA

CO-ORIENTADORA: Dra. ARMINDA MOREIRA CARVALHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Brasília – DF: 04 de dezembro de 2013.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS
DE MACAÚBA (*Acromia aculeata* (Jacq.) Lodd. ExMartius) SOB CONDIÇÕES
DE LENÇOL FREÁTICO

LUCIANE GOMES QUINTANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Orientador)



Prof. Dr. Alcides Gatto (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador interno)



Prof. Dr. Cícero Celio de Figueiredo (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV/UnB);
(Examinador externo)

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador suplente)

Brasília, 04 de dezembro de 2013

Q7c Quintana, Luciane Gomes.
Composição química e decomposição de resíduos vegetais da *Acrocomia aculeata* sob condições de lençol freático / Luciane Gomes Quintana. -- 2014.
xii, 45 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2014.

Inclui bibliografia.

Orientação: Anderson Marcos de Souza ; Co-orientação: Aminda Moreira Carvalho.

1. Biodegradação. 2. Matéria orgânica.
3. Águas subterrâneas. I. Souza, Anderson Marcos de. II. Carvalho, Aminda Moreira de. III. Título.

CDU 631.4

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

QUINTANA, L. G. **Composição química e decomposição de resíduos vegetais da *Acrocomia aculeata* sob condições de lençol freático.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPG. DM - 224/2013, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 224p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Luciane Gomes Quintana

TÍTULO: Composição química e decomposição de resíduos vegetais da *Acrocomia aculeata* sob condições de lençol freático.

GRAU: Mestre ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Nome: Luciane Gomes Quintana
E-mail: luciane_gds@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

À DEUS e à minha família, ao meu esposo Ricardo que ficou ao meu lado, sempre me compreendendo e me apoiando em todos os momentos.

À minha filha Beatriz que me presenteou com a sua preciosa vida durante o mestrado, alegrando-me e encantando-me com a sua alegria de viver.

Aos meus orientadores Anderson Marcos de Souza e Arminda Moreira de Carvalho, por todo o apoio durante a condução do meu experimento e durante a elaboração deste manuscrito.

À toda a equipe de pesquisadores e analistas da Embrapa Cerrados, que me apoiaram na condução das análises de laboratório e na tomada de decisões importantes referentes ao meu experimento.

Aos professores Cícero Célio de Figueiredo e Alcides Gato, pela pronta disponibilidade de ambos para participar da minha banca examinadora.

Aos amigos que fiz na Pós-Graduação, que me acompanharam em muitos os momentos dos quais não posso deixar de citá-los: Fabrício, uma pessoa que ajuda sempre a todos que o solicitam pelo simples fato de ser alguém cujo coração é grandioso; Fabrícia, a amiga carinhosa com todos os seus amigos; Glória, uma pessoa que por onde passa conquista a todos pelo seu jeito meigo de ser; Laissa, a amiga inseparável de todas as horas.

Aos amigos que fiz na Embrapa Cerrados, que me apoiaram e foram grandes companheiros: Luana, a amiga que sempre tem uma palavra amiga; Luciano, um grande parceiro de todos os momentos; Ray, o amigo que me apoiou muito, principalmente em trabalhos de campo; Raissa, a incomparável parceira; Thais, uma pessoa que traz apoio e segurança à todos os seus amigos. Aos demais amigos que mesmo não citados, foram, muito importantes durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

À Petrobras pelo apoio financeiro na implantação do projeto no qual o experimento está inserido.

RESUMO

O manejo da macaúba para fins energéticos possibilita a adoção de um modelo de produção mais sustentável. A susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química. O objetivo deste trabalho foi determinar a dinâmica de decomposição de resíduos vegetais de macaúba associado à sua composição química quanto aos teores de nitrogênio, lignina, celulose, hemicelulose, C/N e L/N sob condições de lençol freático alto e baixo, cujas alturas de profundidade variaram de 1,25 a 3,0 metros. Foram coletadas folhas de uma população natural de macaúba, localizada na fazenda Santa Fé, município de São Gabriel – GO e sua secagem realizada em estufa a 65°C por 72 horas. Em seguida, 20 gramas do material seco foram acondicionados em *litter bags* e colocados em contato com o solo, nas duas condições de altura do lençol freático. A decomposição de resíduos vegetais da macaúba foi avaliada durante o período de 420 dias. O processo de decomposição dos resíduos vegetais dessa planta foi semelhante nas duas condições de profundidade do lençol freático, evidenciado pela quantidade final de resíduos remanescentes que apresentaram valores semelhantes, variando de 15% e 19% em relação à sua massa inicial. Foram avaliados os componentes estruturais e os macronutrientes da folha de macaúba em dois estágios: folha verde e folha seca. Na folha verde, os teores dos componentes de lignina e de celulose foram significativamente inferiores aos teores da folha seca. Os teores de N, P, K, e S foram significativamente mais elevados nas folhas verdes, indicando que nesse estágio vegetativo esses nutrientes ainda não foram translocados para a formação de frutos. Os teores de celulose para as duas condições foram mais elevados em relação aos de lignina e hemicelulose. Os teores de hemicelulose nas duas condições apresentaram decomposição inicial mais intensa devido à sua elevada solubilidade e à medida que o processo avançou, o seu conteúdo diminuiu gradativamente. A liberação da lignina nos resíduos de macaúba foi mais intensa no início do processo de decomposição e se estabilizou no período de seca plena em ambas as condições da altura do lençol freático. As razões C/N e L/N foram praticamente constantes durante o processo de decomposição sob ambas as condições de estudo. Portanto, os resultados obtidos nesse estudo sobre resistência à decomposição de lignina, celulose e hemicelulose contribuem para a elucidação de processos da ciclagem de nutrientes e proteção do solo de agentes de degradação.

PALAVRAS-CHAVE: Decomposição, matéria orgânica, macaúba, lençol freático.

ABSTRACT

The use of *macaúba* for energy purposes enables the adoption of a more sustainable production model. The susceptibility of vegetable residues to decomposition is associated with its chemical composition. The aim of this study was to determine the dynamics of decomposing plant residues of *macaúba* associated with its chemical composition for the levels of nitrogen, lignin, cellulose, hemicellulose, C/N and L/N under conditions of high and low groundwater level, whose depth heights ranged from 1.25 to 3.0 meters. The leaves were collected from a natural population of *macaúba*, located in the "Fazenda Santa Fe", municipality of São Gabriel – GO and drying held in an oven at 65 C for 72 hours. Then, 20 grams of dry material were packed in *litter bags* and placed in contact with the ground, in the two conditions of height of the water table. The decomposition of plant residues of *macaúba* was evaluated during the period of 420 days. The process of decomposition of vegetable residues of this plant was similar in the two conditions of depth of water table, evidenced by the final amount of waste remaining who presented similar values, ranging from 15% and 19% relative to its initial mass. Were evaluated the structural components and the macronutrients of the *macaúba* leaf in two stages: green leaf and dry leaf. In the green leaf, the levels of the components of cellulose and lignin were significantly lower than the levels of the dry leaf. The levels of N, P, K, and S were significantly higher in green leaf, indicating that in this vegetative phase these nutrients have not *yet* been transferred to the formation of fruits. The levels of cellulose in vegetable residues in both conditions were higher relative to lignin and hemicellulose, remaining more stable during the decomposition process. The hemicellulose content in both conditions showed a more intense initial decomposition due to its high solubility and as the process advanced, its contents decreased gradually. The values obtained relative to lignin contents were virtually constant at both depths. Therefore, the results obtained in this study on resistance to the decomposition of lignin, cellulose and hemicellulose contribute to the clarifying of processes of the nutrient cycling and protection of soil of the degradation agents.

KEYWORDS: Decomposition, organic matter, *macaúba*, groundwater.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS	2
2.1- OBJETIVO GERAL	2
2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3- REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1- A MACAÚBA.....	3
3.2 - SOLOS SOB COBERTURA DE OCORRÊNCIA DE MACAUBEIRAS NO CERRADO E A INFLUÊNCIA DO LENÇOL FREÁTICO.....	5
3.3 - MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)	7
3.4 - COMPONENTES ESTRUTURAIS E QUÍMICOS DE ESPÉCIES VEGETAIS	9
3.5 - DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS	10
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
4.2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS	14
4.3 - DETERMINAÇÃO DO PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA.....	16
4.4 – DETERMINAÇÃO DE TEORES DE LIGNINA, CELULOSE E HEMICELULOSE DE FOLHAS DE MACAÚBA	17
4.5 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS	19
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 – DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA.....	20
5.2 – AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS E NUTRIENTES DA FOLHA DE MACAÚBA	23
5.3 – DECOMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS DO MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA.....	25
5.4 - C/N, L/N E MACRONUTRIENTES EM MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA EM DECOMPOSIÇÃO.....	31
6 - CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Análise de variância do processo de decomposição de resíduos vegetais de uma população natural de macaúba.....	20
Tabela 5.2 - Valores médios dos índices de decomposição de resíduos vegetais de macaúba sob lençol alto e baixo, no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO.	20
Tabela 5.3 - Valores médios dos índices de decomposição de resíduos vegetais de macaúba em relação à altura do lençol (alto e baixo), no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO.	21
Tabela 5.4 - Comparação de teores médios dos componentes estruturais químicos presentes em folhas verdes e secas de macaúba, São Gabriel-GO.....	24
Tabela 5.5 - Médias obtidas dos macronutrientes presentes em resíduos de folhas verdes e secas de macaúba.....	24
Tabela 5.6 - Valores de F e a significância da análise de variância dos componentes químicos no resíduo vegetal da macaúba.	29
Tabela 5.7 - Comparação das médias dos componentes químicos no resíduo vegetal de macaúba, sob diferentes condições do lençol freático.....	29
Tabela 5.8 - Valores de F e a significância da análise de variância dos efeitos dos fatores (época e condição) e de suas interações nos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) dos resíduos vegetais de macaúba.....	32
Tabela 5.9 - Valores de nutrientes em material vegetal da macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1- Médias mensais de temperatura (°C) e precipitação acumulada no mês (mm), no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO. Informações obtidas da estação meteorológica de São Gabriel-GO, 2012.....	13
Figura 4.2 - Fazenda Santa Fé e área de ocorrência natural de macaúba, São Gabriel-GO, 2011. Fonte: Google Earth/2011;GPS: Datum-WES 84	14
Figura 4.3 - Profundidade de lençol freático na área de ocorrência de uma população natural de macaúba, município de São Gabriel-GO, 2011.....	15
Figura 4.4 - Queima de material vegetal de macaúba na mufla por 72 horas a 600 °C. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.....	17
Figura 4.5 - Aparelho determinador de fibras. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.....	18
Figura 4.6 - Resíduo da digestão com ácido para a determinação do teor de lignina. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.....	18
Figura 4.7 - Fibra de detergente neutro e fibra de detergente ácido, utilizados para a realização das análises de matéria seca a 105°C. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.....	19
Figura 5.1 - Processo de decomposição de resíduos vegetais de uma população natural de macaúba, em áreas com lençol freático alto e baixo, São Gabriel-GO, 2010-2012.....	22
Figura 5.2 - Teores de lignina nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba, São Gabriel-GO, 2011.....	26
Figura 5.3 - Teores de celulose nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.....	27
Figura 5.4 - Teores de hemicelulose remanescente de resíduos vegetais de macaúba em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.....	28
Figura 5.5 - Quantidades de lignina, celulose e hemicelulose (g) nos resíduos vegetais de macaúba, nas condições de lençol freático alto e baixo, São Gabriel-GO, 2011.....	30
Figura 5.6 - Razão C:N dos resíduos vegetais de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.....	31
Figura 5.7 - Razão lignina:N nos resíduos vegetais de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.....	32
Figura 5.8 - Macronutrientes nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise e Variância
C	Carbono
COT	Carbono orgânico total
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em Detergente neutro
L/N	Lignina:N
MOL	Matéria orgânica leve
MOS	Matéria orgânica do solo
N	Nitrogênio
P	Fósforo
S	Enxofre
SAS	Statistical Analysis System

1- INTRODUÇÃO

A demanda de produtos para suprimento da matriz energética tem crescido significativamente no Brasil. Devido à necessidade de se manter a sustentabilidade dos recursos naturais, novas fontes de energia obtidas a partir de produtos renováveis são inseridas na cadeia produtiva, buscando-se suprir o mercado interno dentro de uma consciência ambiental.

Em todo o mundo, a demanda por combustíveis de origem renovável é crescente. O Brasil tem ganhado destaque neste cenário, seja pela aptidão agrícola, área territorial ou pela diversidade de espécies aptas à produção de biocombustíveis, o que o torna um possível exportador mundial de grande destaque (CASTRO et al., 2005).

O Brasil possui uma ampla diversidade de plantas oleaginosas nativas e exóticas, espécies que são bem adaptadas, apresentando potencial para ser um grande produtor de combustíveis à base de óleos vegetais. Plantas estas que podem ser utilizadas na produção de biodiesel, das quais possuem derivados lipídicos, principalmente, por seu caráter renovável e biodegradável, representando uma alternativa viável e fonte para novas pesquisas, com o intuito de produção de novos biocombustíveis.

Neste sentido, o biodiesel é um combustível de queima limpa, derivado de fontes naturais e renováveis, sendo uma alternativa aos inflamáveis provenientes do petróleo. É produzido a partir de óleos vegetais, com praticamente as mesmas propriedades do diesel fóssil, podendo ser utilizado em qualquer veículo com motor a diesel, pois não exige adaptação das máquinas e motores, com uma emissão de poluente potencialmente menor (PERES, 2005).

Inseridas como espécies promissoras à produção de biodiesel, as palmeiras têm sido consideradas uma alternativa à produção de energia, principalmente por possuir ampla diversidade de espécies com características oleaginosas, servindo como fonte de matéria-prima para a fabricação de biodiesel. Frente à necessidade atual de fontes alternativas de energia, a macaúba é considerada uma das espécies nativas com alta potencialidade de fornecimento de óleo para a produção de biodiesel (LERAS, 1988; FORTES, 1999).

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius) é uma palmeira classificada como pioneira e se destaca ainda por ser tolerante ao fogo, com potencial para a produção de óleo e outras vantagens, como proteger melhor o solo e a água, e pela possibilidade de ser utilizada em consórcio com outras espécies em sistema

agrossilvipastoril (HENDERSON et al., 1995; LORENZI, 1996). Devido a sua classificação no grupo sucessional e a sua capacidade de produção de óleo, a macaúba pode se tornar uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas ou abandonadas através do reflorestamento, seja para fins produtivos visando à produção de óleo, seja para obter maior eficiência na ciclagem de nutrientes em locais degradados.

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo contribui também para a maior retenção de água e sua proteção contra erosão, que são impactos positivos relevantes do uso dessas espécies como cobertura vegetal. A presença de resíduos vegetais na superfície do solo é fundamental para a sua proteção contra agentes de degradação física, química e biológica, contribuindo para a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo.

2- OBJETIVOS

2.1- OBJETIVO GERAL

Avaliar o processo de decomposição de material vegetal de uma população natural de macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius) relacionado à sua composição química em condições de altura de lençol freático alto e baixo.

2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Determinar as taxas de decomposição de material vegetal de macaúba em condições de altura de lençol freático alto e baixo;
- Indicar o tempo de reciclagem e a meia vida do resíduo vegetal de macaúba em condições de altura de lençol freático alto e baixo;
- Definir os teores de lignina, celulose, hemicelulose, N, P, K, Ca, Mg, S, razões C/N e lignina/N, das folhas verdes, das secas e do resíduo de material vegetal de macaúba em condições de lençol freático alto e baixo.

3- REFERENCIAL TEÓRICO

3.1- A MACAÚBA

O gênero *Acrocomia* é composto por duas espécies – *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. e *Acrocomia hassleri* (B. Rodr.) W. J. Hahn – que diferem basicamente no tamanho dos indivíduos, sendo a primeira de maior porte. *A. aculeata* é amplamente distribuída nas regiões secas da América Tropical e *A. hassleri* é restrita à região de cerrado no Brasil e Paraguai. O termo *Acrocomia* deriva do grego “Akron” (uma) e “Kome” (cabeleira) sugerindo que as folhas estão dispostas no formato de uma coroa (HENDERSON et al., 1995).

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius) possui ampla distribuição geográfica, atingindo o continente americano, incluindo o México, Antilhas, Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai. Apresenta potencial econômico significativo no contexto brasileiro, pois seus frutos fornecem 20 a 30 % de óleo, 5% de farinha comestível e 35% de tortas forrageiras (HENDERSON et al., 1995).

A macaúba é produtiva em condições climáticas variadas e seus frutos podem gerar mais de 5.000 kg de óleo por hectare. Pode-se considerar que ela não é exigente em termos climáticos (TICKEL, 2000). Das vantagens ambientais no uso energético de óleos vegetais, destacam-se a ausência de emissão de SO₂ (responsável pela chuva ácida), a recuperação de áreas degradadas pelo reflorestamento com espécies oleaginosas, a contenção da erosão e o balanço de carbono positivo no solo (CARVALHO et al., 2010).

As folhas de macaúba são pinadas, cada uma é dotada de uma haste central com 3 a 5 metros de comprimento, aculeadas e com folíolos lanceolados, de coloração verde-escura. As folhas estão presentes, geralmente, em número de 20 a 30 por planta, distribuídas em diferentes planos, dando aspecto plumoso à copa. A bainha desta possui acúleos finos, agudos, resistentes e de coloração escura e, muitas vezes, a bainha fica aderida ao estipe por vários anos. O pecíolo da folha também possui acúleos (NUCCI, 2007).

Entre as folhas desta palmeira, destacam-se a espata de até 2 m de comprimento, as inflorescências amarelas e os cachos de frutos de tom marrom-amarelado. A inflorescência é em espádice, com 50 a 80 cm de comprimento pendente, protegida por espata de acúleos castanhos. As flores de coloração amarelo-claro são unissexuais e, ambos os sexos,

aparecem numa mesma inflorescência. As flores femininas nascem na base da inflorescência e as masculinas no topo. Os frutos são esféricos ou ligeiramente achatados, em forma de drupa globosa com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm. O epicarpo rompe-se facilmente quando maduro e o mesocarpo é fibroso, mucilaginoso, de sabor adocicado, rico em glicerídeos, de coloração amarelo ou esbranquiçado e, também, comestível. O endocarpo é fortemente aderido à polpa (mesocarpo), com parede óssea enegrecida e a amêndoa oleaginosa, comestível e revestida de uma fina camada de tegumento. Cada fruto contém, geralmente, uma semente envolvida por endocarpo duro e escuro com aproximadamente 3 mm de espessura (SILVA, 1994; HENDERSON et al., 1995).

Os principais polinizadores são coleópteros das famílias Curculionidae, Nitidulidae e Escarabaeidae. A inflorescência é visitada pelas abelhas do grupo *Trigonia*, que coletam o pólen das flores masculinas e polinizam as flores femininas (HENDERSON et al., 1995; SCARIOT, 1998). Em condições naturais, as sementes podem levar de um a dois anos para germinar. No entanto, quando submetidas à escarificação e acondicionadas à temperatura superior a 35°C, podem germinar entre quatro e seis meses e, outro ponto refere-se as plântulas, as quais apresentam crescimento lento (GRAY, 2011).

Esta palmeira tem forte interação com a fauna e seus frutos integram a dieta de araras, capivaras, antas, emas entre outros animais, os quais são os dispersores das sementes (POTT, 1994). *Acrocomia aculeata* habita áreas abertas e com alta incidência solar, adapta-se em solos arenosos, porém, desenvolve-se melhor em locais onde há solos férteis (GRAY, 2011).

Enquanto potencial alimentício, Hiane e Penteado (1989) detectaram alta porcentagem de β -carotenóide (9.590UL/100g), precursor da vitamina A, nos frutos maduros de macaúba. Face ao valor de mercado deste produto, Rodrigues-Amaya (1999), enfatiza que a alta porcentagem de carotenóides deveria encorajar a produção comercial. Outro recurso alimentício ainda não explorado para os seres humanos é o advindo das folhas da macaúba. Embora apenas utilizado como forragem animal, dada suas qualidades de alto teor protéico (SANTOS, 1986) e presença de flavonóides antioxidantes, apresenta alta potencialidade de ser transformado em complemento alimentar ou produto nutracêutico. Vislumbra-se como outra importante alternativa, a revitalização do uso do óleo de macaúba como óleo de cozinha dado sua similaridade com o azeite de oliva. Esta espécie é considerada importante do ponto de vista ecológico, pois serve de recurso alimentar para diferentes espécies da fauna local, coloniza áreas degradadas e é bem representada na região (LORENZI et al., 1996; NEGRELLE et al., 2003).

3.2 - SOLOS SOB COBERTURA DE OCORRÊNCIA DE MACAUBEIRAS NO CERRADO E A INFLUÊNCIA DO LENÇOL FREÁTICO

O recurso solo é reflexo da interação entre vários fatores, tais como: clima, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e atividade da fauna. Ecologicamente, os dois principais fatores determinantes da presença das fitofisionomias do bioma Cerrado são os solos ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes e muitas vezes com alta saturação de alumínio e o clima tropical estacional (GOEDERT et al., 2008).

O solo encontra-se coberto pela vegetação, em seu estado natural, promovendo o equilíbrio entre a interação dos fatores de sua formação, mas o rompimento dessa relação, principalmente devido ao desmatamento, causa alterações químicas, físicas e biológicas permitindo a degradação desse ecossistema.

No Cerrado, há predominância das seguintes ordens de tipos de solo: Argissolo, Cambissolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo (EMBRAPA, 2005). Em síntese, os Latossolos ocupam aproximadamente 46% da área e apresentam boa qualidade física (elevada permeabilidade, baixa erodibilidade, fácil mecanização e média capacidade de retenção de água). Entretanto, possui fortes limitações, como provedor de nutrientes para as plantas (GOEDERT et al., 2008).

Os Gleissolos são solos hidromórficos presentes em ambientes de drenagem imperfeita, mal drenados e, quase sempre apresentam uma ruim camada de matéria orgânica mal decomposta sobre camada acinzentada (horizonte glei), em consequência do ambiente de oxirredução. Estão localizados em baixadas próximas às drenagens e o lençol freático quase sempre está próximo à superfície, podendo ocorrer acúmulo de água durante todo o ano ou na maior parte dele. Apresentam limitações ao uso agrícola, principalmente, em relação à deficiência de oxigênio (pelo excesso de água), à baixa fertilidade e ao impedimento à mecanização (REATTO et al., 2004).

Neste ínterim, são de importância extrema para a manutenção do equilíbrio dos processos biogeoquímicos, devem ser preservados e protegidos de eventuais efeitos nocivos advindos das atividades antrópicas para não sofrerem alterações em suas características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e biológicas, alterações estas que, em algumas situações, podem assumir caráter negativo em relação ao sistema solo-água-planta.

Estudos mais amplos sobre classificação de solos, disponibilidade de nutrientes, variação da profundidade do lençol freático ao longo do ano e aspectos da vegetação,

foram desenvolvidos em seis veredas em Uberlândia, por Ramos (2000; 2004). Observou-se que as áreas úmidas apresentam alta produção primária e que a biomassa morta se decompõe lentamente por anaerobiose, o que ocasiona acumulação substancial de matéria orgânica no solo. Variações na altura do lençol freático afetam fortemente os processos edáficos de decomposição, determinando mudanças na entrada e na saída de materiais e nutrientes no sistema.

O ciclo dos nutrientes é dependente do ciclo da água, que controla sua disponibilidade e movimento. A água (solvente universal) que entra no ecossistema depende do regime de chuvas. Uma parte desta, inicialmente, é retida pelas folhas da vegetação, da qual se evapora em função da temperatura, radiação solar e vento. Outra parte chega ao solo após ter lavado as copas e troncos, podendo escorrer sobre a superfície do solo ou sofrer a percolação. Quando a água supera a capacidade de retenção do solo, passando gravitacionalmente para o lençol freático, água e nutrientes são exportados do ecossistema (GRIMM e FASSBENDER, 1981).

A sazonalidade do regime de chuvas proporciona mudanças na altura do lençol freático, permitindo que ocorra o excesso de água na superfície do solo, dificultando a decomposição aeróbica da matéria orgânica, enquanto que no período de seca a camada de água se afasta da superfície do solo. Essa variação afeta os processos bióticos, tais como a estrutura da vegetação e a taxa de decomposição. O lençol freático representa uma via de entrada e de saída de nutrientes. A proximidade do lençol freático à superfície propicia uma maior disponibilidade de nutrientes ao solo, evitando o déficit hídrico para a vegetação (MEIRELLES et al., 2007).

Jackson et al. (1999) encontraram algumas espécies sempre verdes aparentemente, das quais acessam água nas camadas mais superficiais dos solos em comparação com algumas espécies decíduas que captam água em camadas mais profundas. Portanto, essas variações podem expressar eficientemente a qualidade e a produtividade do solo ou comprometer drasticamente a sua sustentabilidade.

A degradação do solo é um problema evidente e intenso, particularmente nas regiões tropicais e subtropicais, em decorrência do progressivo aumento da pressão demográfica, do cultivo de terras marginais, com o uso e manejo incorreto do solo, que leva ao esgotamento de sua fertilidade e erosão (LAL, 2004). Existem vários atributos relacionados à qualidade do solo, como por exemplo, a temperatura, o pH, as condições climáticas, a umidade, a matéria orgânica, dentre outros. Estes atributos ambientais podem variar ao longo do ano ou em função do tipo de uso que é dada ao solo.

3.3 - MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A matéria orgânica do solo (MOS) está entre os indicadores da qualidade da terra que têm a maior relevância devido à sua importância na formação e manutenção das funções do solo, especialmente naqueles altamente intemperizados, como os tropicais. É um fato bem conhecido que nestes ambientes a fertilidade do solo depende fundamentalmente da quantidade e qualidade da matéria orgânica. É também relevante no contexto das mudanças climáticas, já que ele é o maior reservatório de carbono na superfície terrestre (ALVES et al., 2006).

A MOS pode ser dividida em matéria orgânica viva e matéria orgânica não viva (SILVA e MENDONÇA, 2007). A primeira é constituída por organismos vivos, tais como raízes, macro e microrganismos do solo, que são responsáveis por aproximadamente 4% do carbono orgânico total (COT). A matéria orgânica não vivente é responsável, em média, por 98% do COT e compreende as frações, leve (mais dinâmica) e húmica (mais estável). O estudo de compartimentos das MOS's mais dinâmicos, como a matéria orgânica leve (MOL) é importante, visto que esta fração possui significativo papel na ciclagem de nutrientes, (SOHI et al., 2001; SIX et al., 2001; LEITE et al., 2003; CONCEIÇÃO et al., 2005).

A MOS, é um dos componentes mais importantes da qualidade do solo e, pode ser considerada como um conjunto de substâncias altamente heterogêneas que inclui numerosos compostos de carbono, variando de açúcares, proteínas e outros constituintes biológicos, ácidos orgânicos de baixas massas moleculares, como ácido acético e oxálico, quase todos facilmente mineralizáveis, até um conjunto complexo de produtos recalcitrantes resultantes de transformações químicas e microbianas da matéria orgânica do solo (BUDZIAK et al., 2004). Essa mineralização atua na disponibilidade de uma gama de nutrientes ao meio, podendo ainda contribuir para a elevação do pH do solo e a redução da acidez potencial (SIMONETE et al., 2003).

De acordo com uma revisão feita por Rasse et al. (2005), 40% do C do sistema radicular das plantas é estabilizado na MOS, enquanto somente 20% do C da parte aérea é incorporado e estabilizado no solo. A estabilização do C derivado do sistema radicular é favorecida por mecanismos de proteção física – inter e intra – agregados, proteção química com compostos químicos recalcitrantes (suberina, lignina) e proteção coloidal – formação de complexo argilo-orgânicos, retardando a decomposição e, conseqüentemente, preservando o C em frações mais estáveis da MOS.

Os solos em regiões tropicais possuem uma ampla produção de biomassa, que pode se transformar em matéria orgânica ativa e dinamizar os ciclos dos nutrientes presentes nestes solos. Por outro lado, fatores como a mineralização acelerada da matéria orgânica, a alta capacidade de fixação de fósforo, a acidificação decorrente da lixiviação de bases trocáveis, que passam a ser substituídas por alumínio, estão diretamente relacionados com a baixa produtividade do solo. Os efeitos antrópicos negativos decorrentes de diversas atividades podem levar ao desequilíbrio microbiano local, desestabilizando funções importantes voltadas à manutenção da saúde animal e vegetal (CAVALLET e SELBACH, 2008). Essa biomassa representa o destino inicial do carbono em transformação no solo, sendo influenciado principalmente pela disponibilidade de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e de enxofre (S). Entretanto, fatores como teor de água no solo, aeração, pH e textura do solo também influenciam o carbono incorporado nas biomoléculas da comunidade microbiana presente no solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A matéria orgânica refere-se a todos os compostos que contém carbono orgânico no solo, incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas (ROSCOE e MACHADO, 2002; SILVA et al., 2004; MIELNICZUK, 2008). A MOS possui em média cerca de 58% de C, e é responsável pelas propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo (SANTOS, 2007).

O estoque de material orgânico depende da intensidade dos processos dos diversos estágios de decomposição e da quantidade de resíduos vegetais que são adicionados ao solo. Estes proporcionam proteção em relação à erosão, incluindo uma condição melhor na estruturação do solo. As perdas sistemáticas de matéria orgânica estão relacionadas ao cultivo excessivo do solo sem a reposição de nutrientes, ao uso inadequado e ao cultivo de solos inundados ricos em carbono.

A matéria orgânica do solo é um grande reservatório de nutrientes vegetais e de carbono, afetando diretamente os atributos físicos, químicos, biológicos e morfológicos do solo. Dentre os diversos fatores que controlam os teores de MOS, tais como a textura, o clima, o tipo de vegetação, o manejo empregado no solo, destaca-se principalmente, a qualidade e a quantidade de resíduos vegetais (SILVA et al., 2004; CARDOZO et al., 2010). Resumidamente, a MOS possui a função de gerar vida ao ecossistema solo, pois na sua ausência, o mesmo não teria como manter qualquer tipo de cobertura vegetal (CARTER, 2002; CONCEIÇÃO et al., 2005; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Para avaliar a qualidade do solo tem sido sugerida, por diversos autores, a mensuração de indicadores físicos e químicos do solo já que qualquer estresse no sistema afeta a densidade, a diversidade e a atividade da microbiota (SÁ e LAL, 2009; CARNEIRO et al., 2009; MATOSO et al., 2012). Entre os indicadores de qualidade do solo, o nitrogênio desempenha um papel fundamental por sua relação com a capacidade produtiva do solo. A disponibilidade de nitrogênio e de carbono no solo afeta diretamente na atividade microbiana, que é responsável pela produtividade vegetal, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo.

3.4 - COMPONENTES ESTRUTURAIS E QUÍMICOS DE ESPÉCIES VEGETAIS

Os exopolissacarídeos (celulose, hemicelulose, lignina, entre outros) são de origem microbiana ou de planta e, devido à sua rápida metabolização, formam a biomassa microbiana (LASSUS, 1990) e são os constituintes de maior importância nas funções relacionadas aos microrganismos do solo por representarem interface entre estes e os constituintes do solo (FRIGHETO, 2000). A celulose, dentre os polímeros, é a que mais influência nos padrões de mineralização do C e N (MTAMBANENGWE e KIRCHMANN, 1995).

A qualidade dos compostos orgânicos tem sido definida, principalmente, por meio de sua composição química, como os teores de carbono, nitrogênio, lignina, celulose, hemicelulose, polifenóis e pelas razões C:N, C:P e lignina: (CARVALHO et al., 2011; 2012). Esses atributos químicos afetam a atividade microbiana, influenciando os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, conseqüentemente no fornecimento de nutrientes às plantas. Os componentes químicos dos resíduos possuem total influência no processo de mineralização do N no solo, permitem estimar a reserva de nutrientes e funcionam como indicadores do estado real do solo.

A decomposição dos resíduos vegetais também está relacionada à razão C/N, que tem sido o indicador da velocidade de mineralização mais aplicado, juntamente com os teores de lignina, que tem sido demonstrado como mais eficiente para representar o processo de decomposição (FOX et al., 1990; TIAN et al., 1992). Dentro deste contexto, a decomposição das plantas envolve perda inicial de carboidratos (celulose e hemicelulose), seguida pela lenta transformação de estruturas aromáticas das moléculas de lignina e do carbono altamente recalcitrante (alquilas) (KOGEL-KNABER, 2000). Resíduos orgânicos

que contém baixas concentrações de nitrogênio e de fósforo e altos conteúdos de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e liberação lenta de nutrientes (RHEINHEIMER et al., 2000). As características que influenciam o processo de decomposição dos resíduos vegetais alteram significativamente a dinâmica de carbono, de nitrogênio e de fósforo do solo.

No compartimento solo, a deposição de resíduos vegetais apresenta um papel relevante para o aumento do aporte de nutrientes ao solo e para ampliar a diversidade biológica dessa biota. Portanto, fatores que afetem a comunidade biológica do solo irão influenciar diretamente na taxa de degradação, na estrutura e na dinâmica desse recurso vegetal.

3.5 - DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS

As substâncias húmicas ou também denominada de húmus, é composta de C, O, N, H, S e P em diferentes proporções. Geralmente, 95% ou mais do N e S e entre 20 a 75% do P da camada superficial do solo estão na matéria orgânica do solo (ARAÚJO et al., 2008). Por sua vez, as propriedades biológicas do solo são dependentes da MOS (PRAGANA et al., 2012) como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos do solo que apresentam um papel fundamental na maioria dos processos do solo. Um maior aporte de matéria orgânica estimula o desenvolvimento de microrganismos, que são os principais responsáveis pelo processo de decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes, pela fixação biológica de nitrogênio e pelo fluxo de energia dentro do solo (ARAÚJO et al., 2008).

A adição da matéria orgânica proporciona efeitos benéficos na sua microbiota, dentre essas benfeitorias está o aumento da atividade microbiana, maior mineralização, produção de húmus, estabilidade biológica, influenciando totalmente no processo de decomposição. É importante haver uma sincronização entre a decomposição e a mineralização de materiais orgânicos com relação à absorção pela cultura, para inibir possíveis perdas ou excessos de nutrientes, maximizando o uso dos mesmos.

Os microrganismos do solo atuam como catalisadores da mineralização destes nutrientes pela decomposição da matéria orgânica. Sua atividade sofre alteração pela qualidade e quantidade de material vegetal depositado no solo (SOUZA et al., 2010) e pode ser utilizada como indicador de qualidade do solo.

A matéria orgânica do solo é cada vez mais estudada por ser um importante componente da sustentabilidade e qualidade dos solos, principalmente, nas regiões tropicais, onde sua decomposição é rápida em virtude da grande atividade biológica (BAYER e MIELNICZUK, 1999). O conhecimento da velocidade de decomposição é um aspecto muito importante para manter resíduos na superfície do solo. Entretanto, a qualidade dos mesmos, atinge diretamente a atividade microbiana do solo, que é responsável por grande parte do processo de ciclagem de nutrientes.

Em espécies perenes, o processo de decomposição inicia na própria árvore quando a superfície foliar estiver exposta ao ataque microbiano durante todo o seu período de vida até a senescência e morte (SADAKA, 2003). Deve-se ressaltar a importância de considerar algumas características da planta, como: espécie vegetal (p.ex. leguminosa ou gramínea), ciclo (p.ex. anual ou perene) e idade (p.ex. floração ou maturação) no processo de decomposição e liberação de nutrientes (CARVALHO et al. 2011; 2012).

O estudo da ciclagem de nutrientes minerais via serapilheira é fundamental para o conhecimento da estrutura e funcionamento do ecossistema, pois parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo, sendo assim realizada através da transferência de elementos essenciais da vegetação devido à produção de serapilheira. Porém, se essa produtividade for relativamente baixa, causará danos para este ambiente e inclusive um expressivo aumento no processo de erosão hídrica, uma redução da atividade microbiana e uma diminuição, tanto da infiltração quanto do armazenamento de água no solo (SANCHES et al., 2009; MACHADO et al., 2012).

Dessa forma, o uso de espécies vegetais tolerantes ao estresse hídrico e com decomposição mais lenta favorecem a cobertura do solo e o fornecimento de nutrientes, principalmente N e C, refletindo na qualidade do solo e a produtividade das plantas (VARGAS et al., 2004; CARVALHO et al., 2006). A ocorrência de espécies vegetais em áreas próximas aos mananciais hídricos faz com que haja eficiência na ciclagem e no acúmulo de nutrientes no solo, devido ao excesso de umidade no ambiente (CARVALHO et al., 2010).

Assim, a macaúba é uma palmeira tipicamente brasileira e nativa de florestas tropicais, uma espécie que ocorre tanto em regiões com restrições hídricas quanto em áreas próximas aos cursos d'água (TELES, 2009). A dinâmica dos resíduos orgânicos é influenciada pelo clima, temperatura, tipo de solo e umidade. A precipitação pluviométrica favorece a atividade microbiana, resultando em aceleração da decomposição da matéria orgânica e possibilitando o aumento da sua mineralização. A taxa de decomposição desse

material para a disponibilização de nutrientes varia grandemente em função das condições edafoclimáticas, da comunidade dos organismos decompositores e da qualidade do material (ALVES et al., 2011). A precipitação também proporciona mudanças na altura do lençol freático e essa variação afeta os processos bióticos do solo, influenciando a taxa de decomposição dos materiais vegetais depositados na superfície, a ciclagem de nutrientes e o acúmulo de carbono no solo (MEIRELLES et al., 2007).

A deposição de biomassa vegetal senescente (serrapilheira) é um importante caminho biológico de transferência de nutrientes da vegetação para o solo (SANCHES et al., 2009; MACHADO et al., 2012). A alta eficiência na liberação de nutrientes é resultado de material vegetal que possui elevada taxa de decomposição, conseqüentemente, melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Entretanto, um resultado de baixa eficiência na liberação de nutrientes poderia atuar como uma barreira física contra processos erosivos, já que promove cobertura na superfície do solo pela baixa decomposição dos resíduos vegetais (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002; CARVALHO et al., 2011; 2012).

Desta maneira, a velocidade de decomposição dos resíduos culturais determina o tempo de permanência da cobertura morta na superfície do solo. Quanto mais rápida for a sua decomposição, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes, diminuindo, entretanto, a proteção do solo (FLOSS, 2000). A liberação eficiente de nutrientes indica que o material vegetal apresenta uma significativa taxa de decomposição.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área localizada na Fazenda Agropecuária Santa Fé, município de São Gabriel – GO, nas seguintes coordenadas: Norte - S 07°07'00" e 73°40'20"; Leste - S 09°08'40" e 72°40'00"; Sul - S 15°20'53" e 73°12'40"; Oeste - S 07°32'40" e 47°34'63". O clima predominante corresponde ao tropical estacional de savana do tipo Aw, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual de 28,5° C (Figura 4.1). A região do Cerrado apresenta duas estações bem definidas: seca durante o inverno, chuvosa e quente durante o verão. O solo é classificado como um Gleissolo,

textura média, fase mata de galeria não inundável em relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

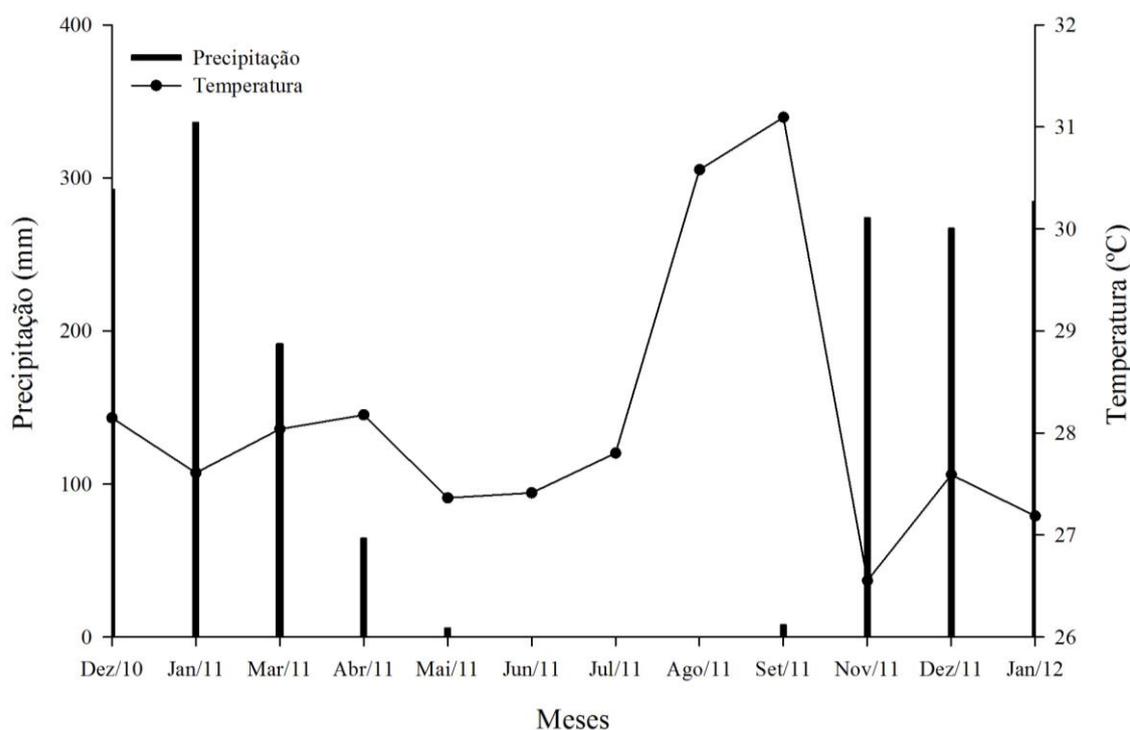


Figura 4.1- Médias mensais de temperatura (°C) e precipitação acumulada no mês (mm), no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO. Informações obtidas da estação meteorológica de São Gabriel-GO, 2012.

As propriedades físico-químicas do solo na camada de 0 a 5 cm do lençol freático alto e em dezembro de 2010 forneceu os seguintes resultados: pH (em água) = 5,10; pH (em KCl) = 3,96; matéria orgânica = 29,9 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 2,32 mgdm⁻³; Al = 1,31 cm⁻³; Ca = 2,27 cm⁻³; Mg = 1,41 cm⁻³; H+Al= 7,9 cm⁻³; Cu = 0,93 mg L⁻¹; Fe = 257 mg L⁻¹; Mn = 44 mg L⁻¹; Zn = 0,4 mg L⁻¹; K = 72 mg L⁻¹. As propriedades físico-químicas do solo na camada de 0 a 5 cm do lençol freático baixo forneceu os seguintes resultados: pH (em água) = 5,25; pH (em KCl) = 4,15; matéria orgânica = 33,5 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 2,93 mgdm⁻³; Al = 0,96 cm⁻³; Ca = 2,62 cm⁻³; Mg = 1,13 cm⁻³; H+Al= 6,8 cm⁻³; Cu = 0,60 mg L⁻¹; Fe = 182 mg L⁻¹; Mn = 48 mg L⁻¹; Zn = 0,6 mg L⁻¹; K = 142 mg L⁻¹.

A análise das propriedades físico-químicas na camada de 5 a 10 cm do lençol freático alto deste experimento mostrou os seguintes resultados: pH (em água) = 4,74; pH (em KCL) = 3,70; matéria orgânica = 25,1 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 1,88 mgdm⁻³; Al = 1,67 cm⁻³; Ca = 1,08 cm⁻³; Mg = 0,47 cm⁻³; H+Al= 7,59 cm⁻³; Cu = 0,58 mg L⁻¹; Fe = 255 mg L⁻¹; Mn = 31 mg L⁻¹; Zn = 0,13 mg L⁻¹; K = 53 mg L⁻¹. A análise das propriedades físico-

químicas na camada de 5 a 10 cm do lençol freático baixo, deste experimento mostrou os seguintes resultados: pH (em água) = 4,98; pH (em KCL) = 3,95; matéria orgânica = 28 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 1,92 mgdm⁻³; Al = 1,48 cm⁻³; Ca = 1,70 cm⁻³; Mg = 0,72 cm⁻³; H+Al= 7,63 cm⁻³; Cu = 0,78 mg L⁻¹; Fe = 196 mg L⁻¹; Mn = 39 mg L⁻¹; Zn = 0,8 mg L⁻¹; K = 95 mg L⁻¹. O fósforo no solo foi analisado assimilável pelo método de Mehlich1 (Embrapa, 1997). Os teores de Al, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, matéria orgânica, pH em água, pH em KCl e acidez potencial (H + Al) foram determinados segundo o Manual de Análise de Solo da Embrapa (1997).

4.2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGENS

O delineamento experimental aplicado foi o de blocos ao acaso com medidas repetidas no tempo, sendo coletadas três repetições, em cada bloco (oito blocos), nas condições de lençol freático alto (B1, B2, B3, B4) e lençol freático baixo (B1, B2, B3, B4), em cada um dos períodos (Figura 4.2).

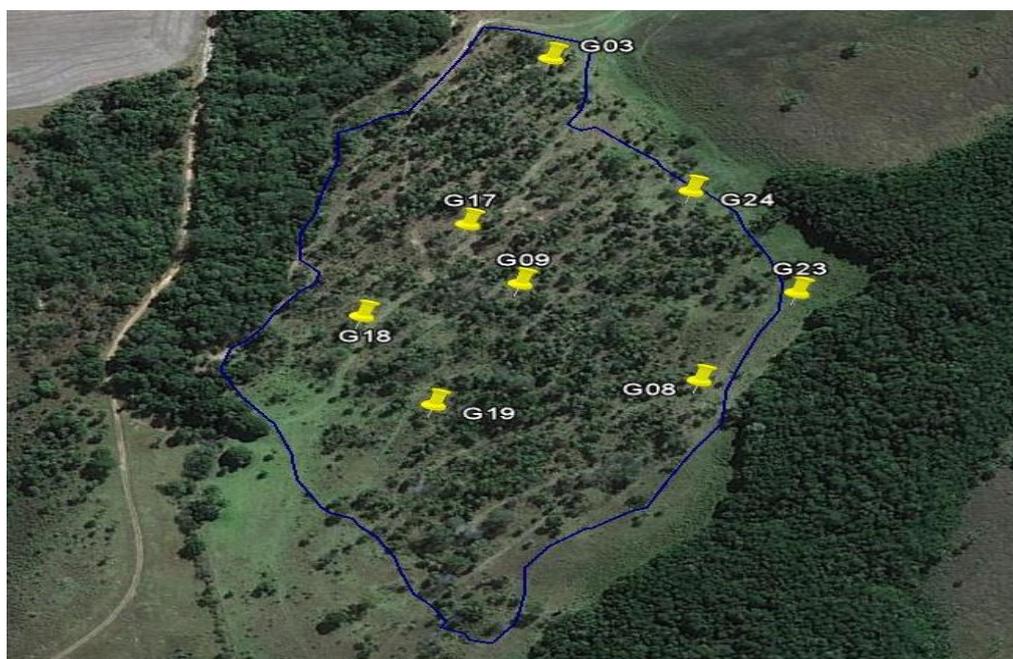


Figura 4.2 - Fazenda Santa Fé e área de ocorrência natural de macaúba, São Gabriel-GO, 2011. Fonte: Google Earth/2011; GPS: Datum-WES 84.

Para a avaliação da altura da água do lençol freático foram realizadas perfurações no solo até a profundidade de 3 metros em todos os pontos de localização dos blocos, a fim

de avaliar a variação do nível do lençol freático correspondente às duas diferentes áreas de avaliação do lençol existentes na área (Figura 4.3).

A verificação da profundidade da água subterrânea era feita através de uma régua graduada denominada de trena que possui um sensor em sua extremidade, medindo-se desde a superfície do solo até a lâmina d'água para indicar as suas respectivas variações.

As palmeiras de macaúba que ficavam mais próximas dos mananciais hídricos e que atingiam 1,25 metros de profundidade, o local de estudo foi identificado de lençol freático alto. As macaubeiras que se situavam mais distantes dos cursos d'água e que possuíam aproximadamente 3,0 metros de profundidade, a região foi identificada como lençol freático baixo. Esse procedimento foi realizado no período de dezembro de 2010 a janeiro de 2012 durante as doze coletas realizadas para o presente estudo.

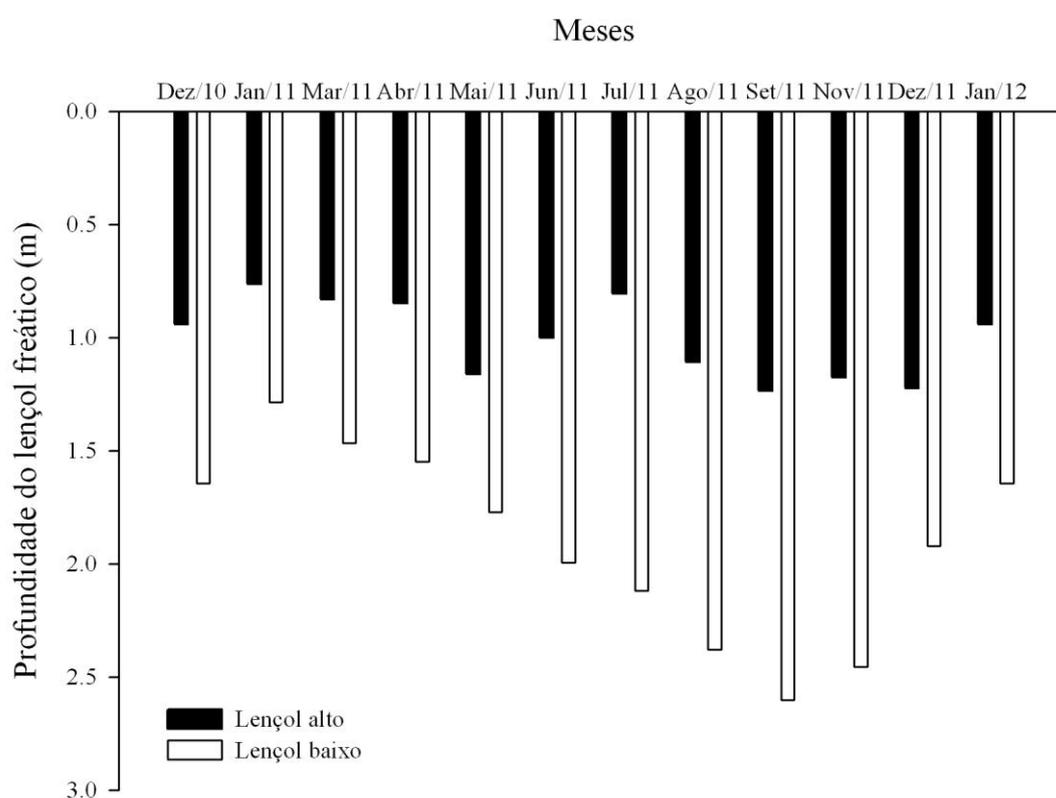


Figura 4.3 - Profundidade de lençol freático na área de ocorrência de uma população natural de macaúba, município de São Gabriel-GO, 2011.

Plantas de macaúba foram selecionadas ao acaso, nesses blocos, sob duas condições diferentes do lençol freático. Nesses pontos, foram coletadas folhas de macaúba para preparo dos *litter bags*¹.

¹ São sacolas de tela de nylon de malha de 2 mm.

No total, foram realizadas 12 retiradas de *litter bags* para calcular os índices de decomposição e determinar a composição química em relação à lignina, celulose, hemicelulose, nitrogênio e macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S).

4.3 - DETERMINAÇÃO DO PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA

Para determinar os índices de decomposição de material vegetal da macaúba, foram preparados *litter bags* de 20 x 20 cm, contendo 20 gramas do material vegetal cortado e seco em estufa a 65°C durante 72 horas. Os *litter bags* foram retirados do campo com 30, 60, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 360, 390 e 420 dias da área de ocorrência natural de macaúba. Após cada uma dessas extraídas das sacolas do campo, o material foi pesado e, em seguida, colocado em estufa a 65 °C por 72 horas (matéria seca final). O material seco, depois de pesado, foi queimado em mufla² a 600 °C (Figura 4.4), por um período mínimo de oito horas para obter o conteúdo inorgânico final do material vegetal (CARVALHO et al., 2008). A taxa de resíduos vegetais remanescentes no solo foi obtida pela diferença entre a quantidade total inicial dos resíduos (100%) e cada um dos índices de decomposição em percentagem. Esses dados foram ajustados ao modelo exponencial, com a taxa de resíduos remanescentes em função do tempo ($TR = 100 * e^{k*(t)}$). Com base na constante (k) da equação exponencial ($TR = 100 * e^{k*(t)}$) foi feito o cálculo de meia-vida ($h = \ln 2/k$) e o tempo de reciclagem ($\tau = 1/k$) do material vegetal de macaúba.

A determinação do processo e cálculo do índice de decomposição a cada retirada e da respectiva porcentagem de matéria decomposta foram adaptados por Santos e Whitford (1981).

² Forno mufla é um tipo de estufa para altas temperaturas usada em laboratórios, principalmente de química, sendo utilizada na calcinação de substâncias. Consiste basicamente de uma câmara metálica com revestimento interno feito de material refratário e equipada com resistências capazes de elevar a temperatura interior a valores acima de 1000 °C. As muflas mais comuns possuem faixas de trabalho que variam de 200°C a 1400°C (Figura 4.4).



Figura 4.4 - Queima de material vegetal de macaúba na mufla por 72 horas a 600 °C. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.

4.4 – DETERMINAÇÃO DE TEORES DE LIGNINA, CELULOSE E HEMICELULOSE DE FOLHAS DE MACAÚBA

Determinações de teores de lignina, celulose e hemicelulose foram realizadas no material vegetal (folhas verde e seca) e nos resíduos vegetais de cada uma das retiradas do material do interior dos *litter bags* pelo método sequencial (ROBERTSON e VAN SOEST, 1981). As análises de matéria seca a 105°C, de fibra em detergente ácido (FDA), de fibra em detergente neutro (FDN) e lignina também são efetuadas por esse método sequencial. Os teores de hemicelulose e celulose foram calculados em função dos teores de FDN e FDA e lignina. O nitrogênio no material vegetal foi determinado após digestão nítrico-perclórica e o método de análise foi o semi-micro Kjeldahl (SILVA, 1999).

Na determinação de matéria seca, foi utilizada estufa a 105°C e os conteúdos orgânicos e inorgânicos foram determinados pela queima das amostras em mufla a 600°C durante oito horas. As diferenças entre as pesagens antes e depois da secagem e depois da queima em mufla possibilitaram a obtenção dos valores de matéria seca, matéria orgânica e matéria inorgânica.

As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e na fibra em detergente ácido (FDA) foram feitas pelo sistema ANKON, como descrito por Berchielli (2001), o aparelho determinador de fibras ANKON 220 (Figura 4.5). Os cálculos foram feitos e baseados nas fórmulas propostas por Silva (1990).



Figura 4.5 - Aparelho determinador de fibras. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.

A análise de lignina foi feita por digestão do resíduo de FDA (Figura 4.6), com ácido sulfúrico a 72%, o que extrai a celulose e a hemicelulose, gerando como resíduo a lignina e a matéria inorgânica. A determinação dos teores de hemicelulose e celulose foi dada pelas diferenças entre os resíduos de FDN e FDA (Figura 4.7) e entre resíduos de FDA e lignina, respectivamente. O teor de lignina foi dado pela diferença entre o resíduo da digestão com ácido e as cinzas após queima em mufla a 600°C durante quatro horas.

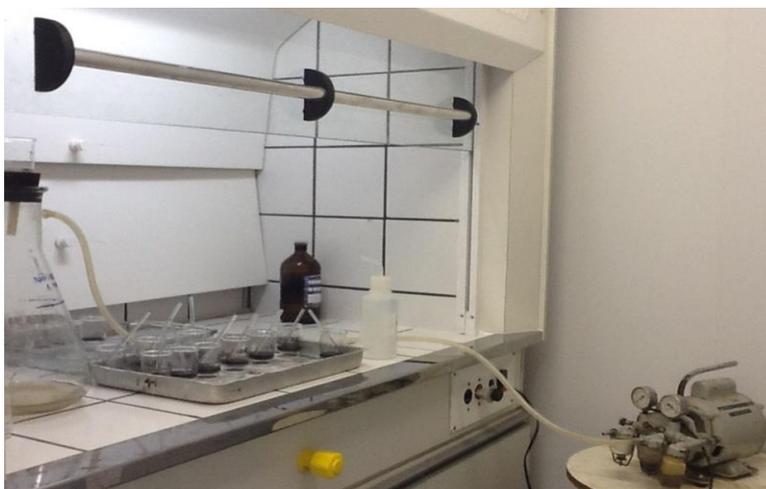


Figura 4.6 - Resíduo da digestão com ácido para a determinação do teor de lignina. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.



Figura 4.7 - Fibra de detergente neutro e fibra de detergente ácido, utilizados para a realização das análises de matéria seca a 105°C. Fonte: Embrapa Cerrados, 2012.

A determinação de nitrogênio total nas amostras foi feita pelo método Kjeldahl. Este método, em síntese, consiste das seguintes etapas FONTANA (2012): digestão das amostras pelo ácido sulfúrico junto ao catalisador, em blocos digestores; destilação com hidróxido de sódio e tratamento do destilado com ácido bórico e um indicador; titulação, no caso com uso de ácido sulfúrico, até a viragem do indicador. Os teores dos macronutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, segundo a metodologia de Malavolta et al. (1997).

4.5 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS

Os dados foram submetidos à análise de regressão com o uso do software Sigma Plot 10.0 (Systat Software, Inc., San Jose, California, USA). A razão C/N e a razão L/N nos resíduos remanescentes ao longo do tempo foram ajustadas ao modelo polinomial cúbico. Para as análises de lignina, celulose e hemicelulose nos resíduos remanescentes durante o processo de decomposição foram ajustadas ao modelo polinomial quadrático.

Os dados obtidos foram submetidos à Análise e Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta.

Estas análises realizadas tiveram o auxílio do software estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 9.1.2. Os dados de decomposição foram ajustados ao modelo

exponencial, com a taxa de resíduos remanescentes em função do tempo, da qual se extraiu a constante (k) para o cálculo de meia vida e tempo de reciclagem do material vegetal.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA

A análise de variância mostrou efeitos significativos dos períodos de coletas (Época) e das condições de lençol freático (alto e baixo) sobre o processo de decomposição (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Análise de variância do processo de decomposição de resíduos vegetais de uma população natural de macaúba.

FV	GL	SQ	QM	F
Época (Meses)	11	23949.91	2177.26	44.62**
Condição	1	509.22	509.22	10.44**
Interação ExC	1	572.44	52.04	1.07 ns
MG		39,46		
CV (%)		17,70		

**; *; ns: Significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste F, respectivamente.

As médias dos índices de decomposição dos resíduos vegetais de macaúba apresentaram diferenças entre as épocas nas duas alturas do lençol freático durante as avaliações da decomposição (Tabela 5.2). Esse comportamento, tanto em relação à época de avaliação quanto à altura do lençol freático, indicam a influência da precipitação pluviométrica no processo de decomposição. A temperatura também afeta na decomposição de material vegetal, principalmente, ao influenciar a biomassa e atividade dos microrganismos (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

Tabela 5.2 - Valores médios dos índices de decomposição de resíduos vegetais de macaúba sob lençol alto e baixo, no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO.

Época (Meses)	Índice de Decomposição	
	Lençol Alto	Lençol Baixo
Dezembro	80,48 a	77,97 a
Janeiro	54,39 b	62,14 b
Março	55,37 b	58,51 b

Índice de Decomposição		
Época (Meses)	Lençol Alto	Lençol Baixo
Abril	46,36 b	41,57 b
Mai	39,97 c	45,26 b
Junho	30,19 c	35,59 c
Julho	33,62 c	45,37 b
Agosto	37,30 c	37,76 c
Setembro	32,11 c	26,57 c
Novembro	27,00 c	36,37 c
Dezembro	19,61 d	26,60 c
Janeiro	18,02 d	19,01 d

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Na Tabela 5.3 é identificada uma diferença estatística apenas na primeira avaliação (Dezembro de 2010), diferentemente dos demais meses de estudo.

Tabela 5.3 - Valores médios dos índices de decomposição de resíduos vegetais de macaúba em relação à altura do lençol (alto e baixo), no período de Dezembro de 2010 a Janeiro de 2012, São Gabriel, GO.

Índice de Decomposição em Relação à Altura do Lençol Freático		
Época (Meses)	Lençol Alto	Lençol Baixo
Dezembro	80,48 a	77,97 b
Janeiro	54,39 a	62,14 a
Março	55,37 a	58,51 a
Abril	46,36 a	41,57 a
Mai	39,97 a	45,26 a
Junho	30,19 a	35,59 a
Julho	33,62 a	45,37 a
Agosto	37,30 a	37,76 a
Setembro	32,11 a	26,57 a
Novembro	27,00 a	36,37 a
Dezembro	19,61 a	26,60 a
Janeiro	18,02 a	19,01 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

O processo de decomposição dos resíduos vegetais da macaúba é avaliado em áreas sob condições de lençol freático alto e baixo (Figura 5.1). Esse decaimento foi dividido com base na distribuição de chuvas no bioma Cerrado: Período chuvoso e Período de seca.

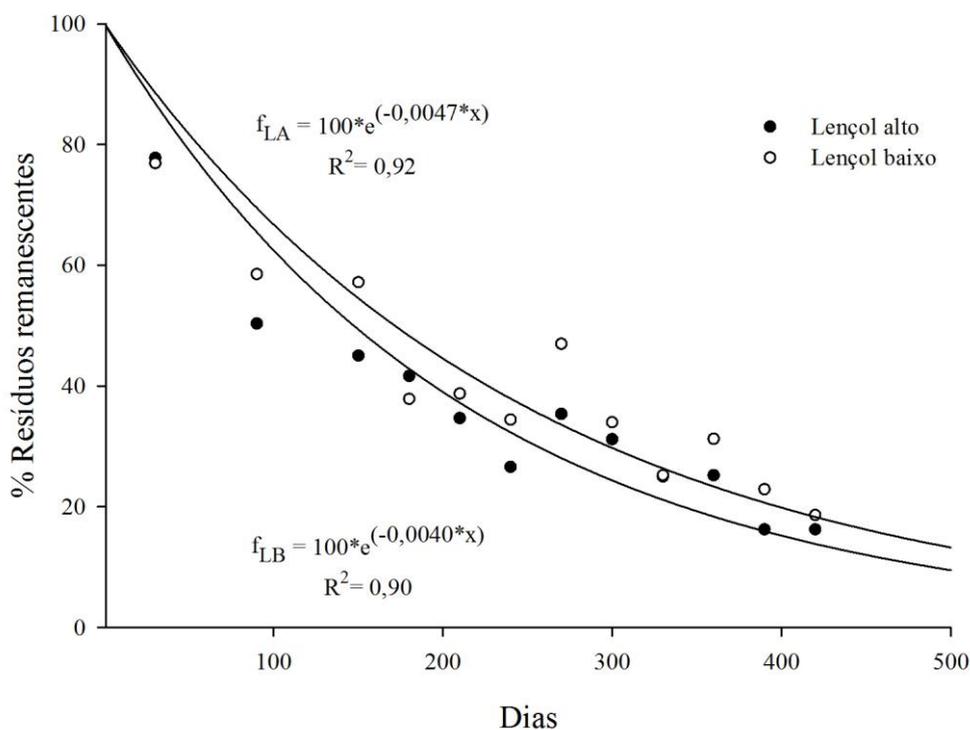


Figura 5.1 - Processo de decomposição de resíduos vegetais de uma população natural de macaúba, em áreas com lençol freático alto e baixo, São Gabriel-GO, 2010-2012.

A decomposição dos resíduos vegetais de macaúba para a condição do lençol baixo foi semelhante à do lençol alto. Os dados indicam que não houve diferença significativa na velocidade de decomposição dos resíduos vegetais sob as duas condições de lençol freático durante o período chuvoso e o período de seca. A ocorrência das macaubeiras em regiões próximas e mais distantes de mananciais hídricos indica que essa espécie se adapta em diferentes áreas. Segundo Manfio et al. (2010; 2011), levantamentos de campo indicaram que maciços naturais de macaúba ocorrem em diferentes condições. A partir desses dados, infere-se que a altura do lençol freático e a precipitação pluviométrica praticamente não influenciaram na dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais da macaúba. Nas duas variações do lençol freático (alto e baixo), o modelo exponencial foi ajustado aos dados de massa remanescente em que se apresenta adequado, pois seus respectivos coeficientes angulares foram idênticos nas duas equações.

A estabilidade verificada no processo de decomposição dos resíduos vegetais de macaúba dos 180 aos 300 dias ocorreu nos meses em que o lençol freático se manteve mais

baixo, nas duas condições de umidade. Essa é uma característica climática do bioma Cerrado, com a estação seca bastante severa, quando a ação de microrganismos é limitada pelo estresse hídrico, praticamente paralisando o processo de decomposição. A distribuição das chuvas e a umidade do solo são fatores que influenciam a biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES et al., 2005), o que também deve ter contribuído para esse comportamento diferenciado da dinâmica de decomposição de resíduos vegetais de macaúba nas estações seca e chuvosa.

Zaharah e Bah (1999) também não observaram a interferência da frequência de chuvas na taxa de decomposição e liberação de nutrientes para gliricídia (*Gliricidia sepium*), porém, Oliveira et al., (2003) encontraram alterações drásticas para o amendoim forrageiro, quando consideradas as estações seca e chuvosa.

Com base na constante (k) da equação ajustada, calculou-se a meia-vida do resíduo ($h = \ln 2/k$), que corresponde ao período de tempo para decomposição de 50% da massa inicial. Os valores estimados de meia vida foram 147 e 173 dias, enquanto os dados obtidos no cálculo de tempo de reciclagem para o material vegetal de macaúba foram de 213 e 250 dias, sob lençol freático alto e baixo, respectivamente. Esses valores são relativamente próximos, indicando um comportamento semelhante no processo de decomposição nas duas condições de umidade. Esses dados se mostraram mais elevados que os obtidos para algumas espécies utilizadas para a formação de palhada no sistema plantio direto no Cerrado, como feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) (CARVALHO et al., 2011; 2012).

Após 420 dias do início da avaliação do processo de decomposição do material vegetal de macaúba, a quantidade remanescente de resíduos foi de 15% e 19% em relação à massa inicial, nessa ordem, sob condições de lençol alto e baixo. Esses valores são menores do que os resultados obtidos para a palhada de cana-de-açúcar, correspondentes a 36% de seu conteúdo inicial (COSTA et al., 2013). Porém, estão de acordo com os resultados obtidos para diferentes plantas de cobertura nesse bioma (CARVALHO et al., 2008; 2009; 2011; 2012).

5.2 – AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS E NUTRIENTES DA FOLHA DE MACAÚBA

Observaram-se diferenças significativas entre as folhas verde e seca da macaúba quanto aos dados obtidos dos componentes estruturais da lignina e da celulose (Tabela 5.

4). Na folha verde, os teores desses dois componentes (lignina e celulose) foram significativamente inferiores aos da folha seca. Não houve efeito significativo da condição de altura de lençol freático ($P > 0,05$) para os teores médios dos componentes estruturais químicos presentes em folhas verdes e secas de macaúba.

Tabela 5.4 - Comparação de teores médios dos componentes estruturais químicos presentes em folhas verdes e secas de macaúba, São Gabriel-GO.

Componentes Estruturais das Folhas de macaúba (%)			
Folhas	Lignina	Celulose	Hemicelulose
Verdes	7,88 b	30,31 b	16,66 a
Secas	10,95 a	36,00 a	17,82 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao teste de ao nível Scott-Knott de 5% de probabilidade.

Os valores obtidos de lignina e de celulose são maiores do que os dados obtidos por Neumann et al. (2002) em um experimento com diferentes híbridos de sorgo, no qual identificaram teores de lignina variando de 4,91 % a 4,22 % e de celulose entre 22,75 % e 26,66 % na matéria seca da parte aérea. Van Soest (1994) também verificou maior grau de lignificação à medida que aumenta a idade das plantas, concordando com os resultados obtidos, conseqüentemente, menor acessibilidade microbiana. Em relação à hemicelulose, devido à sua alta solubilidade, não ocorre concentração no material em estágio mais avançado de idade (folha seca). Segundo Tauk (1990), a lignina, a celulose e a hemicelulose constituem 50 a 80% da matéria seca das folhas.

As médias dos nutrientes das folhas (verdes e secas) de macaúba são apresentadas com as respectivas comparações estatísticas (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Médias obtidas dos macronutrientes presentes em resíduos de folhas verdes e secas de macaúba.

Teores de Macronutrientes das Folhas de Macaúba (g kg^{-1})						
	N	P	K	Ca	Mg	S
Verdes	13,38 a	1,76 a	7,95 a	5,91 b	2,34 a	0,69 a
Secas	10,10 b	1,33 b	3,54 b	7,08 a	2,84 a	0,50 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao teste de Scott-Knot nível de 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo das condições de altura do lençol freático para P, Ca e S, mas não ocorreu influência da altura do lençol para os nutrientes N, K e Mg.

Os teores de N, P, K e S foram significativamente ($P < 0,05$) mais elevados nas folhas verdes, indicando que nesse estágio vegetativo esses nutrientes ainda não foram transportados para a formação de frutos, e que antes de cair no solo, as folhas reciclam a maior parte desses nutrientes. Os teores de Ca e Mg foram mais elevados nas folhas secas, contrariando o transporte de nutrientes durante o processo de senescência.

A maior quantidade de Ca ocorre nas folhas velhas, decorrente de sua baixa mobilidade na planta (SOBRAL, 1998). Enquanto que Santos et al. (2003) também constataram um aumento no teor de Ca com o envelhecimento da folha.

Broschat (1997) afirmou que a relação entre concentração foliar de Mg e idade da folha é variável entre espécies de palmeiras e dentre as variedades de coqueiro.

O teor de K obtido nas folhas verdes de macaúba foram próximos aos valores encontrados em um estudo sobre a avaliação nutricional para o coqueiro anão com o teor entre 6 e 8 g/Kg, estando acima do nível crítico (MAGAT, 1991). Ollivier (1993) observou que os sintomas visuais de falta de K manifestam-se com teores foliares abaixo de 5 g/kg, quando as plantas já estão em processo severo de deficiência nutricional.

Santos et al. (1997) ao avaliarem o consumo da folha de macaúba e o consumo da folha de acuri como suplemento alimentar em um pasto para equinos no Pantanal, verificaram maiores teores de proteína bruta, cálcio e fósforo no material vegetal de macaúba do que no material vegetal de acuri.

5.3 – DECOMPOSIÇÃO DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS DO MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA

A Figura 5.2 mostra a dinâmica de decomposição da lignina no material vegetal de macaúba, nas condições de lençol freático alto e baixo.

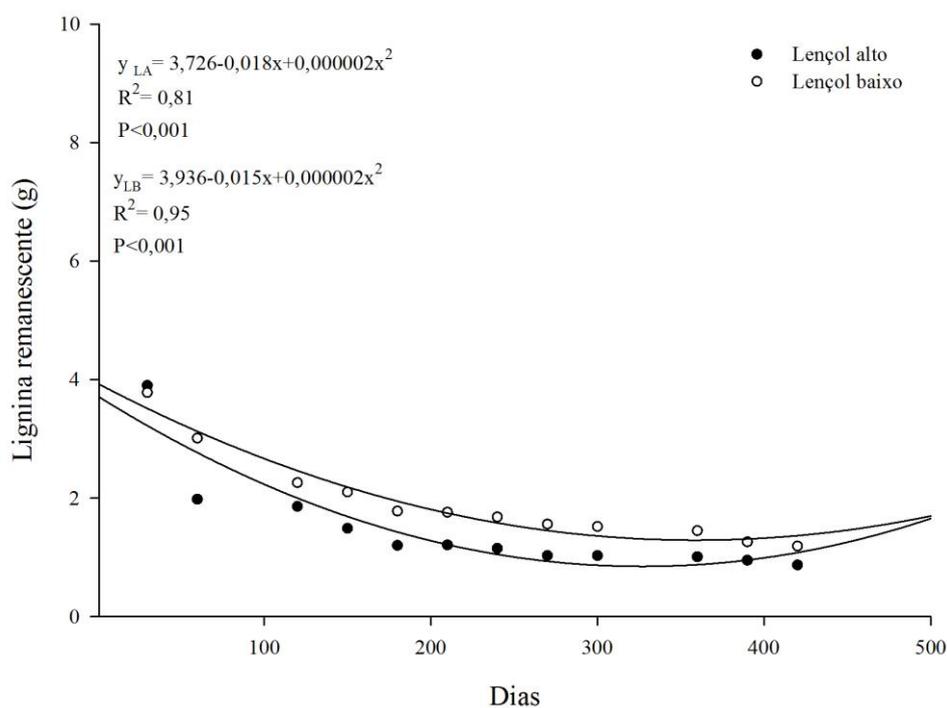


Figura 5.2 - Teores de lignina nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba, São Gabriel-GO, 2011.

A cinética de liberação da lignina nos resíduos de macaúba foi mais intensa no início do processo de decomposição e se estabilizou no período de seca plena em ambas as condições da altura do lençol freático. Considerando que esse período inicial de maior decomposição corresponde aos primeiros 60 dias após a colocação dos *litter bags* no campo, a precipitação acumulada atingiu cerca de 330 mm (Figura 4.1).

Aumentos do conteúdo de lignina durante o processo de decomposição também foram verificados por Musvoto et al. (2000), em estudo sobre a decomposição de folhas de mangueira. Neste sentido, eles associam o aumento da lignina com a entrada de pequenas partículas orgânicas nos sacos de decomposição (*litter bags*). Essas partículas em estágios mais avançados de decomposição seriam pobres em compostos orgânicos solúveis, mas ricas em compostos recalcitrantes.

A Figura 5.3 apresenta o processo de decomposição da celulose no material vegetal de macaúba, nas condições de lençol freático alto e baixo.

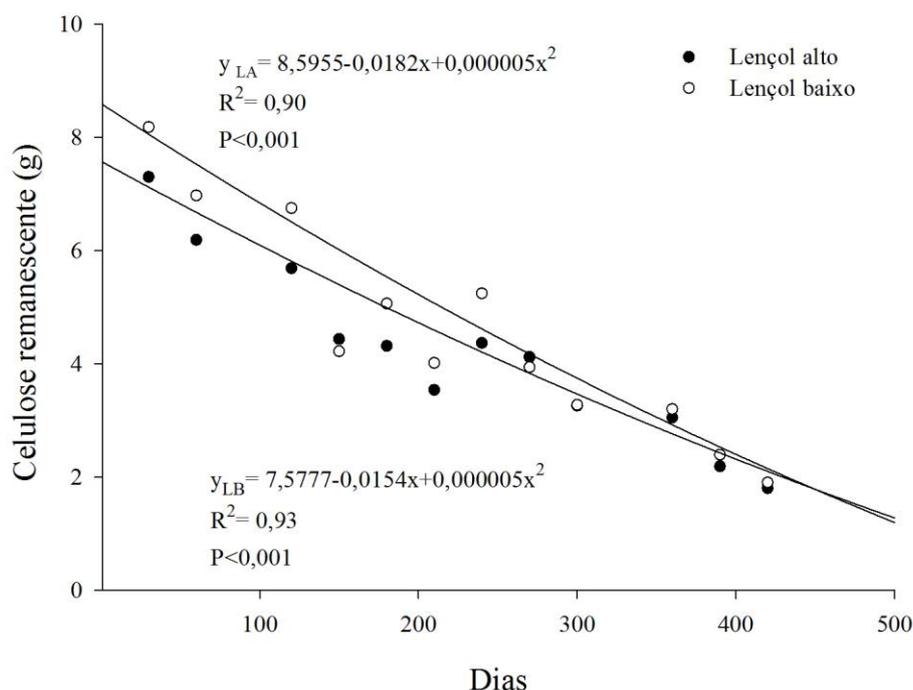


Figura 5.3 - Teores de celulose nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

Observou-se uma redução gradual na quantidade de celulose nos resíduos remanescentes de macaúba, pelo motivo que nas duas condições do lençol freático (alto e baixo) o modelo exponencial foi ajustado com r^2 superior a 90%. Os teores de celulose foram praticamente mais elevados em relação aos da lignina e da hemicelulose.

O material vegetal que possui maiores teores de celulose, composto orgânico de difícil decomposição, é mais resistente à ação dos microrganismos (BOER et al., 2007). A celulose possibilita a permanência dos resíduos vegetais no solo, reduzindo a ação dos microrganismos e a dinâmica de decomposição.

A Figura 5.4 apresenta o processo de decomposição de hemicelulose nos resíduos vegetais de macaúba, nas condições de lençol freático alto e baixo.

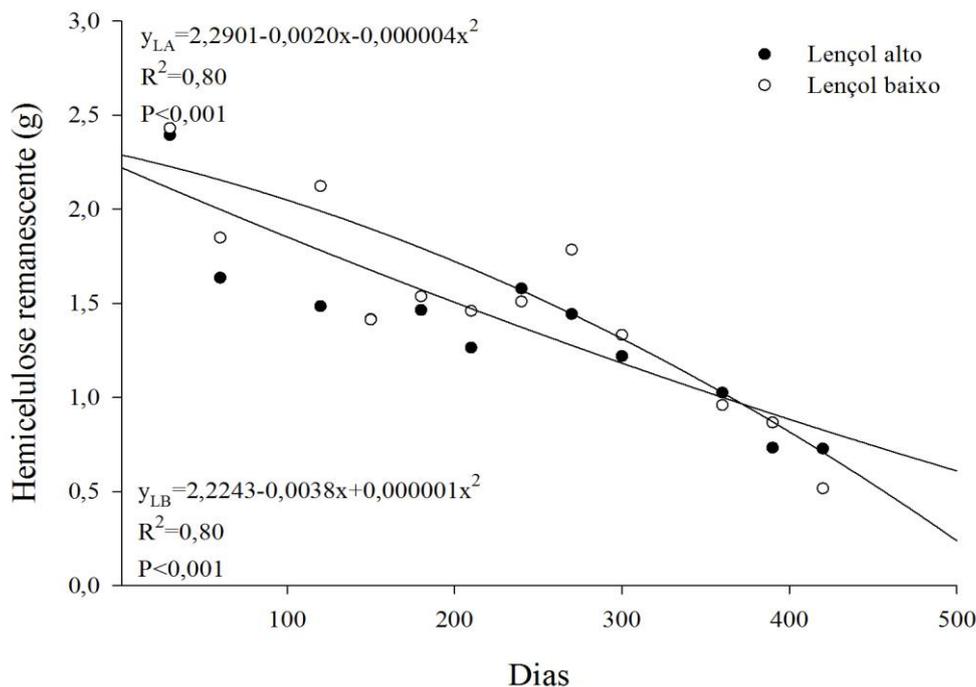


Figura 5.4 - Teores de hemicelulose remanescente de resíduos vegetais de macaúba em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

A dinâmica de liberação dessa fração orgânica, nas duas condições de lençol freático, ajustou-se ao modelo polinomial quadrático. Na condição de lençol freático alto, verifica-se uma queda brusca nos teores de hemicelulose, apenas aos 60 dias de decomposição, no início do experimento. Houve uma breve estabilização a partir deste período até 210 dias (maio de 2011) e, à medida que o processo avança, o seu conteúdo diminui gradativamente. Na condição de lençol freático baixo, observa-se que aos 60 dias, a decomposição de hemicelulose foi menos acentuada em relação à condição de lençol alto e que no decorrer do processo de avaliação da decomposição, esse componente foi mais resistente à decomposição.

Conteúdos consideráveis de polifenóis e polissacarídeos, como hemicelulose e lignina podem reduzir os teores de nutrientes em razão da proteção física dos constituintes celulares ao ataque microbiano (COBO et al., 2002).

A análise de variância dos componentes estruturais remanescentes dos resíduos vegetais de macaúba (Tabela 5.6) mostrou que houve efeito significativo nos períodos de avaliações nas concentrações de lignina, celulose e hemicelulose. Verifica-se que não houve divergência na concentração de lignina e hemicelulose para as duas condições de lençol freático (alto e baixo), diferindo apenas da celulose que obteve diferença nas duas

condições avaliadas. Não houve efeito na interação entre o período de coleta e a altura do lençol freático sobre os teores desses componentes.

Tabela 5.6 - Valores de F e a significância da análise de variância dos componentes químicos no resíduo vegetal da macaúba.

FV	GL	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
Época (Meses)	11	5,48 **	23,86 **	5,02 **
Condição	1	0,68 ns	4,55 *	1,18 ns
Interação ExC	12	0,83 ns	1,62 ns	1,38 ns
Média Geral		21,24	48,47	16,95
CV (%)		36,84	9,35	18,24

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo.

Gouveia et al. (2009) ao estudarem a caracterização química do bagaço da cana-de-açúcar, obtiveram os seguintes valores para os teores de celulose, hemicelulose e de lignina, respectivamente, 42,8; 25,8 e 22,1%. Esses resultados tiveram as concentrações para os teores de hemicelulose mais elevados do que os valores encontrados neste estudo (48,47; 16,95; 23,0%) nas duas condições de lençol freático. A concentração de celulose e de lignina encontrada nesta análise foi relativamente maior do que o resultado obtido por esses autores, indicando o quanto a presença destes componentes são expressivos no resíduo vegetal de macaúba.

As médias dos componentes químicos indicaram diferenças entre si durante a avaliação, propondo a resistência dos mesmos ao processo de decomposição (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Comparação das médias dos componentes químicos no resíduo vegetal de macaúba, sob diferentes condições do lençol freático.

Componentes Químicos			
Época (Meses)	Lignina	Celulose	Hemicelulose
30 Dias	16,33 a	48,86 b	15,17 b
60 Dias	12,45 a	56,02 a	14,87 b
120 Dias	15,36 a	55,41 a	15,85 a
150 Dias	12,17 a	48,38 b	15,62 b
180 Dias	8,09 b	56,63 a	18,63 a
210 Dias	13,48 a	53,54 a	19,40 a
240 Dias	8,41 b	52,88 a	17,78 a

Componentes Químicos			
Época (Meses)	Lignina	Celulose	Hemicelulose
270 Dias	12,96 a	53,97 a	21,25 a
300 Dias	13,09 a	52,68 a	20,89 a
360 Dias	13,00 a	45,15 c	14,57 b
390 Dias	10,98 a	45,46 c	15,86 b
420 Dias	10,24 a	43,22 c	12,92 b
Condição do Lençol			
Alto	10,96 a	49,38 a	17,27 a
Baixo	11,59 a	47,55 b	16,63 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si ao teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 5.5 a celulose se decompõe mais rapidamente nas duas alturas do lençol, à medida que o processo avança.

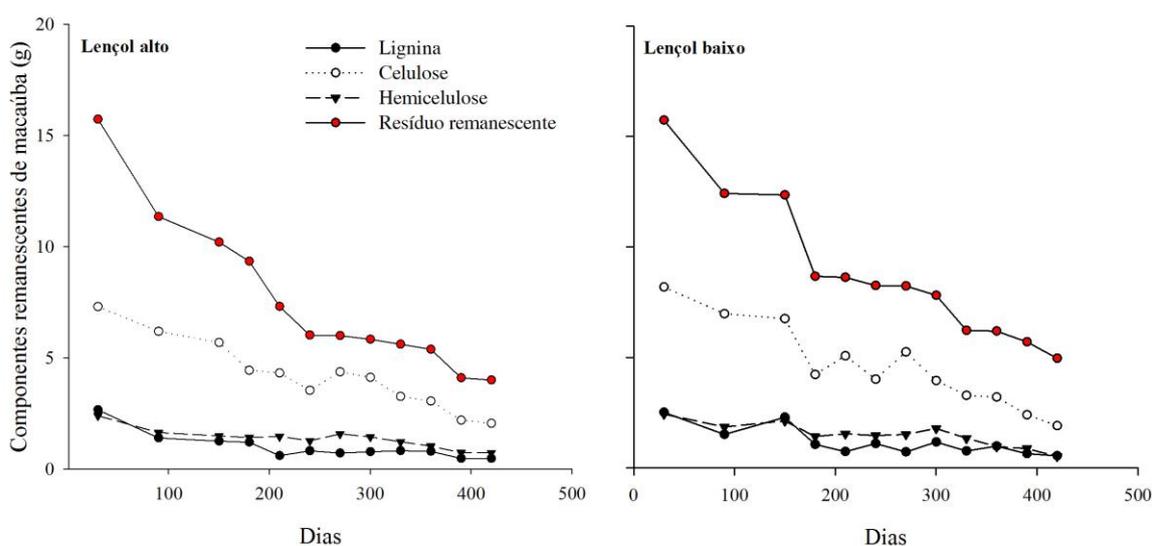


Figura 5.5 - Quantidades de lignina, celulose e hemicelulose (g) nos resíduos vegetais de macaúba, nas condições de lençol freático alto e baixo, São Gabriel-GO, 2011.

No lençol mais elevado, aos 60 dias de estudo, a lignina decai praticamente em 50% de seu teor no processo de degradação, porém, no decorrer deste declínio, tanto a lignina quanto a hemicelulose possuem comportamentos bastante semelhantes. Na condição do lençol mais baixo, a partir dos 180 dias, ocorre uma ligeira predominância da hemicelulose em relação à lignina, durante o processo de decomposição no material vegetal de macaúba. A susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química quanto aos teores de nitrogênio, celulose,

hemicelulose, lignina, lignina: N e polifenóis (ESPINDOLA et al., 2006; CARVALHO et al., 2012).

5.4 - C/N, L/N E MACRONUTRIENTES EM MATERIAL VEGETAL DE MACAÚBA EM DECOMPOSIÇÃO

A Figura 5.6 apresenta razão C/N, resistente ao decaimento ao longo dos 420 dias na condição de lençol freático alto. E na qualidade de lençol baixo, verifica-se a mesma persistência do material vegetal de macaúba. O modelo polinomial foi ajustado com r^2 superior a 50% nas duas condições do lençol freático (alto e baixo).

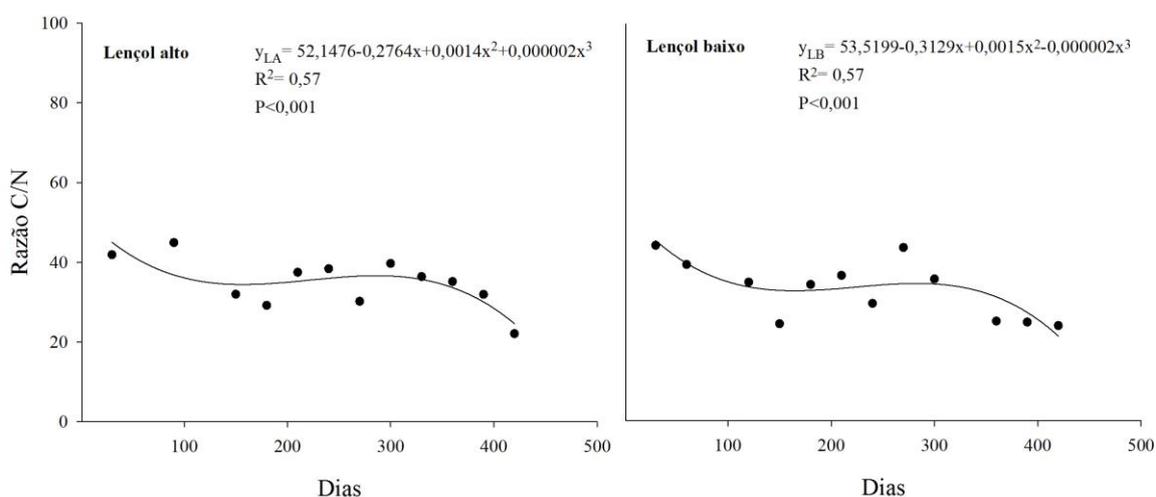


Figura 5.6 - Razão C:N dos resíduos vegetais de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

Estes resultados comprovam que a susceptibilidade dos resíduos vegetais de macaúba à decomposição está associada às relações entre C e N, onde este fator é determinante para obter uma mineralização mais lenta ou mais rápida dos resíduos vegetais. Para uma rápida decomposição do material vegetal, a razão C/N deve ser inferior a 20, favorecendo a ciclagem de nutrientes (ROSOLEM et al., 2003), porém, uma razão C/N entre 30 e 40, promove maior permanência dos resíduos vegetais no solo e maior eficiência de cobertura do solo, constituindo também, de uma reserva de nutrientes imobilizados na palha que podem ser liberados mais lenta e gradativamente (PAULETTI, 1999).

Carvalho et al. (2012) constataram que a relação C/N é o parâmetro que melhor explica o processo de decomposição de resíduos vegetais de plantas de cobertura em sistema de plantio direto no Cerrado.

A razão lignina:N (L/N) sugere um decaimento mais acentuado para a condição de lençol freático alto apenas no início do processo e, posteriormente, aos cem dias, a degradação ocorre mais lentamente (Figura 5.7).

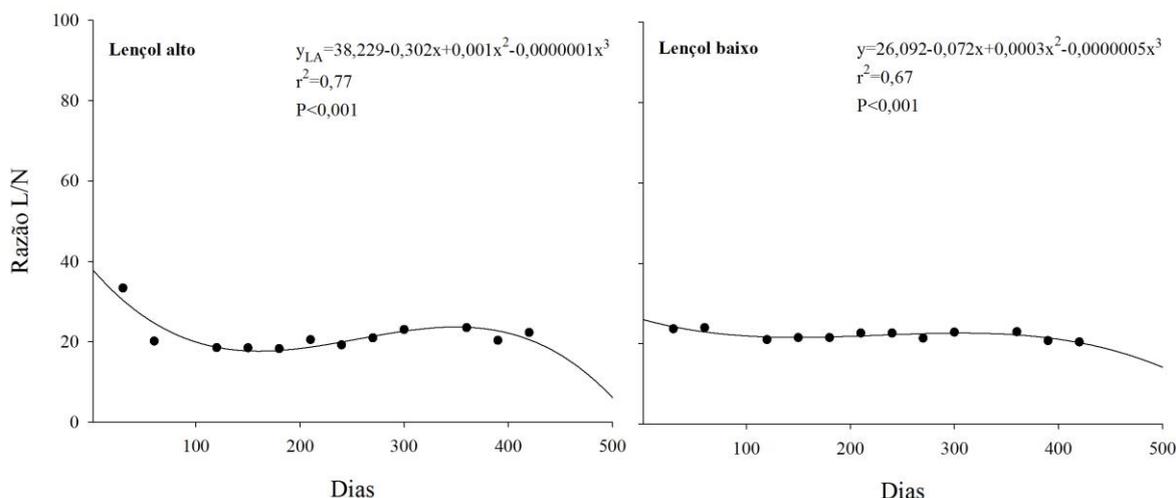


Figura 5.7 - Razão lignina:N nos resíduos vegetais de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

Já para a condição de lençol freático baixo, observa-se um comportamento estável da decomposição dos resíduos vegetais de macaúba. Monteiro et al. (2002), ao avaliarem a dinâmica de decomposição de algumas gramíneas e leguminosas forrageiras, encontraram valores inferiores aos dados obtidos neste estudo.

Os períodos de avaliações exerceram efeitos significativos sobre os teores dos macronutrientes avaliados (Tabela 5.8). Os teores de N, P, K, Ca, Mg e S apresentaram variações durante todo o processo de avaliação. Os valores obtidos dos nutrientes N, K e Mg analisadas durante o processo de decomposição de material vegetal de macaúba não foram influenciadas pelas condições da altura do lençol, enquanto que para P, Ca e S, ocorreram efeitos significativos das condições de altura do lençol freático.

Tabela 5.8 - Valores de F e a significância da análise de variância dos efeitos dos fatores (época e condição) e de suas interações nos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) dos resíduos vegetais de macaúba.

FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Época (meses)	12	5,77**	24,27**	45,34**	5,96**	3,55**	7,10**
Condição	1	2,41 ^{ns}	4,19*	0,03 ^{ns}	4,38*	1,93 ^{ns}	16,34**
ExC	12	0,85 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,95 ^{ns}

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade, ns não significativo.

Os resultados obtidos durante o processo de decomposição para os teores de potássio divergem dos dados obtidos por Crusciol et al. (2005), que encontraram taxas de liberação de K próximo a zero, na palhada de nabo forrageiro, aos 50 dias após o manejo. A elevada liberação do K deve-se ao fato que esse elemento não apresenta funções estruturais nas plantas, permanecendo na forma iônica nos tecidos e, também, não está incorporado às cadeias carbônicas da matéria orgânica, após a colheita ou senescência das plantas, ele pode voltar rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas, fazendo dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo um reservatório expressivo de K a um curto prazo (ROSOLEM et al., 2003).

Na Tabela 5.9 são apresentados os teores dos nutrientes em material vegetal de macaúba nas duas condições de lençol freático (alto e baixo).

Tabela 5.9 - Valores de nutrientes em material vegetal da macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

Teores de Macronutrientes (g kg ⁻¹)						
Época (Meses)	N	P	K	Ca	Mg	S
Dezembro	10,08 b	1,00 b	1,35 a	5,02 c	1,91 b	0,42 b
Janeiro	10,07 b	0,88 a	1,23 a	4,61 c	1,82 b	0,34 c
Março	10,19 b	0,87 a	1,40 b	4,33 c	1,75 b	0,38 c
Abril	10,94 b	0,91 a	1,67 b	4,07 c	1,71 b	0,36 c
Maió	10,94 b	0,91 a	1,69 b	5,26 c	2, 02 b	0,38 c
Junho	11,18 b	1,01 b	1,71 c	6,17 b	2,47 a	0,44 b
Julho	10,85 b	1,06 b	1,87 c	4,73 c	2,03 b	0,49 b
Agosto	10,54 b	1,09 b	1,44 b	5,55 b	2,15 b	0,47 b
Setembro	10,87 b	1,05 b	1,59 b	5,72 b	2,12 b	0,47 b
Novembro	11,87 a	1,05 b	1,62 b	5,68 b	2,27 a	0,51 b
Dezembro	11,95 a	1,10 b	1,74 c	6,84 a	2,45 a	0,60 a
Janeiro	11,88 a	1,13 b	1,30 a	5,67 b	2,10 b	0,57 a
Condição do Lençol Freático						
Alto	10,89 a	1,06 b	2,21 a	5,67 a	2,20 a	0,43 b
Baixo	11,22 a	1,11 a	2,23 a	5,27 b	2,08 a	0,51 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Considerando a liberação de nutrientes dos resíduos remanescentes ao longo dos 420 dias, as condições de altura do lençol freático exerceram efeitos significativos ($P < 0,05$) na liberação de P, Ca e S (Tabelas 5.8 e 5.9). Os teores de P e S foram significativamente ($P < 0,05$) mais elevados sob condição de lençol freático baixo, enquanto o teor médio de Ca foi maior sob condição de lençol freático alto. Não houve interferência na quantidade dos teores de N, K e Mg nas duas alturas do lençol freático.

Boer et al. (2007), ao avaliarem o acúmulo e a liberação de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura, verificaram que o milho e o capim-pé-de-galinha acumularam quantidades maiores de P e S que o amaranto, devido à ocorrência de elevadas precipitações durante o período de cultivo dessas culturas. Quanto ao P, a maior parte de seu conteúdo encontra-se no interior do vacúolo, na forma mineral, que tem alta capacidade de se solubilizar em água (MARSCHNER, 2012).

Esses dados indicam que a precipitação pluviométrica interfere diretamente na intensidade da liberação dos nutrientes para o solo, podendo contribuir na ciclagem de nutrientes ou na proteção dessa biota contra fatores bióticos e abióticos. A decomposição e a mineralização controlam a taxa de liberação de nutrientes e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes no solo.

A Figura 5.8 apresenta os teores (g/kg) dos macronutrientes durante o processo de decomposição do material vegetal de macaúba, no período de 420 dias de avaliações dos *litter bags*.

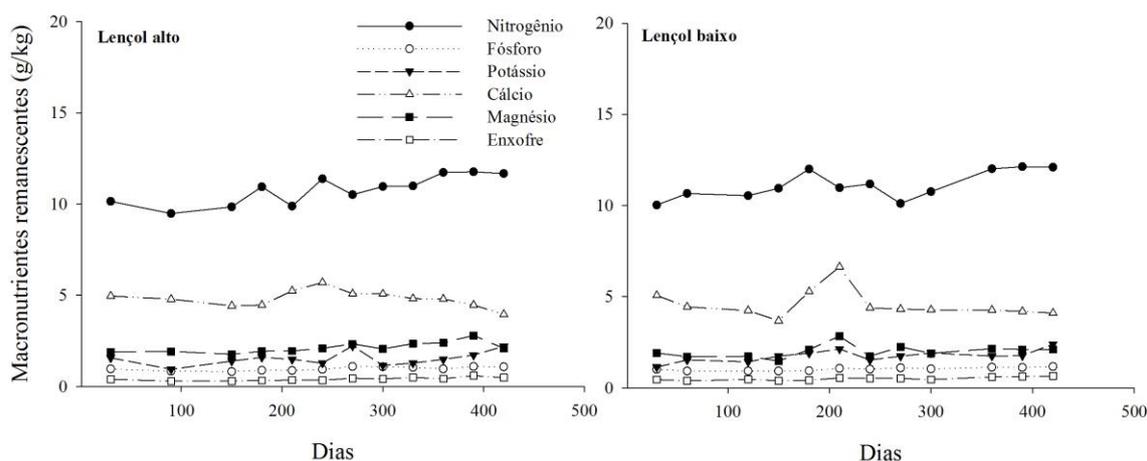


Figura 5.8 - Macronutrientes nos resíduos vegetais remanescentes de macaúba, em função do tempo de decomposição, São Gabriel-GO, 2011.

Os nutrientes apresentaram oscilações entre os períodos avaliados, tanto no lençol alto quanto no lençol baixo. Os teores de N, Ca e Mg se mantiveram relevantemente mais elevados em relação aos demais macronutrientes durante todo o processo de decomposição, nas duas condições de lençol freático.

Exceto o nitrogênio, mas a superioridade nos teores de Ca e Mg em relação aos demais nutrientes, podem estar relacionados ao aporte desses componentes pelos resíduos vegetais (MITCHELL e TU, 2006).

Os resíduos vegetais acumulados na superfície do solo constituem reserva de nutrientes, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual (PAULETTI, 1999), dependendo da taxa de decomposição dos resíduos vegetais.

6 - CONCLUSÕES

Os valores estimados de meia vida para o material vegetal de macaúba foram de 147 e 173 dias, enquanto os dados obtidos no cálculo de tempo de reciclagem foram de 213 e 250 dias, sob lençol freático alto e baixo, respectivamente.

A dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais de macaúba foi semelhante, tanto no lençol freático alto quanto no lençol freático baixo.

A resistência ao processo de decomposição da lignina, da celulose e da hemicelulose propicia proteção ao solo de fatores adversos de degradação.

Na folha verde, os teores dos componentes de lignina e de celulose foram significativamente inferiores aos teores da folha seca.

Os valores obtidos dos nutrientes de N, K e Mg analisadas durante o processo de decomposição de material vegetal de macaúba não foram influenciadas pela altura do lençol.

Para os teores de P, Ca e S houve diferença significativa nas duas condições de estudo do lençol.

Os teores de Ca nas duas condições de lençol freático se mantiveram relevantemente mais elevados em relação aos demais macronutrientes durante todo o processo de decomposição.

O material vegetal de macaúba apresenta razão C/N, resistente ao decaimento sob ambas as condições do lençol freático.

A razão L/N foi praticamente estável na avaliação de decomposição dos resíduos nas duas condições de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B. J. R. et al. **Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa.** Porto Alegre: Genesis, 2006. 216p.
- ALVES, T. S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum.** Agronomy, v.33, n.2, p.341-347, 2011.
- ARAÚJO, A. S. F. et al. **Matéria orgânica e organismos do solo.** Teresina: EDUFPI, 2008, 220p.
- ASSISTAT. **Versão 7.6 beta**, 2011. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 15 de setembro, 2011.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999. p.497.
- BERCHIELLI, T. T. et al. Avaliação da determinação da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido pelo sistema ANKOM. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, n.5, p.1572-1578, set./out. 2001.
- BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.09, p.1269-1276, 2007.
- BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. M. B. F.; MANGRICH, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v.27, n.3, p.399-403, 2004.
- BROSCHAT, K. T. Nutrient distribution, dynamics, and sampling in coconut and Canary date palms. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.122, n. 6, p.884-890, 1997.
- CARDOSO, E. L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.9, p. 1028-1035, 2010.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.
- CARTER, M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. **Agronomy Journal**, v.94, n.1, p.38-47, 2002.
- CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. Plantas condicionadoras de solo: Interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: _____. **Cerrado: adubação verde.** Brasília: Embrapa Cerrados, 2006. p.143-170.

- CARVALHO, A. M. et al. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2831-2838, 2008.
- CARVALHO, A. M. et al. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.101, p.100-107, 2009.
- CARVALHO, A. M. et al. Cover plants that present potential use in integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.103, p.103-107, 2010.
- CARVALHO, A. M. et al. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.200-1205, 2011.
- CARVALHO, A. M. et al. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science** (Print), v.63, p.1075-1081-1081, 2012.
- CASTRO, C. E. F. et al. **Biodiesel**. Campinas: 2005. 62p.
- CAVALLET, L. E.; SELBACH, P. A. Populações microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.2863-2869, out/dez, 2008.
- COBO, J. G. et al. Decomposition and nutrient release by green manure in a tropical hillside agroecosystem. **Plant and Soil**, v.240, p.331-342, 2002.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.
- COSTA, C. M.; **Decomposição de resíduos vegetais de cana-de-açúcar no Cerrado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Anais. Florianópolis: EMBRAPA, 2013.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.161-168, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA CERRADOS: **Conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental/ Embrapa Cerrados**. 2.ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**.

- Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 312p.
- ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.321-328, abr. 2006.
- FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, v.57, p.25-29, 2000.
- FONTANA, P. Considerações sobre a dosagem do nitrogênio pelo método de Kjeldahl. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, 2012.
- FORTES, I. C. P.; BAUGH, P. J. Study of analytical on-line pyrolyses of oils from macauba fruit (*Acrocomia sclerocarpa* M.) via GC/MS. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.10, n.6, p.469-477, 1999.
- FOX, R. H.; MYERS, R. J. K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. **Plant and Soil**, v.129, n.2, p.251-259, 1990.
- FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v.26, p.193-207, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, nov./dez. 2005.
- GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. Savanas Tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. cap.2, p.49-80.
- GOOGLE EARTH 6. 2011. Disponível em: <http://www.gosur.com/map/?satellite=1&gclid=CLOtmtfOx78CFQMT7AodAEgAbw>>. Acesso em: 05 de março, 2011.
- GOUVEIA, E. R. et al. Validação de metodologia para a caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v.32, p.1500-1503, 2009.
- GRAY, M. **Palm and Cycad Societies of Australia**. Disponível em: <<http://www.pacsoa.org.au/palms/Acrocomia/aculeata.html>> Acesso em: 13 de outubro, 2011.

- GRIMM U.; FASSBENDER H. W. Ciclos biogeoquímicos en un ecosistema de los Andes Occidentales de Venezuela. III. Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua. **Turrialba**, São Jose, v.31, n.2, p.89-99, 1981.
- HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. New Jersey: Princeton University, 1995. 166-167p.
- HIANE, P.A.; PENTEADO, M.V.C. Carotenóides de valores de vitamina A do fruto e da farinha de bocaiúva (*Acrocomia mokayayba* Barb. Rodr.) do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v.25, n.2, p.158-168, 1989.
- JACKSON, P. C. et al. Partitioning of soil water among trees in a Brazilian Cerrado ecosystem. **Tree Physiology**, v.19, p.714-724, 1999.
- KOGEL-KNABER, I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter. **Organic Geochemistry**, v.31, p.609-625, 2000.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v.304, p.1623-1627, 2004.
- LASSUS, C. Composição dos resíduos vegetais em um solo manejado com nove sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.375-379, 1990.
- LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.
- LLERAS, E.; CORADIN, L. **La palma macauba (*Acrocomia aculeata*) como fuente potencial de aceite combustible**. San José: FAO/CATIE, 1988. 102-122p.
- LORENZI, H. et al. **Palmeiras do Brasil: exóticas e nativas**. Nova Odessa, São Paulo: Plantarum, 1996. 1-20p.
- MACHADO, F. A. et al. Produção e qualidade da serrapilheira de três leguminosas arbóreas nativas do Nordeste do Brasil. **Archivos de Zootecnia**, v.61, n.235, p.323-334, 2012.
- MAGAT, S. S. Fertilizer recommendations for coconut based on soil and leaf analyses. **Philippine Journal of Coconut Studies**, v.16, p.25-29, 1991.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997, 319p.
- MANFIO, C. E. et al. Coleta de germoplasma de macaúba no estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7., 2010, Lavras. Anais. Lavras: UFLA, 2010.
- MANFIO, C. E. et al. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, v.41, n.1, p.70-76, 2011.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Amsterdam: Elsevier, 2012. 158p.
- MATOSO, S. C. G. et al. **Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos da Amazônia brasileira**. *Acta Amazonica*, v.42, p.231-240, 2012.
- MEIRELES, M. L. et al. **Fluxo de CO₂ em um Campo Limpo Úmido do Cerrado**. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. Anais. Caxambu: Universidade de Brasília, Departamento de Botânica, 2007.
- MITCHELL, C. C.; TU, S. Nutrient accumulation and movement from poultry litter. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.2146-2153, 2006.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Genesis, 2008. p.1-5.
- MONTEIRO, H. C. F. et al. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1092-1102, 2002.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- MTAMBANENGWE, F.; KIRCHMANN, H. Litter from a tropical savana woodland (miombo) chemical composition and C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1639-1651, 1995.
- MUSVOTO, C.; CAMPBELL, B.M.; KIRCHMANN, H. Decomposition and nutrient release from mango and miombo woodland litter in Zimbabwe. **Soil Biology and Biochemistry**, v.32, p.1111-1119, 2000.
- NEGRELLE, R. R. B. et al. Composição e estrutura do componente arbóreo de remanescente de Floresta Estacional Semidecidual da RPPN SESC Pantanal (Barão de Melgaço/MT). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 54, REUNIÃO AMAZÔNICA DE BOTÂNICA, 3., 2003, Belém. **Resumos**. Belém, 2003. 1 CD-Rom.
- NEUMANN, M. et al. Avaliação do Valor Nutritivo da Planta e da Silagem de Diferentes Híbridos de Sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.293-301, 2002.
- NUCCI, S. M. **Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba**. 2007. 90f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.
- OLIVEIRA, C. A. et al. Decomposition of Archispintoi and Hyparrheniarufa litters in monoculture and intercroppedsystems under lowland soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1089-1195, 2003.

- OLLIVIER, J. Potassium deficiency symptoms in coconut. **Oléagineux**, v.48, p.483-484, 1993.
- PAULETTI, V. A. **A importância da palhada e da atividade biológica na fertilidade do solo.** In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. Anais. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999.
- PERES, J. R. R.; FREITAS J. E.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.14, n.1, p. 31-41, 2005.
- POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 1994. 320p.
- PRAGANA, R. B. et al. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do cerrado piauiense sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.851-858, 2012.
- RAMOS, M. V. V. **Veredas do Triângulo Mineiro: solos, água e uso.** 2000. 127f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, MG, 2000.
- RAMOS, M. V. V. **Caracterização dos solos, da estrutura fitossociológica e do estado nutricional da vegetação de veredas em diferentes superfícies geomorfológicas no Triângulo Mineiro.** 2004. 128f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, DF, 2004.
- RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant Soil**, v.269, p.341-56, 2005.
- REATTO, A. et al. Levantamento detalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego de Taguatinga, DF, escala 1:25.000. Planaltina: Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 122, 2004.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.345-354, 2000.
- ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis and its application to humans foods. In: JAMES, H. P. T.; THEANDER, O. (Eds.). **The analysis of dietary fiber in food.** New York: Marcel Dekker, 1981. p.123-158.
- RODRIGUES-AMAYA, D. B. Latin American food sources of carotenoids **Archivos Latino americanos de Nutricion**, v.49, n.1, p.74-84, 1999.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica.** Dourados: Embrapa, 2002. 86p.

- ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.
- SÁ, T. C. M.; LAL, R. Stratification ration of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.46-56, 2009.
- SADAKA, N.; PONGE, J. F. Fungal colonization of phyllosphere and litter of *Quercus rotundifolia* Lam. in a holm oak forest (High Atlas, Marocco). **Biology and Fertility of Soils**, v.39, n.1, p.30-36, 2003.
- SANCHES, L. et al. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.183-189, 2009.
- SANTOS, A. S. et al. Utilização das folhas da bocaiúva e do acuri como suplemento alimentar a pasto para equinos no Pantanal. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** n.19, p.1-8, 1997.
- SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina**. 2007. 104f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- SANTOS, P. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan ecosystem. **Ecology**, v.62, p.654-663, 1981.
- SANTOS, V.S.; CAMPELO J. J. H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.91-98, 2003.
- SCARIOT, A. Seed dispersal and predation of the palm *Acrocomia aculeata*. **Principes**, v. 42, n.1, p.5-8, 1998.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1990. 166p.
- SILVA, J. C. **Macaúba: fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial**. Viçosa: CEDAF;DEF;UFV, 1994. 41p.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370p.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Eds). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.73-99.

- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.1017.
- SOHI, S. P. et al. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.65, p.1121-1128, 2001.
- SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo no crescimento de nutrição do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1187, 2003.
- SIX, J. et al. Source and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. **Eur. J. Soil Sci**, v.52, p.607-618, 2001.
- SOBRAL, F. L. Nutrição e adubação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L. A. (Eds.). **A cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa-SPI, 1998. p.129-157.
- SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.79-88, 2010.
- TAUK, S. M. Biodegradação de resíduos orgânicos no solo. **Revista Brasileira de Geociência**, v.20, n.1-4, p.299-331, 1990.
- TELES, H. F. **Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás**. 2009. 137f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSARD, L. Effects of composition on N, Ca and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow species. **Biochemistry**, v.15, p.1-17, 1992.
- TICKEL, J. **From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel**. Tallahassee, FL: Tickel Energy Consulting, 2000, 155 p.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VARGAS, M. A. T. et al. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004. p.97-127.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.
- ZAHARAH, A. R.; BAH, A. R. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliciridia Gliciridia sepium* leaves in an ultisol. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.55, p.269-277, 1999.