

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL



**PRODUÇÃO DE MANDIOCA COM MANEJO SUSTENTÁVEL
DAS PLANTAS INFESTANTES**

DANIEL OSCAR PEREIRA SOARES

MANAUS, AM
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

DANIEL OSCAR PEREIRA SOARES

**PRODUÇÃO DE MANDIOCA COM MANEJO SUSTENTÁVEL
DAS PLANTAS INFESTANTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientadora: Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino
Coorientador: Dr. Prasanta C. Bhowmik

MANAUS, AM
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S676p Soares, Daniel Oscar Pereira
Produção de mandioca com manejo sustentável das plantas
infestantes / Daniel Oscar Pereira Soares . 2021
110 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Sônia Maria Figueiredo Albertino
Coorientador: Prasanta C. Bhowmik
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Manihot esculenta. 2. Brachiaria ruziziensis (syn. Urochloa
ruziziensis). 3. Canavalia ensiformis (Feijão-de-porco). 4. Mucuna
pruriens (Mucuna-preta). 5. segurança alimentar. I. Albertino, Sônia
Maria Figueiredo. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

DANIEL OSCAR PEREIRA SOARES

Produção de mandioca com manejo sustentável das plantas infestantes

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 22 de dezembro de 2021.

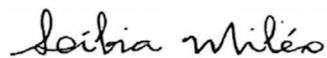
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino, Presidente
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof. Dr. Vairton Radmann, Membro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Profa. Dra. Líbia de Jesus Miléo, Membro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Dr. Lúcio Pereira Santos, Membro
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)



Prof. Dr. Ayrton Luiz Urizzi Martins, Membro
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

DEDICO

A DEUS,

“Assim diz o Senhor: Não se glorie o sábio na sua sabedoria, nem o forte, na sua força, nem o rico, nas suas riquezas; mas o que se gloriar, glorie-se nisto: em Me conhecer e saber que Eu sou o Senhor e faço misericórdia, juízo e justiça na terra; porque destas coisas Me agrado, diz o Senhor”. (Jer. 9:23-24)

*Aos meus pais, Oscar Soares e Lúcia Costa,
Aos meus irmãos, Miguel Caxias, Lúcio Fábio, Daniele Soares e Saulo Matheus.*

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À Professora Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino, fonte de respeito e admiração, pela orientação, simplicidade, paciência e por toda a dedicação em transmitir seus conhecimentos. Agradeço pelos ensinamentos, incentivos, pela disponibilidade, pelo apoio constante, pela valiosa contribuição profissional e por sempre ter acreditado em minha capacidade, palavras não são suficientes para expressar minha gratidão.

Ao Professor Dr. Prasanta C. Bhowmik, pela receptividade, confiança, humildade e disposição em receber-me na Escola de Agricultura de Stockbridge, da Universidade de Massachussets, Amherst, Massachussets, EUA. Agradeço pela paciência e pelo carinho com os quais fui tratado, e por todos os ensinamentos que contribuíram não apenas para a elaboração deste trabalho, mas também para toda a minha vida. Minha eterna gratidão.

À amiga e colega de profissão, Karla Gabrielle Dutra Pinto, que se fez presente durante toda a condução do experimento em campo, sendo fundamental ao desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por todo esforço, empenho, e pela disposição em ajudar mesmo nos momentos mais difíceis. Por isso, toda minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo favor imerecido concedido a mim.

Ao Professor Dr. José Ferreira da Silva, pela colaboração, disponibilidade, paciência, persistência, por todo apoio e incentivo na realização deste trabalho. Pelo exemplo, como pesquisador e cientista, de amor à profissão, e por compartilhar seus valiosos ensinamentos.

Aos Professores Dr. Afrânio Ferreira Neves Júnior e Dr. Everton Rabelo Cordeiro, pelas correções e contribuições ao projeto inicial, e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR/UFAM), pelos conhecimentos compartilhados ao longo dos últimos anos.

A minha amada Lays Tenório e sua família, pelo incentivo, por todo o suporte e por acreditar em minha capacidade nos momentos mais difíceis.

Ao meu irmão Saulo Matheus, ao meu primo Diego Reis e ao meu amigo Idomar Castro, pela amizade, disposição, empenho e colaboração na condução da pesquisa em campo e na realização deste trabalho de modo geral.

Aos meus pais de criação, Paulo Ferraz e Lázaro Rodrigues, pelo suporte, pela disponibilidade e por sempre estarem presentes em todas as dificuldades, por todo o incentivo e por confiarem em minha capacidade.

Aos meus amigos, Ana Cecília, Ari Batista, Carla Figueiredo, Deyvson Braga, Gabriel Oliveira - *in memoriam*, Heider Falabelo, Higor Gomes, Isabella Santana, Ivan Kassio, Jheimison Fernandes, Jojo Monteiro, Kethlen Almeida, Lucas Galeano, Natália Sarmanho, Max Souza, Osvaldo Neto, Patrycky Monteiro, Vanessa Moura e Ynê Layanne.

Aos demais amigos e familiares, tios e tias, primos e primas, pelo incentivo e por compreenderem minha ausência durante essa longa trajetória acadêmica.

À equipe do Laboratório de Ciência das Plantas Daninhas, Ajax Ferreira, Bruna Nogueira, Francisco Castro, Géssica Nogueira, Gil Melo, Laís Alves, Leandro Amorim, Mauro Alves, Sara Pinheiro, Silvana Pimentel e Vilson Rocha, por todo o suporte fornecido durante a execução desta pesquisa.

À Prof. Dra. Albejamere Pereira de Castro pela solicitude e prontidão, que contribuíram para a realização das atividades na Fazenda Experimental da UFAM (FAEXP/UFAM) da melhor forma possível.

A toda equipe da FAEXP/UFAM, em nome dos servidores da limpeza, manutenção, alimentação e segurança, especialmente ao querido amigo Jozué Alves Macena, e a todos os demais servidores pela solidariedade e colaboração na execução das atividades de campo.

À Prefeitura do Campus, à Coordenação e a todos os funcionários do Setor de Transportes, em especial ao Senhor Francisco Gaspar de Oliveira (Seu Chiquinho) – *in memoriam*, bem como ao Senhor Vanderlei, e aos motoristas Giovanne, Fagner, Jaime e Bruno, pelo profissionalismo, respeito, eficiência e disponibilidade.

À Universidade Federal do Amazonas, sobretudo, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, por possibilitar a realização deste trabalho e a obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos do Doutorando no Brasil e pela oportunidade de participar do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por todo o suporte no desenvolvimento e na publicação deste trabalho.

À Universidade de Massachussetts Amherst (UMass), em nome de todos os membros do corpo docente e organizadores, pelo carinho, receptividade, pelos conhecimentos compartilhados e pela oportunidade de realização do intercâmbio.

À equipe do Laboratório de Análise de Pesticidas da Universidade de Massachussetts Amherst – UMass, especialmente ao Professor Dr. Jeffery Doherty pela colaboração nas análises de resíduos de agrotóxicos presentes neste trabalho.

Aos amigos que fiz em minha viagem ao exterior, Ben Cheung, Bob e Janet Winston, Brandon Johson, Bryan Meeks, Carl e Bonnie Vigeland, Gabriela Beinhauerová, Kat Já, Milan Clark, Ming-Hsiang Cheng, Rogélio, e, especialmente, ao querido amigo Steven KaCey, por todo carinho, cuidado e suporte a mim dispensados durante os difíceis meses de adaptação, e pelo privilégio de poder conhecer pessoas tão gentis e atenciosas.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Entre os sistemas de produção adotados no estado do Amazonas, a mandiocultura merece destaque em razão da grande importância histórica, social e econômica. A interferência das plantas infestantes constitui um importante fator de limitação da produção de mandioca na região. Apesar da importância desta cultura, ainda são escassos estudos voltados para o manejo sustentável das plantas infestantes e a segurança alimentar, no ecossistema amazônico. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a produtividade de mandioca, os resíduos de agrotóxicos e os atributos físicos e químicos do solo em função do manejo de plantas infestantes na cultura. Foram conduzidos dois experimentos na Fazenda Experimental – FAEXP da Universidade Federal do Amazonas, localizada no km 38, da rodovia BR 174, Manaus, Amazonas, no período de 2017 a 2020. O primeiro experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: i) controle biológico com duas espécies de plantas de cobertura (*Brachiaria ruziziensis* e *Mucuna pruriens*), ii) controle químico com glifosato, iii) controle mecânico com enxada e, iv) sem controle de plantas infestantes. As características das culturas de cobertura avaliadas foram: massa seca, porcentagem de cobertura do solo e taxa de decomposição dos resíduos vegetais. A densidade do solo e a porosidade total foram determinadas. A contaminação das raízes de reserva foi avaliada com base na análise de resíduo de glifosato. O segundo experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: i) controle biológico com três espécies de cobertura (*Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna pruriens*), ii) controle químico com glifosato, iii) controle mecânico com enxada e, iv) sem controle de plantas infestantes. *Brachiaria ruziziensis* apresentou maior peso seco e maior percentual de cobertura em comparação com *M. pruriens*. As propriedades físicas do solo não foram afetadas por nenhum dos tratamentos avaliados. Não houve detecção do glifosato e de seu metabólito, ácido aminometilfosfônico (AMPA), em nenhum dos tratamentos avaliados. Os tratamentos com os controles químico e físico das plantas infestantes promoveram as maiores produtividades, seguidos pelas coberturas *B. ruzizienis* e *C. ensiformis*. A produtividade obtida com *B. ruziziensis* foi próxima à obtida com o controle mecânico. As plantas de cobertura melhoraram as propriedades químicas do solo. O uso de *B. ruzizienis* e *C. ensiformis* constitui uma alternativa para práticas de manejo sustentável das infestantes em cultivos no ecossistema Amazônico.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, *Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, segurança alimentar, controle químico, contaminação.

ABSTRACT

Cassava production in Amazonas deserves to be highlighted due to its great historical, social and economic importance. The interference caused by the competition between weeds and cassava is an important limiting factor of its production. Despite the importance of this crop, there are still few studies aimed at the sustainable weed management and food security in the Amazon region. Thus, this study had the objectives of evaluating productivity, pesticide residues and soil attributes due to the weed management in cassava. Two experiments were conducted at the Experimental Farm – FAEXP of the Federal University of Amazonas, located at km 38 of the BR 174 highway, Manaus, Amazonas, from 2017 to 2020. The first experiment was carried out in a randomized complete block design with five treatments and five repetitions. The treatments were i) biological control with two species of cover plants (*Brachiaria ruziziensis* and *Mucuna pruriens*), ii) chemical control, iii) mechanical control, and iv) treatment with no weed control. The cover crops characteristics evaluated were dry weight, the percentage of cover, and rate of decomposition of plant residues. The soil bulk density and total porosity were determined. The contamination of the storage roots was evaluated based on the analysis of glyphosate residue. The second experiment was carried out in a randomized block design with six treatments and four replications. The treatments were i) biological control with three cover species (*Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens*), ii) chemical control, iii) mechanical control and iv) treatment with no weed control. *Brachiaria ruziziensis* presented more dry weight and higher percentage of cover compared with *M. pruriens*. The physical properties of soil were unaffected by any treatment evaluated. There was no detection of glyphosate and its metabolite, aminomethylphosphonic acid (AMPA), in any treatment evaluated. The treatments with chemical and mechanical weed control provided the highest yields, followed by *B. ruzizienis* and *C. ensiformis*. Cover crops improved soil properties. The use of *B. ruziziensis* and *C. ensiformis* may be an alternative for sustainable weed management in the Amazon ecosystem.

Keywords: *Manihot esculenta*, *Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, food safety, chemical control, contamination.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Matéria seca das plantas de cobertura ($t\ ha^{-1}$) em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM. 58
- Tabela 2.** Plantas infestantes identificadas em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM..... 59
- Tabela 3.** Plantas de cobertura (C), plantas infestantes (I) e solo descoberto (S) no 1º, 2º e 3º mês após o plantio de *B. ruziziensis* e *M. pruriens*, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM..... 61
- Tabela 4.** Densidade e porosidade total do solo em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos, nos anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019, na camada 0 a 10 cm. Manaus, AM. 65
- Tabela 5.** Raízes de mandioca para análise glifosato e seu metabólito, AMPA, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM. ... 66

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes antes da instalação do experimento em 2018. Manaus, AM. 78
- Tabela 2.** Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2019. Manaus, AM..... 80
- Tabela 3.** Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes antes da instalação do experimento em 2019. Manaus, AM. 82
- Tabela 4.** Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2020. Manaus, AM..... 83
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância de componentes de produtividade da cultura da mandioca em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos, nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM. 85
- Tabela 6.** Componentes de produtividade da mandioca em sistema de produção sob diferentes manejos, nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM. 86
- Tabela 7.** Propriedades químicas do solo na camada 0 a 20 cm, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM..... 88

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1	Considerações sobre a cultura da mandioca.....	5
3.1.1	Taxonomia e origem.....	5
3.1.2	Importância histórica e social.....	6
3.1.3	Estado da arte da produção de mandioca	8
3.2	Interferência das plantas infestantes.....	10
3.2.1	Manejo das plantas infestantes.....	13
3.2.1.1	Controle químico.....	14
3.2.1.1.1	Glisofato	17
3.2.1.1.2	Resíduos de herbicidas	21
3.3	Plantas de cobertura no controle das plantas infestantes.....	24
3.3.1	Braquiária (<i>Brachiaria ruziziensis</i>).....	27
3.3.2	Feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformis</i>)	28
3.3.3	Mucuna-preta (<i>Mucuna pruriens</i>)	28
3.4	Influência dos métodos de controle sobre as propriedades do solo	29
4.	REFERÊNCIAS	32
5.	CAPÍTULO I	52
	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E RESÍDUOS DE GLIFOSATO EM FUNÇÃO DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO DAS PLANTAS INFESTANTES..	52
	INTRODUÇÃO	54
	MATERIAL E MÉTODOS	55
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	69
6.	CAPÍTULO II.....	72
	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA EM FUNÇÃO DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO DAS PLANTAS INFESTANTES	72
	INTRODUÇÃO	74
	MATERIAL E MÉTODOS	75
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1. INTRODUÇÃO

Entende-se por segurança alimentar a produção adequada de alimentos capaz de atender as necessidades das atuais e futuras gerações sem prejuízo à saúde humana e ao meio ambiente. O modelo agrícola convencional, centrado no uso intensivo dos recursos naturais, aliado à utilização de agrotóxicos, permitiu aumentar a produção e a produtividade dos cultivos, aumentando a disponibilidade de alimentos, reduzindo os preços e garantindo o acesso à alimentação. Entretanto, o uso de agrotóxicos merece atenção, pois o uso indiscriminado desses produtos contribui para a degradação dos recursos naturais e humanos, aumentando a insegurança alimentar.

Entre as tecnologias adotadas nos sistemas de produção agrícola convencionais, o uso intensivo de agrotóxicos vem se expandido, principalmente devido ao seu baixo custo, quando comparado com outros métodos de controle, bem como pela elevada eficácia que apresenta. Apesar das vantagens, o uso indiscriminado desses produtos pode ocasionar sérios prejuízos ao meio ambiente e à saúde humana.

Nesse sentido, é importante a realização de estudos que promovam alternativas sustentáveis ao uso dos agrotóxicos nos sistemas agrícolas. Esses estudos podem contribuir para a racionalização dos recursos e a redução dos custos de produção, proporcionando maior segurança alimentar aos consumidores, tanto pela redução dos riscos de contaminação direta dos alimentos, como também pela preservação dos recursos naturais, determinando ofertas de alimentos limpos e seguros, e em quantidade adequada para as atuais e futuras gerações.

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta originária da América do Sul, pertencente à família Euphorbiaceae e ao gênero *Manihot*. Devido à facilidade de adaptação e a menor exigência tecnológica para sua produção, é uma espécie que desempenha papel relevante no combate à fome, principalmente em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. No Brasil, o cultivo da mandioca apresenta grande importância histórica,

social e econômica, sendo a maior parte da mandiocultura nacional formada por pequenos agricultores e destinada à subsistência e ao consumo animal.

Devido à intensa pressão competitiva promovida pelas plantas infestantes nos mandiocais, os produtores necessitam realizar a capina periodicamente em seus cultivos, sendo este o principal problema enfrentado pelos mandiocultores amazonenses. Considerando as condições regionais, a capina se mostra uma prática desconfortável e prejudicial à qualidade de vida do agricultor amazonense, devido às elevadas temperaturas, alta umidade relativa do ar e intensa radiação solar.

No que diz respeito ao controle químico, as principais dificuldades estão relacionadas à falta de conhecimento sobre a utilização segura dos agrotóxicos, tanto em relação a escolha de produtos registrados para a cultura, quanto no que tange à adoção de práticas que promovam a devida segurança ao aplicador e que reduzam os riscos de contaminação dos alimentos e do meio ambiente. Sob essa perspectiva, a utilização de plantas de cobertura se apresenta como alternativa para o controle das espécies infestantes, com reflexos positivos na promoção da segurança alimentar.

Esta pesquisa tem como escopo promover a segurança alimentar por meio de boas práticas agrícolas incorporadas ao sistema de produção da mandioca.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a produtividade, os resíduos de herbicida e os atributos do solo em função do manejo de plantas infestantes na cultura da mandioca.

2.2 Objetivos específicos

Comparar a dinâmica populacional das infestantes em função dos diferentes manejos adotados em plantio de mandioca.

Avaliar a produtividade das raízes de mandioca em função do manejo das plantas infestantes.

Identificar características agronômicas da planta de mandioca que possam ser influenciadas pelo tipo de manejo das plantas infestantes e relacioná-las à produção.

Avaliar a qualidade das raízes de mandioca em função dos resíduos de herbicida provenientes do controle químico das plantas infestantes.

Avaliar os efeitos dos métodos de controle das plantas infestantes nas propriedades física e química do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Um sistema de produção agrícola é capaz de reduzir por si só a diversidade biológica de todo um ecossistema. Este problema pode ser agravado com o uso intensivo de maquinários e insumos, principalmente de fertilizantes químicos e agrotóxicos, que são comuns no sistema convencional de monocultivos prevalentes no Brasil e no mundo.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (2021), a quantidade de agrotóxicos comercializados no Brasil cresceu mais de 60% na última década, passando de 384.501,28 toneladas em 2010, para 620.537,98 toneladas em 2019. Segundo Soares (2010), o Brasil possui elevado potencial de uso dos agrotóxicos, devido a dois principais fatores: a baixa quantidade de produto utilizada por hectare e a grande extensão de terra agricultável ainda a ser incorporada à produção agrícola.

Conceitualmente, os agrotóxicos são substâncias que possuem a finalidade de proteger os produtos agrícolas da ação de organismos danosos, tais como plantas daninhas, insetos e doenças. Porém, quando utilizados incorretamente representam um grave problema à saúde pública, em razão dos riscos de contaminações dos alimentos e do meio ambiente (PIGNATI et al., 2017, TAVARES et al. 2020).

Apesar dos avanços tecnológicos com aportes de máquinas e insumos sintéticos na agricultura moderan, pesquisas mais recentes têm demonstrado vantagens nas adoções de técnicas de cultivo menos agressivas ao ambiente, tais como o plantio direto na palha, o uso de plantas de cobertura, coberturas mortas, entre outras, o que remete a agricultura às fases iniciais de sua evolução (BROWN et al., 2018, HENRIQUES, 2018, NEVES et al., 2018, PINA DA SILVA, 2017, RODRIGUES et al., 2018).

3.1 Considerações sobre a cultura da mandioca

3.1.1 Taxonomia e origem

A mandioca (*Manihot esculenta* L.) é uma dicotiledônea da família Euphorbiaceae. Esta família apresenta distribuição tropical e subtropical, com cerca de 330 gêneros e mais de 8.000 espécies, e, devido a grande diversidade de habitats, é considerada uma das maiores, mais diversas e complexas famílias de angiospermas (ESSER, 2001, SECCO et al., 2012, WEBSTER, 1994). Do ponto de vista econômico, a família Euphorbiaceae representa importante papel no mercado mundial e, entre suas principais aplicações, citam-se a alimentação humana, a medicina, a fabricação de borracha e a produção de óleos (DE SOUSA TRINDADE; ALVES LAMEIRA, 2014, ORLANDINI; DE LIMA, 2014).

No Brasil, são encontrados aproximadamente 63 gêneros e 910 espécies pertencentes à família Euphorbiaceae (CORDEIRO et al. 2013). Entre os gêneros com maior número de espécies, destacam-se: *Croton* (300 spp.), *Manihot* (98 spp.), *Dalechampia* (50 spp.) e *Acalypha* (40 spp.) (DE SOUSA TRINDADE; ALVES LAMEIRA, 2014). A mandioca pertence ao gênero *Manihot*, que se caracteriza pela distribuição neotropical, com cerca de 80 espécies no Brasil, das quais 67 são consideradas nativas (CORDEIRO et al. 2013).

Em virtude de achados arqueológicos que datam mais de 6.000 anos, acredita-se que a mandioca tenha sido domesticada pelos ameríndios da América do Sul entre 10.000 a 8.000 anos atrás (PEARSALL, 1992), sendo dispersada do seu local de origem para outras regiões como América Central e Caribe, no mesmo período da chegada dos europeus ao continente americano (FRASER; CLEMENT, 2008), e, posteriormente, para a África, ainda durante o século XVI, e para a Índia e Sudeste da Ásia, no final do século XIX (HEISER JÚNIOR, 1973, LÉON, 1977).

Historicamente, diversas hipóteses foram levantadas para tentar definir a região dos trópicos americanos em que a mandioca se originou. A diversidade e abundância de espécies (RENVOIZE, 1972), a descoberta de cerâmicas semelhantes às usadas para o processamento

da mandioca (SAUER, 1952), a realização de estudos fisiológicos e ecológicos (VIÉGAS, 1976) e a diversidade da base genética da cultura (OLSEN, 2004), estão entre os principais argumentos utilizados pelos estudiosos do assunto, que divergem, principalmente, entre os países da América do Sul e América Central.

Segundo Heiser Júnior (1973), é mais provável que a domesticação da mandioca tenha ocorrido na América do Sul e que esta cultura tenha sido levada posteriormente para a América Central. Contudo, apesar de prevalecer o entendimento de que a mandioca seja originária da América do Sul e de que o Brasil seja o possível centro de sua origem e diversificação, a região exata de sua domesticação neste país permanece sem consenso entre os autores, que divergem entre o Nordeste (VIÉGAS, 1976), a Amazônia (OLSEN, 2004, OLSEN; SCHAAL, 1999) e o Brasil-Central (NASSAR, 1978).

A respeito da etimologia da palavra mandioca, ensina Couto de Magalhães (1935), que o termo original “Mani’oka” sofreu alterações na língua portuguesa para a forma como conhecemos hoje. Ainda segundo o autor, o termo significa “casa de Mani” e se dá em virtude da mitologia indígena de que a planta teria brotado da sepultura de uma índia de nome “Mani”, cultivando a tradição indígena de que o uso da mandioca teria sido revelado de modo sobrenatural.

3.1.2 Importância histórica e social

Apesar de ser cultivada quase que exclusivamente por pequenos agricultores, a mandioca está presente na alimentação de mais de oitocentos milhões de pessoas, sendo produzida em mais de cem países tropicais e subtropicais, revelando-se como uma das poucas culturas básicas produzidas de modo eficiente mesmo em pequena escala (FAO, 2013). Devido à rusticidade, adaptabilidade e ao elevado teor de carboidrato presente em suas raízes, esta cultura é importante para a segurança alimentar de muitos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

Na África, a mandioca é conhecida como o “ouro branco” e exerce papel importantíssimo no combate à fome. Nesse continente, diversos setores de produção da região têm estudado a farinha e o amido da mandioca como potenciais substitutos ao milho, arroz e trigo (TONUKARI et al., 2015). Na Amazônia Central, a mandioca é a cultura agrícola de maior importância para as comunidades locais, estando presente em diversos sistemas ecológicos (várzea, terra firme, etc.) e culturais (indígenas, caboclos, imigrantes, etc.), formando a base alimentar das populações urbanas e rurais da região (PEREIRA, 2008).

No Brasil, a mandioca é conhecida como “o pão do Brasil”, devido à sua origem e importância para a dieta dos brasileiros, sobretudo, para a população de baixa renda. Os primeiros camponeses a realizarem o plantio da mandioca, ainda durante o período da colonização, utilizavam uma prática da agricultura tradicional, herdada dos indígenas, que é conhecida como agricultura de coivara, de corte e queima ou simplesmente agricultura tradicional, que persiste até os dias atuais (SILVA; MURRIETA, 2014).

De acordo com o último censo agropecuário, a agricultura familiar era responsável por cerca de 90% da produção nacional de mandioca em 2006 (IBGE, 2006). Considerando a relação histórica entre a mandiocultura nacional e a agricultura familiar, acredita-se que essa cultura ainda desempenhe um papel importante na subsistência e na renda das pequenas comunidades rurais, principalmente, nas Regiões Norte e Nordeste do país.

No meio urbano, a mandioca impulsiona grandes mercados, sendo usada na produção da tradicional farinha, no preparo de beiju, tapioca, bolos e cuscuz, na indústria de panificação, na fabricação de fécula e polvilho. Na busca por fontes e alternativas sustentáveis, parte do setor industrial têm utilizado a mandioca para a fabricação de cosméticos, papéis, embalagens biodegradáveis, pallets, bem como para a produção de biocombustíveis.

Estudos têm revelado o potencial desta cultura para a fabricação de diversos produtos, tais como pão (ARYEETEY et al., 2018, PUDJIHASTUTI; HANDAYANI; SUMARDIONO, 2018), bebidas (TORAYA-AVILÉS et al., 2017), gel obstétrico (AZIZ et al., 2018), etanol

(JIAO; LI; BAI, 2019, MARX, 2019, SILALERTRUKSA; GHEEWALA, 2019), biodiesel (OGBONNA et al., 2018), biogás (JIRAPRASERTWONG; MAITRIWONG; CHAVADEJ, 2019), bioplástico (ABRAL et al., 2019, DE CARVALHO et al., 2019), entre outros.

3.1.3 Estado da arte da produção de mandioca

A mandioca é um dos alimentos mais consumidos do mundo, sendo cultivada principalmente nas regiões tropicais, onde se destaca em razão de suas características de rusticidade e adaptabilidade e, igualmente, devido à diversidade de usos e finalidades à que ela se destina, servindo de base tanto para o consumo humano e animal, como também para a indústria (CONABE, 2017).

Do ponto de vista histórico, durante alguns anos da década de 1960 o Brasil ocupou o posto de maior produtor mundial de mandioca, dividindo a posição com a Nigéria, ambos com produção média em torno de 24 milhões de toneladas de raízes de mandioca (IBGE, 1990). Entretanto, em virtude do grande crescimento da produção de mandioca na África e na Ásia, que representam atualmente cerca de 90% da produção mundial, o Brasil passou a ocupar a quarta colocação do ranking (FAO, 2017).

De acordo com o levantamento da Organização das Nações Unida para a Alimentação e a Agricultura – FAO, a produção mundial de raízes de mandioca foi de 302 milhões de toneladas de raízes em 2020. Em relação ao ranking mundial dos maiores produtores de mandioca, a Nigéria ocupa a primeira colocação com cerca de 60 milhões de toneladas de raízes de mandioca produzidas anualmente, seguida pela Tailândia, com 28,99 milhões de toneladas, pela Indonésia, com 18,30 milhões de toneladas, e pelo Brasil com produção de 18,02 milhões de toneladas de raízes de mandioca (FAO, 2020).

Em 2019, o rendimento médio mundial de raízes de mandioca foi de aproximadamente 11,03 t ha⁻¹ (FAO, 2020). Este rendimento está muito abaixo do potencial que a mandioca apresenta, e apesar de não existirem parâmetros fixos para a determinação do máximo

produtivo, sabe-se que a adoção de boas práticas de cultivo e o melhoramento genético podem promover acréscimos consideráveis na produtividade da cultura, que pode facilmente superar 20 t ha⁻¹.

Segundo a FAO (2013), um estudo realizado pelo Centro Nacional de Agricultura Tropical – CIAT na década de 1990, estimou que em boas condições de cultivo a mandioca poderia produzir cerca de 23,20 t ha⁻¹. Este rendimento está muito próximo ao encontrado na Região Sul do Brasil, de 21,53 t ha⁻¹, em 2020 (IBGE, 2021). Além disso, rendimentos médios de, aproximadamente, 25 t ha⁻¹, já foram encontrados no Amazonas (DIAS et al., 2004), e de 60 t ha⁻¹, obtidos em partes do Brasil e da África (EMBRAPA, 2018, KINTCHÉ et al., 2017, SHACKELFORD et al., 2018).

O Brasil é o maior produtor de mandioca da América Latina, com mais de 1.354.634 hectares de área plantada e 18.955.430 toneladas de raízes de mandioca colhidas em 2020 (IBGE, 2021). Em relação ao ranking nacional, o Estado do Pará é responsável por 20,1% do total produzido nacionalmente, seguido por Paraná (18,2%), São Paulo (7,8%) e Amazonas (6,5%). Cumpre observar que a área total colhida no Pará é de 269.842 hectares com produção de 3.813.154 toneladas, e com rendimento médio de 14,13 t ha⁻¹ de raízes de mandioca, o que contrasta com o rendimento encontrado no Amazonas de apenas 9,83 t ha⁻¹ (IBGE, 2021).

Apesar de as Regiões Norte e Nordeste serem responsáveis por mais de 50% da produção nacional de mandioca, as Regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste são as que possuem as maiores produtividades de raízes de mandioca, 21,53 t ha⁻¹, 19,81 t ha⁻¹ e 19,54 t ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2021). A Região Norte, mesmo com grandes áreas plantadas e tendo atualmente a maior produção de mandioca do país, ocupa apenas a penúltima posição entre as regiões do Brasil em termos de produtividade, com média de 14,05 t ha⁻¹, sendo o Amazonas o Estado com a menor produtividade regional e uma das menores produtividades do Brasil (IBGE, 2021).

Na busca por maiores rendimentos na região, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) tem desenvolvido variedades de mandioca com maior produtividade, tendo lançado algumas que podem alcançar rendimentos médios de até 33,12 t ha⁻¹, quando cultivadas de acordo com as tecnologias recomendadas para cultura no Amazonas (EMBRAPA, 2014). É importante ressaltar que os baixos rendimentos dos mandiocais amazonenses não são uma exclusividade desta cultura, visto que diversas espécies agrícolas cultivadas no Estado apresentam produtividades aquém das encontradas em outros estados.

Em termos gerais, a agricultura pouco tecnificada, a baixa utilização de insumos agrícolas, a baixa qualidade dos materiais propagativos, a baixa fertilidade do solo e falta de políticas públicas eficientes, estão entre as principais causas da baixa produtividade observada no Amazonas, mesmo nos cultivos de espécies nativas, tais como a seringueira, o guaranazeiro, o cacauzeiro e o cupuaçuzeiro. A falta de controle e/ ou o manejo inadequado das plantas infestantes contribuem para o aumento da pressão competitiva dessas espécies sobre a cultura principal, sendo este o principal estresse biótico que tem afetado o desenvolvimento e a produtividade de diversas culturas no Amazonas, especialmente da mandioca, em razão do seu crescimento inicial lento.

3.2 Interferência das plantas infestantes

Conceitualmente, plantas infestantes são quaisquer plantas que ocorram em áreas de interesse humano e que prejudiquem as atividades agropecuárias do homem (BLANCO, 1972). Essas plantas competem com a cultura principal por água, luz, nutrientes, gás carbônico, espaço físico, entre outros recursos disponíveis no ambiente, além disso, certas espécies possuem a capacidade de produzir e liberar compostos alelopáticos no ambiente, influenciando a germinação, o crescimento e o desenvolvimento da cultura (BHOWMIK, 2018, DOS SANTOS LEANDRO et al., 2019, KUEH et al., 2019, MWENDWA et al., 2018).

No mundo inteiro, estima-se que as plantas infestantes causem perdas em torno de 34% do rendimento dos cultivos, superando as perdas ocasionadas por pragas e doenças, que giram em torno 18% e 16%, respectivamente (JABRAN et al., 2015, OERKE, 2006). Contudo, o nível de perda e a intensidade da interferência das plantas infestantes nos cultivos dependerão de fatores relacionados à cultura, à comunidade infestante, ao ambiente e ao período de convivência entre essas plantas e a cultura (PITELLI, 1985, SILVA et al., 2007).

No Amazonas, a interferência das plantas infestantes pode resultar em perdas superiores a 30% na produção de laranja (GONÇALVES, 2015, MONTEIRO, 2011), e de 30 a 50% na produção de guaraná (DOS SANTOS, 2018, SOARES, 2019). Em culturas anuais os impactos podem ser ainda mais severos, resultando em perdas de até 90% da produção no feijão-caupi (OLIVEIRA, 2010), e de 80% da cultura da mandioca (MILÉO et al., 2016).

O grau de interferência das plantas infestantes nos cultivos regionais tende a ser maior quando comparado ao de outras regiões em virtude da diversidade de espécies presentes no ecossistema amazônico, e pelas condições edafoclimáticas favoráveis à ocorrência dessas plantas, especialmente o clima (temperatura e precipitação), demandando maior atenção por parte dos produtores.

A interferência das plantas infestantes constitui um dos principais problemas relatados pelos mandiocultores amazonenses, visto que prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas de mandioca, ocasionando a redução do tamanho, peso e do número de raízes (SILVA et al., 2012). Segundo estes autores, entre os principais fatores que potencializam essa interferência nos mandiocais se destacam: a) o crescimento inicial lento da cultura; b) o descrédito por parte dos produtores no potencial agressivo das plantas infestantes em virtude da rusticidade da cultura, negligenciando o seu controle.

Entretanto, a rusticidade da mandioca parece estar mais relacionada à sua capacidade de sobrevivência do que à sua capacidade produtiva, isto porque a produção de raízes comerciais pode ser profundamente afetada pela interferência das plantas infestantes. Nessa

perspectiva, embora a mandioca apresente maior resistência aos estresses quando comparada a outras culturas, estudos demonstram que o seu crescimento e, principalmente, a sua produção de raízes comerciais, podem ser reduzidas substancialmente em situações de estresses, provavelmente em razão da ativação dos mecanismos de sobrevivência da planta (DE ALMEIDA SILVA et al., 2021, OLIVEIRA et al., 2018).

Deste modo, o manejo das plantas infestantes deve ser realizado a fim de se evitar perdas significativas de rendimento. Contudo, muitas vezes o custo desse manejo poderá representar parcela significativa dos custos de produção da mandioca, sendo que isso dependerá, principalmente, do método de controle adotado e do nível de infestação da lavoura.

Devido à facilidade no uso, ao baixo custo de aquisição e a baixa dependência de mão de obra, o controle químico tem se tornado uma opção atrativa para os mandiocultores. No entanto, a aplicação de herbicidas exige conhecimento técnico que muitas vezes o agricultor não possui, aumentando os riscos de contaminação. Por outro lado, o controle mecânico, comumente realizado pelos pequenos produtores através da capina manual com o auxílio de enxada, constitui uma prática altamente prejudicial à saúde do agricultor, demandando esforço e mão de obra, que o pequeno produtor normalmente não dispõe.

Apesar da importância de se controlar as infestantes, a eliminação total com a manutenção da cultura livre de quaisquer outras plantas pode favorecer a erosão do solo e impedir ciclagem de nutrientes, resultando em baixa sustentabilidade à atividade (SILVA et al., 2012). Nesse sentido, a preocupação com as mudanças ambientais tem promovido a revisão de aspectos importantes da agricultura convencional, que aos poucos transita do enfoque do máximo potencial produtivo para a maior produção sustentável possível (BHOWMIK; INDERJIT, 2003).

Portanto, em razão das potencialidades econômicas e sociais desta cultura, a pesquisa assume um papel importante no desenvolvimento de alternativas para tornar a mandiocultura uma atividade agrícola economicamente viável e sustentável para o Estado do Amazonas.

3.2.1 Manejo das plantas infestantes

As plantas infestantes passaram a ser vistas como um problema para a agricultura por volta de 1500 a.C., e durante muitos séculos o controle dessas plantas ocorreu de modo incidental, isto é, por ocasião do preparo da área para a realização do plantio (TIMMONS, 1970). Essas plantas constituem um fator limitante da produção agrícola desde os primórdios da agricultura, havendo evidências arqueológicas do uso de enxadas e equipamentos de capina em épocas remotas da humanidade, bem como relatos bibliográficos acerca dessas plantas e de seus prejuízos ao homem (SMITH; SECOY, 1976).

As plantas infestantes surgiram quando o homem iniciou suas atividades agrícolas separando as plantas a serem cultivadas das plantas indesejáveis ou infestantes (BRIGHENTI; DE OLIVEIRA, 2011). A evolução do manejo das plantas infestantes está estritamente relacionada à evolução da agricultura como a conhecemos, razão pela qual o manejo dessas plantas evoluiu de práticas utilizadas em cultivos de pequena e média escala, tais como o arranquio manual, o uso de ferramentas primitivas e de implementos tracionados por animais, para o uso de máquinas agrícolas e, finalmente, o uso de produtos químicos para o controle em larga escala.

A seleção das espécies cultivadas realizada pelo homem retirou gradativamente a capacidade competitiva dessas espécies, tornando-as cada vez mais dependes da ação humana para a sua sobrevivência (BRIGHENTI; DE OLIVEIRA, 2011). Na agricultura moderna o manejo das plantas infestantes constitui prática essencial para a expressão do máximo potencial produtivo das culturas e o melhor desempenho do cultivo.

Na história da agricultura, nenhuma outra atividade demandou mais tempo, energia e recursos financeiros do que o controle das plantas infestantes (HOLM; JOHNSON, 2009). Contudo, foi somente com o advento do controle químico, em meados da década de 1950, que as plantas infestantes passaram a atrair à atenção da comunidade científica, sendo a maior parte

limitada a avaliar eficiência do controle químico de forma isolada, deixando de analisar seus possíveis efeitos sobre a saúde, o ambiente e a segurança alimentar.

Com a divulgação dos possíveis efeitos desses produtos químicos sobre o ambiente e à saúde humana, a matologia passou a se ocupar da adoção de alternativas sustentáveis para o controle das plantas infestantes, seja pela criação de novos métodos de controle, seja pela combinação dos métodos já existentes. A combinação das práticas diretas e indiretas de controle, foi aos poucos ocupando um papel importante nos estudos relacionados à área, levando em consideração aspectos econômicos e ambientais, no que se denominou manejo integrado das plantas infestantes (BHOWMIK; INDERJIT, 2003).

3.2.1.1 Controle químico

O controle das plantas infestantes com o uso de substâncias químicas ocorreu muito após o controle químico de pragas e doenças, sendo possível encontrar relatos em 1.000 a.C, do poeta grego Homero, sobre como evitar pestes usando enxofre, ou seja, cerca de 2.800 anos antes do primeiro relato do uso de sal para o controle das espécies infestantes (TIMMONS, 1970).

Até o início do século XX não existiam considerações sérias acerca do uso de químicos para o controle das plantas infestantes, pois, imaginava-se que a biologia dessas plantas e das culturas estavam tão próximas uma das outras que era inconcebível a ideia de que elas pudessem ser quimicamente removidas sem matar ou prejudicar as plantas cultivadas (LEBARON; MÜLLER, 2008).

Os primeiros estudos com o uso de químicos para o controle das plantas infestantes datam da década de 1890, tendo sido o cloreto de sódio o primeiro composto químico testado, sal este que foi utilizado para essa finalidade mesmo antes desses estudos (JONES; ORTON, 1896, LEBARON; MÜLLER, 2008, TIMMONS, 1970). Com o interesse crescente no controle das plantas infestantes, antes da descoberta do primeiro herbicida comercial, muitas outras

substâncias químicas foram testadas e revelaram certo grau de sucesso no controle de plantas infestantes, tais como o sulfato de ferro e de amônio, querosene, gasolina, ácido sulfúrico, entre outros (CALL; GETY, 1923, LITZENBERGER; POST, 1943, LOOMIS, 1938, LOOMIS; NOECKER, 1936, NACA, 1958, THORNTON; DURRELL, 1933, WELTON, 1929).

O ponto chave para a rápida expansão dos estudos relacionados ao controle das plantas infestantes se deu em razão da descoberta da síntese química do ácido 2,4-diclorofenoxiacético, ou, 2,4-D, por Pokorny, em junho de 1941, e, também após a descrição de Zimmerman e Hitchcock (1942) das propriedades dessa substância como reguladora de crescimento das plantas (PETERSON, 1967). Desde então, parte do setor industrial tem se dedicado à produção de novos compostos químicos para o controle das plantas infestantes, impulsionando o mercado mundial de herbicidas.

O mercado nacional de agrotóxicos cresceu 190% no ano de 2010, ritmo de crescimento maior que o dobro do apresentado pelo mercado global (93%), o que fez com que o Brasil ocupasse a primeira colocação no ranking mundial de consumo de agrotóxicos (CARNEIRO et al., 2015, RIGOTTO; VASCONCELOS; ROCHA, 2014). Em 2019, o Brasil produziu cerca de 490 mil toneladas, além de importar outras 171 mil toneladas de agrotóxicos (IBAMA, 2021).

Apesar da discussão central acerca do consumo de agrotóxicos estar diretamente associada à possibilidade desses produtos causarem prejuízos à saúde humana, esta é apenas uma das várias perspectivas em que o tema pode ser analisado sob o prisma da segurança alimentar, pois ainda que os agrotóxicos não ocasionassem nenhum prejuízo direto sobre a saúde humana, eventuais prejuízos à fauna e a flora seriam motivos suficientes para justificar seu estudo, sob este enfoque, na medida em que também representam riscos iminentes à alimentação segura e adequada das futuras gerações.

Diversos estudos têm revelado o potencial de contaminação desses produtos sobre a comunidade de insetos, tais como abelhas (GABRIEL, 2018, HOLDER et al., 2018, MIGDAL

et al., 2018), borboletas (BRAAK et al., 2018), formigas (HENEBERG; SVOBODA; PECH, 2018), etc., de animais, tais como pássaros (LOPEZ-ANTIA et al., 2016, TSYGANKOV; BOYAROVA; LUKYANOVA, 2016) e de peixes (BUAH-KWOFIE; HUMPHRIES; PILLAY, 2018), contaminação do solo (DOOLOTKELDIEVA; KONURBAEVA; BOBUSHEVA, 2018) e contaminação do ambiente de modo geral (HAYES; HANSEN, 2017, TANG et al., 2018, TRIEGEL; GUO, 2018).

Apesar das controvérsias existentes acerca dos reais prejuízos ocasionados pelos agrotóxicos, à luz do princípio da precaução, consagrado no Direito Ambiental, a existência de dúvida científica razoável em relação ao tema é suficiente para restringir o uso desses produtos na natureza (DE GUSMÃO; RIBEIRO; CUSTÓDIO, 2018), vez que eventuais contaminações ambientais poderiam promover reações em cadeia sobre todo o ecossistema.

Cumprе ressaltar que a elevada quantidade de agrotóxicos consumida no Brasil parece ser uma consequência natural de dois principais fatores: a) a posição que o país ocupa na produção agrícola mundial, representando aproximadamente 6% do mercado agrícola global em 2016 (FAO, 2017); e b) a dimensão continental que o país possui, uma vez que é o quinto maior país do mundo em extensão territorial e destina, segundo dados da NASA, a agência espacial norte-americana, divulgados em 2017, cerca de 7,8% do seu território à agricultura.

Em relação aos dados sobre o consumo de agrotóxicos divulgados pela FAO (2019), a média do consumo nacional de agrotóxicos por área é de 5,94 kg ha⁻¹, sendo inferior ao consumido em países como o Japão (11,84 kg ha⁻¹), China (13,07 kg ha⁻¹) e Bélgica (7,59 kg ha⁻¹). Por outro lado, este valor está acima do encontrado em países com forte tradição agrícola, como os Estados Unidos da América (EUA) (2,54 kg ha⁻¹), França (4,45 kg ha⁻¹), Alemanha (3,77 kg ha⁻¹) e Inglaterra (3,17 kg ha⁻¹).

Também há considerações de que os riscos de contaminação por agrotóxicos no Brasil seriam maiores em comparação aos países supracitados em razão da legislação nacional permitir o uso de produtos proibidos naqueles países. Contudo, há pouca evidência de que isto

realmente ocorra, pois dos 10 ingredientes ativos mais vendidos no Brasil, nenhum foi proibido nos Estados Unidos da América, Japão e China, e apenas a atrazina e o paraquat foram proibidos pela União Européia (EU, 2021, IBAMA, 2021).

No Brasil, os herbicidas representam cerca de 60% do mercado nacional de agrotóxicos, com destaque para o glifosato que, sozinho, representa aproximadamente 50% do consumo de agrotóxicos (IBGE, 2021). Esses índices causam grandes preocupações em parte da comunidade científica e na sociedade, tanto em razão dos riscos de contaminação ambiental e possíveis prejuízos à saúde humana, como também em virtude da possibilidade do surgimento de novas espécies de plantas infestantes resistentes a este produto.

3.2.1.1.1 Glisofato

O glifosato é um herbicida pós-emergente, sistêmico e não seletivo descoberto por John Franz em 1970, e que passou a ser comercializado em 1974 (FRANZ et al., 1997). O modo de ação deste herbicida consiste na limitação da biossíntese de aminoácidos aromáticos requeridos pelas plantas para a formação de promotores de crescimento, antocianinas, lignina, compostos fenólicos e proteínas, através da inibição da enzima 5-enol-piruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSP) (AMRHEIN et al., 1980). Apesar de estar presente em plantas, fungos e bactérias, esta enzima não ocorre em animais (KISHORE; SHAH, 1988).

Quando introduzido em 1974, o glifosato possuía elevado custo de aquisição, o que limitava seu uso à horticultura de alto valor e a outras situações que não as comuns de plantios (BAYLIS, 2000). Contudo, em meados da década de 1990, em virtude das significativas mudanças na forma e na época de aplicação do glifosato, conferindo maior acessibilidade ao produto, houve um aumento dramático no total de volume aplicado nos cultivos (BENBROOK, 2016).

Devido à elevada eficiência no controle das plantas infestantes, o glifosato passou a figurar como um componente essencial nos sistemas de produção no mundo inteiro

(ASHWORTH et al., 2014), sendo atualmente o herbicida mais utilizado do mundo. Além disso, a tendência é a de que o uso deste herbicida continue a aumentar nos próximos anos, razão pela qual tende a crescer o interesse acerca da quantificação e dos seus impactos ecológicos e sobre a saúde humana (BENBROOK, 2016).

Durante muitos anos o glifosato foi considerado um herbicida extremamente vantajoso, contudo, a publicação de diversos estudos acerca dos possíveis efeitos deste herbicida sobre a saúde humana e o surgimento da resistência em plantas infestantes, tiveram impactos significativos sobre a imagem deste produto perante os produtores, a sociedade e a comunidade científica (DUKE; POWLES, 2008). A resistência ao glifosato foi primeiramente relatada na Austrália, em um pomar de maçãs, no ano de 1996, curiosamente, no mesmo ano do lançamento da soja transgênica nos EUA (HEAP; DUKE, 2018) e, ano após ano, estudos têm revelado novas espécies de plantas infestantes consideradas resistentes ou potencialmente resistentes ao glifosato (DAVIES et al., 2019, KUMAR et al., 2019, OSIPITAN; SCOTT; KNEZEVIC, 2019).

A resistência das plantas infestantes ao glifosato pode produzir impactos generalizados sobre a segurança alimentar em virtude da redução do fornecimento de alimentos e no aumento dos preços dos produtos e subprodutos agrícolas. De acordo com Swinton e Van Deynze (2017), a dispersão acelerada de espécies resistentes, que ocorre como resposta evolutiva ao uso indiscriminado de um número limitado de herbicidas, tem levado os produtores a aumentarem e a diversificarem o uso de herbicidas, utilizando produtos com diferentes princípios ativos, aumentando os custos de produção e, igualmente, os riscos de prejuízos à saúde e ao ambiente.

Antes da criação das espécies transgênicas, a maior parte da indústria de defensivos ocupava-se da criação de formulações eficazes contra as plantas infestantes, mas com o advento das culturas transgênicas, o foco das grandes corporações voltou-se para o desenvolvimento de novas cultivares, sem que houvesse mudança significativa no modo de ação dos herbicidas,

resultando no surgimento de espécies infestantes resistentes, sobretudo ao glifosato (HEAP; DUKE, 2018).

O surgimento de espécies resistentes ao glifosato despertou o interesse da comunidade científica, das agências governamentais, de parcela da indústria química e dos produtores, para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de manejo das plantas infestantes (DAVIS; FRISVOLD, 2017). Devido à combinação entre o aumento no número de espécies resistentes e as preocupações ambientais esforços foram e estão sendo realizados por diversos setores da sociedade visando à criação de alternativas sustentáveis no manejo das plantas infestantes (BHOWMIK; INDERJIT, 2003).

O epicentro da discussão acerca do uso do glifosato refere-se à comprovação dos possíveis prejuízos à saúde humana decorrentes de intoxicações e contaminações. Em avaliações realizadas em 2004 e 2011, o Grupo Principal de Avaliação de Resíduos de Pesticidas (JMPR), formado por especialistas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), concluiu que não existia qualquer evidencia científica que suportasse o potencial cancerígeno do glifosato (FAO, 2016).

No início de 2015, a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC) classificou o glifosato como possivelmente cancerígeno para humanos. Com base nisso, no final de 2015, o JMPR recomendou a reavaliação do potencial cancerígeno do glifosato levando em consideração os pontos abordados pela IARC. Contudo, em 2016, o JMPR voltou a afirmar que o glifosato não é cancerígeno para humanos, e que são necessárias doses elevadas para a expressão de sinais de intoxicação, mesmo para ratos e camundongos (FAO, 2016).

Igualmente, em 2017, a Comissão da União Europeia (EU) decidiu que o glifosato deveria continuar sendo comercializado na Europa, por pelo menos mais cinco anos, baseando-se na inexistência de evidências científicas que o associassem ao câncer em humanos, por isso

não poderia ser classificado como uma substância causadora de danos genéticos, mutações ou distúrbios reprodutivos (EU, 2017).

Os Estados Unidos da América e o Brasil são os dois países com a maior incidência de intoxicação por glifosato, e também os dois principais consumidores de glifosato do mundo (ZYOUND et al., 2017). Nos EUA e Brasil, estima-se que o glifosato represente 59% e 40% do total de agrotóxicos utilizados, respectivamente (CARNEIRO et al., 2015, KARTHIKRAJ; KANNAN, 2018). No Brasil, o glifosato ocupa o primeiro lugar no ranking geral de agrotóxicos mais vendidos, incluindo herbicidas, inseticidas, acaricidas, etc., com aproximadamente 217 mil toneladas de ingrediente ativo vendidas em 2019, valor mais de quatro vezes maior que o do segundo colocado, também pertencente à classe dos herbicidas, o 2,4 -D (IBAMA, 2021).

Recentemente, houve um crescimento considerável da preocupação global em relação ao uso intensivo de agrotóxicos na agricultura e seus efeitos sobre a segurança alimentar, e diversos estudos foram realizados visando verificar a presença de resíduos de glifosato em frutas, vegetais, água, rios, sedimentos, bebidas, leite materno, urina humana, cabelo humano entre outros (BAI; OGBOURNE, 2016, SANTOS; DE OLIVEIRA MELLO; CARDOSO, 2018, STEINBORN et al., 2016, VAN BRUGGEN et al., 2018), bem como acerca da toxicidade em humanos e outros tipos de organismos (TARAZONA et al., 2017, ZYOUND et al., 2017).

De modo geral, o aumento no volume de glifosato consumido mundialmente está diretamente associado ao avanço do monocultivo e ao desenvolvimento de espécies comerciais resistentes. Por esta razão, nos lugares em que o monocultivo ocorre em menor escala, como no Amazonas, o consumo de glifosato é reduzido, o que não diminui a importância da realização de estudos relacionados ao tema, principalmente em virtude da necessidade de se preservar a diversidade ecológica presente na região.

Segundo dados do IBGE (2021), o glifosato é o principal agrotóxico utilizado no Amazonas, representando cerca de 45% de todas as vendas de agrotóxicos no estado, com 48,80

toneladas de ingrediente ativo vendidas em 2019. Este herbicida também é o principal agrotóxico utilizado pelos produtores rurais da Região Norte, e estudos indicam que geralmente seu uso ocorre sem nenhum acompanhamento profissional ou equipamentos de proteção individual (CRUZ; DE FARIAS, 2018, DA SILVA et al., 2016, DA SILVA CARVALHO et al., 2018, IBGE, 2021).

Entre os problemas recorrentes na região e que potencializam os riscos de contaminação estão: a) a aquisição de produtos sem o receituário agrônomo; b) o descarte irregular das embalagens e dos utensílios de medição após o uso; c) a falta de higienização adequada após a aplicação; d) o uso incorreto ou não utilização dos equipamentos de proteção individual e; e) a falta de conhecimento sobre os períodos de reentrada e de carência. Além disso, a fragilidade da vigilância estatal e a ausência de políticas públicas que estimulem a redução do uso, ou que incentivem a produção agroecológica, contribuem para o aumento desses riscos (PIGNATI et al., 2017).

3.2.1.1.2 Resíduos de herbicidas

Estudos trouxeram à luz como o uso massivo de herbicidas criou ao longo do tempo uma espécie de contaminação global que afetou o solo, as águas, a atmosfera e até alimentos e objetos comumente utilizados no dia a dia, como fraldas, gaze e absorvente para higiene íntima feminina, etc. (TORRETTA et al., 2018). Considerando o uso excessivo destes agroquímicos nas culturas e que, apenas uma porção da quantidade aplicada atinge seus alvos específicos, estima-se que grandes quantidades desses compostos podem ser encontradas em diferentes condições ambientais, incluindo os recursos hídricos e diferentes organismos não alvos (DAVICO, 2017).

Os riscos de contaminação variam de acordo com os grupos químicos e os tipos de produtos utilizados, sendo geralmente associados a efeitos crônicos à saúde, com efeitos em longo prazo e de difícil constatação donexo causal entre causa e efeito (ANVISA, 2016).

Assim, as análises eficientes das quantidades de resíduos de agrotóxicos pesticidas presentes nos alimentos, bem como dos riscos de contaminação em função do manejo, são essenciais para possibilitar as adoções das medidas necessárias à preservação da saúde e do ambiente, em virtude das incertezas científicas acerca do tema (DE GUSMÃO; RIBEIRO; CUSTÓDIO, 2018).

Para o monitoramento da qualidade dos alimentos, o Brasil conta com o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), instituído pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que monitora periodicamente a segurança de alimentos consumidos pela população, averiguando a possível existência ou persistência de agrotóxicos. O programa PARA tem analisado os resíduos de agrotóxicos em diversas culturas agrícolas, tais como: abacaxi, alface, banana, laranja, mamão, pimentão, tomate, mandioca, entre outras. Essas culturas são escolhidas com base nos dados de consumo divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e na disponibilidade desses alimentos nas redes de supermercados do país (ANVISA, 2016).

Em relação à mandioca, entre os anos de 2013 a 2015, o PARA analisou 470 amostras, sendo que 457 destas foram consideradas satisfatórias. Apesar dos dados positivos, cumpre ressaltar que essas análises foram realizadas apenas em amostras de farinha da mandioca, não sendo possível determinar se igual resultado seria obtido em análises de mandioca para o consumo *in natura*, considerando as possíveis perdas decorrentes do processo de industrialização. Além disso, nesse mesmo período o PARA constatou em 13 amostras, o uso de agrotóxicos não autorizados para a cultura da mandioca (ANVISA, 2016).

Destaca-se que até o ano de 2017, o PARA não realizava análises para glifosato e 2,4-D, curiosamente os dois principais agrotóxicos utilizados no Brasil e que representam mais de 50% do mercado nacional, pois, segundo a ANVISA (2016), a necessidade de metodologia específica para cada uma dessas análises prejudicaria a rotina laboratorial. Apesar do anúncio da ANVISA de que estes agrotóxicos seriam incluídos nos próximos monitoramentos, não é

certo que o monitoramento destes agrotóxicos será realizado na mandioca, uma vez que haverá a priorização das análises para as culturas que mais utilizam esses produtos e até o presente nenhum estudo foi divulgado pelo órgão nesse sentido.

Assim, a conclusão da ANVISA de que a segurança dos alimentos no Brasil é satisfatória carece de um fundamento científico válido, na medida em que o órgão ignora o principal herbicida utilizado no Brasil, o glifosato, que não é analisado nas amostras mesmo representando quase metade do total de agrotóxicos usados no Brasil (DE GUSMÃO; RIBEIRO; CUSTÓDIO, 2018). Segundo Coelho (2017), em particular para o glifosato, faz-se necessária a adoção de um programa de monitorização específico para a detecção da presença de resíduos de glifosato e herbicidas a base de glifosato, nos alimentos, no solo, nos corpos d'água e nos fluídos humanos, de modo a levantar a real contaminação das populações por esses produtos.

Duas são as principais hipóteses levantadas sobre o acúmulo de glifosato nos alimentos: a) o acúmulo desta substância ocorreria pelo transporte do glifosato para as regiões de crescimento durante o estágio reprodutivo, locais em que ocorreria a máxima expressão da codificação da EPSPS (SHANER, 2009); e b) o acúmulo ocorreria em função do contato direto deste herbicida com o órgão contaminado, uma vez que o transporte dessa substância internamente ocorreria em quantidades insuficientes para possibilitar sua detecção.

A maior parte dos estudos acerca da presença de resíduos de glifosato em alimentos tem se limitado a avaliar órgãos produzidos acima do nível do solo, onde há a maior probabilidade de contato com o herbicida, não havendo grandes considerações acerca da possível contaminação em tubérculos e raízes, tanto pela ausência de contato, quanto pela baixa atividade deste herbicida no solo.

Apesar da rápida degradação e da baixa mobilidade do glifosato no solo, os compostos adsorvidos nos coloides podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas através dos processos de escoamento e lixiviação (MASIOL; GIANNÌ; PRETE, 2018), o que pode

promover o contato indireto deste produto com as raízes, como a mandioca. Estudos têm buscado avaliar o potencial deste herbicida na contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e até mesmo da água potável, do solo, bem como sobre algumas raízes e tubérculos, tais como cenouras e batatas (CARLES et al., 2019, CHANSUVARN; CHANSUVARN, 2018, LIAO et al., 2018, MASIOL; GIANNÌ; PRETE, 2018, NOORI et al., 2018, TSAI, 2019).

3.3 Plantas de cobertura para o controle das plantas infestantes

A supressão de plantas infestantes é aprimorada quando diferentes métodos de controle são combinados (Manejo Integrado das Plantas Infestantes), o que resulta na diminuição da necessidade de operações manuais e do uso de herbicidas, reduzindo seus impactos ambientais negativos (LOWRY; SMITH, 2018). Para que essas combinações ocorram, é necessário levar em consideração alguns fatores, tais como: a biologia da comunidade infestante, o histórico da área, as características da cultura, o dano limiar, o clima, etc. Nesse sentido, eliminar as plantas infestantes é apenas parte do quadro, ao passo que, compreender os métodos de controle e suas relações com o sistema de cultivo, é compor um manejo completo e adequado.

As plantas de cobertura podem suprimir as infestantes devido a efeitos competitivos e/ou alelopáticos, diminuindo os prejuízos causados pelas infestantes sobre a produtividade dos cultivos agrícolas (STURM; PETEINATOS; GERHARDS, 2018). Além disso, após o corte das plantas de cobertura, a manutenção da matéria orgânica na superfície do solo contribui para reduzir as perdas por erosão, atuando também como uma barreira física ao crescimento das infestantes, impedindo ou retardando a emergência delas (CEBALLOS et al., 2018, RIZZARDI; SILVA, 2006).

Destaca-se que a incidência de plantas infestantes resistentes a herbicidas potencializa a importância do desenvolvimento de estratégias integradas e sustentáveis no manejo das infestantes, tais como o uso de plantas de cobertura (CHOLETTE et al., 2018). O uso de plantas

de cobertura do solo é uma alternativa sustentável, que pode ser utilizada de forma complementar ao controle químico, sendo economicamente viável e eficiente na supressão das plantas infestantes, contribuindo para o desenvolvimento das culturas.

A inclusão de plantas de cobertura oferece oportunidades para aumentar o rendimento dos sistemas de produção que adotam baixo nível de tecnologia, além de contribuir para a promoção de sistemas agrícolas mais ecológicos (WITTWER et al., 2017). Entretanto, a recomendação das espécies de cobertura para determinada cultura dependerá da realização de estudos práticos, seguidos de um ajuste fino que levem em consideração a comunidade infestante, a cultura, o clima e a realidade dos produtores da região de estudo.

A supressão adequada dependerá diretamente da espécie de cobertura e do manejo a ser empregado (LAMEGO et al., 2015) e, apesar das potencialidades positivas da introdução das plantas de cobertura, seus efeitos sobre a produtividade das culturas têm sido variáveis e muitas vezes negativos (VAN EERD, 2018). Portanto, é necessária uma melhor compreensão dos sistemas de cobertura vegetal para cada tipo de manejo com a finalidade de otimizar o uso dessas plantas e aumentar a produtividade dos cultivos.

Estudos têm revelado que as características de crescimento, associadas à época de semeadura e à densidade de cultivo, podem aumentar a agressividade das coberturas sobre a comunidade infestante e também sobre a cultura (LAMEGO et al., 2015, VIDOTTO et al., 2018). Nessa perspectiva, uma mesma espécie de cobertura pode apresentar comportamentos opostos para diferentes culturas agrícolas, e sendo que algumas características devem ser observadas antes da introdução nos cultivos, tais como: boa adaptabilidade às condições locais; não ser hospedeira de doenças ou pragas; não promover danos alelopáticos à cultura; possuir hábito de crescimento não agressivo à cultura; possuir ciclo de vida compatível com o ciclo da cultura; preservar os atributos do solo e promover a supressão satisfatória das plantas infestantes.

As informações sobre a produção de massa seca, a porcentagem de cobertura do solo, a altura do dossel e a taxa de decomposição dos resíduos vegetais são importantes, pois, em geral, representam a capacidade das coberturas em promover a supressão da comunidade infestante. O conhecimento sobre a contribuição dos efeitos competitivos das plantas de cobertura é importante na identificação de espécies de coberturas, ou mistura de coberturas, com elevada capacidade de supressão de plantas infestantes (STURM; PETEINATOS; GERHARDS, 2018).

Destaca-se que as leguminosas representam a maior parte dos estudos sobre plantas de cobertura, devido ao elevado potencial que as plantas desta família apresentam como adubos verdes. Entre as principais vantagens das leguminosas como coberturas, citam -se a capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico, o sistema radicular profundo que promove a reciclagem de nutrientes, a elevada produção de biomassa e a baixa relação C/N, o que favorece a decomposição e a liberação de nutrientes (SABADIN, 1984). Por sua vez, as gramíneas têm sido também bastante estudadas e podem ser alternativas importantes para cobertura do solo, considerando que elas promovem a formação de palhada, ajudam nas preservações dos atributos e da qualidade do solo, além de contribuírem para a supressão de plantas infestantes e estabilização da produção (MENEZES; LEANDRO, 2004).

Apesar de todos os benefícios conhecidos, o uso de coberturas pelos produtores permanece limitado devido à uma série de fatores, tais como: dificuldades em obter as sementes e/ou propágulos das plantas de cobertura; escassez de orientação técnica na propriedade; custos de aquisição das sementes e desconhecimento sobre o manejo. Destacando que uma cobertura mal manejada pode se tornar uma planta infestante e diminuir o potencial de rendimento da cultura (PALHANO; NORSWORTHY; BARBER, 2018). Conforme afirmam Plastina et al. (2018), apesar das percepções positivas dos agricultores sobre a adoção das plantas de cobertura, os retornos líquidos anuais calculados para cobrirem os custos com o seu uso podem ser negativos.

A redução dos custos de implantação das plantas de cobertura, o aprimoramento das técnicas de semeadura e a seleção de espécies adequadas exigem a realização de pesquisas adicionais, o que poderá contribuir para a potencialização do uso dessa prática, com reflexos em benefícios ambientais (GÓMEZ et al., 2018).

Entretanto, são escassos os estudos acerca do uso de plantas de cobertura nos cultivos de mandioca, não havendo registros relativos à região amazônica. Essa realidade sugere que sejam implementados estudos iniciais nesta região, visando levantar informações para embasar as aplicações de métodos alternativos ao uso de produtos químicos para o controle das plantas infetantes.

3.3.1 Braquiária (*Brachiaria ruziziensis* (G.Germ. & C.M.Evrard) Crins)

A *B. ruziziensis* é uma espécie pertencente ao gênero *Brachiaria* e a família Poaceae. É uma planta perene de crescimento rasteiro e em touceira, com folhas pilosas em ambas as faces e que possuem bordas ásperas e dentadas, com muitas nervuras. Também apresenta uma inflorescência, na forma de panícula racemosa, com cores que variam do verde ao roxo, que podem medir de 16 a 60 cm de comprimento (OLIVERA; MACHADO; DEL POZO, 2006).

Cerca de 70% das pastagens cultivadas no Brasil são do gênero *Brachiaria*, que representam mais de 80 milhões de hectares de pastagens cultivadas com espécies deste gênero (MACEDO et al., 2013). Há crescente interesse na utilização dessas plantas para a formação da palhada, vez que possuem potencial de persistência da palha sobre o solo e boa adaptação às regiões mais quentes (DE LOLLO ALMEIDA et al., 2020, PINTO et al., 2021).

Entre as principais características da *B. ruziziensis* estão a boa adaptabilidade, rápido crescimento inicial, tolerância e resistência a fatores bióticos, grande capacidade de produção de matéria seca com elevado valor nutricional, boa cobertura do solo e melhoria na relação de água e ar armazenados no solo (DA GAMA et al., 2020, FAVILLA; TORMENA; CHERUBIN, 2020, GUSMÃO; GOMES; PACIULLO, 2019, MINGOTTE et al., 2020).

3.3.2 Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.)

O feijão-de-porco é uma leguminosa originária da África que pertence à família das Fabaceae e à subfamília Papilionoideae, que possui cerca de 480 gêneros e 12.000 espécies distribuídas em todo o globo (BAMIRO; TAIRU; ODERINDE, 1994). O gênero *Canavalia* compreende aproximadamente 48 espécies de leguminosas amplamente distribuídas nos trópicos (TIAMIYU; OKOMODA; AKPA, 2016).

É uma planta herbácea, anual, que possui porte ereto e hábito de crescimento determinado, medindo de 60 a 120 cm de altura. As folhas são alternadas, de cor verde escura, apresenta flores grandes de cor violácea ou roxa, vagens achatadas largas e compridas, com cerca de 20 centímetros, cada vagem contém de 4 a 18 sementes grandes, com coloração branca e hilo pardo (EMBRAPA, 2000).

É uma espécie que possui múltiplas utilidades e que tem sido estudada como cobertura vegetal, tendo como características: elevada produção de biomassa, crescimento agressivo, resistência a estresses bióticos e abióticos, emprego como adubo verde, podendo estabelecer simbiose com fungos micorrízicos solubilizadores de fosfato e com bactérias fixadoras de nitrogênio no solo, além de possuir potencial para uso em programas de fitorremediação, pela capacidade de acumular elevados níveis de metais em seus tecidos (DA SILVA; DE ANDRADE; DE-CAMPOS, 2018, FERRAÇO et al., 2017, MADALÃO et al., 2017).

3.3.3 Mucuna-preta (*Mucuna pruriens* (L.) DC.)

A mucuna-preta é uma leguminosa tropical mundialmente cultivada, sendo nativa da África e da Ásia tropical (MUSTHAFA et al., 2018). É uma planta herbácea, anual e de ciclo longo, cerca de 240 dias, com caules finos, longos, flexíveis e volúveis com hábito de crescimento trepador. As flores são de coloração arroxeada e as vagens, grossas e largas,

geralmente exibem poucas sementes que, quando maduras, são grandes e possuem coloração preta bem nítida, com hilo branco característico (RAMOS et al., 2018).

A *M. pruriens* é considerada uma planta medicinal valiosa, tendo sido estudada no tratamento de diversas doenças, tais como malária, câncer, epilepsia, doença de Parkinson, diarreia, helmintíase, úlcera, infertilidade, picada de cobra, picadas de escorpião e elefantíase (AMEH et al., 2020, EZIM; ALAGBE; IDIH, 2021, RAI et al., 2020, TUMBAS-SAPONJAC et al., 2020). Além do valor medicinal, a mucuna-preta também tem sido bastante utilizada como planta de cobertura e como adubo verde, devido aos seus principais benefícios, que são: fixação simbiótica de nitrogênio, controle das plantas infestantes pela competição e por meio de compostos alelopáticos, elevada produção de biomassa, contribuição para a redução da erosão do solo e, aumento da atividade biológica no solo (ÁVILA et al., 2020, SHETTY, 2018, TRAVLOS et al., 2018).

3.4 Influência dos métodos de controle sobre as propriedades do solo

Com a intensificação dos sistemas produtivos, as propriedades do solo podem sofrer alterações desfavoráveis ao crescimento vegetal, razão pela qual tem se buscado por sistemas de manejo que minimizem os impactos causados no ambiente, com a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Em verdade, o uso das plantas de cobertura do solo foi inicialmente proposto como uma alternativa à promoção da conservação da qualidade do solo pela redução dos processos erosivos, e, ao mesmo tempo, pela incorporação dos resíduos vegetais ao solo.

As plantas de cobertura podem influenciar diretamente diversos fatores, tais como: descompactação do solo, incremento dos teores de matéria orgânica, capacidade de absorção e ciclagem de nutrientes, conservação da microbiota e aeração do solo, podendo contribuir para a elevação da produtividade das culturas (BOER et al., 2007, BÜCHI, et al., 2018, SOUZA; MELO, 2000, WEGNER et al., 2018).

Alguns estudos demonstraram que o uso de plantas de cobertura pode diminuir a velocidade e o volume do escoamento das águas, melhorando a taxa de infiltração e reduzindo o risco de lixiviação do nitrato do solo, pode elevar o conteúdo de N inorgânico e reduzir a temperatura das camadas superficiais, além de promover melhorias significativas nos estoques de carbono e nitrogênio, e também na qualidade do solo e da água (BLANCO-CANQUI, 2018, GARCÍA-GONZÁLEZ, 2018, REPULLO-RUIBÉRRIZ DE TORRES, et al., 2018, VAN HUYSSTEEN; VAN ZYL; KOEN, 2017).

Os atributos químicos e biológicos do solo são mais afetados em função do manejo quando comparados aos atributos físicos, pois nestes últimos as alterações demandariam maior período de tempo. Contudo, alguns atributos físicos do solo, tais como a densidade e a porosidade, têm sido priorizados como indicadores para avaliar sistemas de uso e manejo, por serem diretamente relacionados ao crescimento das plantas (BELANGER et al., 2017, BONINI et al., 2018).

A cobertura vegetal do solo pode promover o aumento significativo do volume de poros e da permeabilidade do solo, dentro da camada preparada convencionalmente, facilitando o armazenamento de ar e crescimento das raízes nesta camada (BERTOL et al., 2001). O estudo de possíveis alterações nos atributos físicos do solo torna-se essencial na medida em que o declínio da qualidade física tem consequências diretas na qualidade química e biológica do solo, razão pela qual devem ser avaliados conjuntamente (NEVES JÚNIOR, 2008).

Em relação aos atributos químicos, é importante compreender quais os impactos ao solo que podem resultar da introdução das coberturas. Em geral, as plantas de cobertura são utilizadas em solos pouco ácidos, de baixa fertilidade e com pouca matéria orgânica, com a finalidade de reduzir os processos erosivos e aumentar a quantidade de nitrogênio no solo, principalmente com o uso de leguminosas. O manejo adequado dos resíduos vegetais dessas coberturas durante o processo de decomposição pode maximizar essas contribuições (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2018).

Mesmo os solos mais férteis necessitam do manejo adequado da vegetação para a promoção de uma produção sustentável, caso contrário ocorrerá à deterioração dos seus atributos (NEVES JÚNIOR, 2008). Estudos demonstram que o uso preciso de plantas de cobertura pode sustentar o rendimento da cultura e melhorar a fertilidade do solo em longo prazo, além de aumentar consideravelmente o carbono orgânico do solo, o nitrogênio total, reduzir a lixiviação de nitratos e a perda de solo (BÜCHI, et al., 2018, BURGER et al., 2017, GÓMEZ et al., 2018).

Portanto, os métodos de controle das plantas infestantes podem promover alterações importantes nas propriedades do solo, não sendo razoável supor que a indicação do manejo das plantas infestantes baseie-se, exclusivamente, na maior produtividade comercial e ignore os impactos deste manejo sobre a qualidade do solo e, conseqüentemente, sobre a sustentabilidade ambiental dos cultivos.

Os solos da região Amazônica são de baixa fertilidade o que torna a conservação deles essencial para a manutenção desse ecossistema. Na Amazônia, as alterações nas propriedades do solo são mais nítidas quando os sistemas de uso do solo são comparados à vegetação nativa (BONILLA-BEDOYA et al., 2017, BONINI et al., 2018, MYSTER, 2016). Igualmente, a região é mais susceptível à degradação do solo e à perda de nutrientes quando comparada às regiões de clima temperado em razão da elevada mineralização da matéria orgânica (MONTECCHIA et al., 2011).

Na busca por um manejo sustentável das plantas infestantes é imprescindível a análise dos efeitos dos métodos de controle sobre a dinâmica e as propriedades do solo, sendo fundamental que o manejo recomendado aos produtores apresente uma relação equilibrada entre a quantidade produzida e a manutenção da qualidade ambiental.

4. REFERÊNCIAS

ABRAL, H. et al. Characterization of PVA/cassava starch biocomposites fabricated with and without sonication using bacterial cellulose fiber loadings. **Carbohydrate polymers**, v. 206, p. 593-601, 2019.

AMEH, M. P. et al. Detoxifying action of aqueous extracts of *Mucuna pruriens* seed and *Mimosa pudica* root against venoms of *Naja nigricollis* and *Bitis arietans*. **Recent Patents on Biotechnology**, v. 14, n. 2, p. 134-144, 2020.

AMRHEIN, N. et al. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate: II. Interference of glyphosate with chorismate formation in vivo and in vitro. **Plant physiology**, v. 66, n. 5, p. 830-834, 1980.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2016. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). **Relatório de Atividades de 2013 a 2015**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/3778json-file-1>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ARYEETAY, E. et al. Recipe standardization of bread using cassava-wheat composite flour. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 17, n. 3, p. 1-24, 2018.

ASHWORTH, M. B. et al. Identification of the first glyphosate-resistant wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) populations. **Pest Management Science**, v. 70, n. 9, p. 1432-1436, 2014.

ÁVILA, J. S. et al. Green manure, seed inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and nitrogen fertilization on maize yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 9, p. 590-595, 2020.

AZIZ, A. et al. Cassava flour slurry as a low-cost alternative to commercially available gel for obstetrical ultrasound: a blinded non-inferiority trial comparison of image quality. **BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology**, v. 125, n. 9, p. 1179-1184, 2018.

BAI, S.; OGBOURNE, S. M. Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 19, p. 18988-19001, 2016.

BAMIRO, F. O.; TAIRU, A. O.; ODERINDE, R. A. The Nutritive values of Nigerian Jack beans (*Canavalin ensiformis*). **La Rivista Heliana Delle Sastance citraste**, v. 71, p. 421-424, 1994.

BAYLIS, A. D. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 56, n. 4, p. 299-308, 2000.

BELANGER, E. et al. Altered nature of terrestrial organic matter transferred to aquatic systems following deforestation in the Amazon. **Applied Geochemistry**, v. 87, p. 136-145, 2017.

BENBROOK, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2016.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Sci. agric**, v. 58, p. 555-560, 2001.

BHOWMIK, P. C. Importance of allelopathy in agriculture: Bioavailability and functions of allelochemicals in soil environment. **Indian Journal of Weed Science**, v. 50, n. 3, p. 209-217, 2018.

BHOWMIK, P. C.; INDERJIT, B. D. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. **Crop Protec.**, v. 22, n. 4, p. 661-671, 2003.

BLANCO, H. G. A importância dos estudos ecológicos nos programas de controle das plantas daninhas. **O Biológico**, v. 38, n. 10, p. 343-50, 1972.

BLANCO-CANQUI, H. Cover crops and water quality. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1633-1647, 2018.

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. 9, p. 1269-1276, 2007.

BONILLA-BEDOYA, S. et al. Effects of land use change on soil quality indicators in forest landscapes of the Western Amazon. **Soil Science**, v. 182, n. 4, p. 128-136, 2017.

BONINI, I. et al. Collapse of ecosystem carbon stocks due to forest conversion to soybean plantations at the Amazon-Cerrado transition. **Forest Ecology and Management**, v. 414, p. 64-73, 2018.

BRAAK, N. et al. The effects of insecticides on butterflies – A review. **Environmental pollution**, v. 242, p. 507-518, 2018.

BRIGHENTI, A. M.; DE OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. Embrapa Milho e Sorgo. **Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, p. 36, 2011

BROWN, V. et al. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

BÜCHI, L. et al. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 92-104, 2018.

BUAH-KWOFIE, A.; HUMPHRIES, M. S.; PILLAY, L. Bioaccumulation and risk assessment of organochlorine pesticides in fish from a global biodiversity hotspot: Simangaliso Wetland Park, South Africa. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 273-281, 2018.

BURGER, M. et al. Cover crop development related to nitrate uptake and cumulative temperature. **Crop Science**, v. 57, n. 2, p. 971-982, 2017.

CARLES, L. et al. Meta-analysis of glyphosate contamination in surface waters and dissipation by biofilms. **Environment international**, v. 124, p. 284-293, 2019.

CALL, E.; GETTY R. E. The eradication of bind-weed. **Kansas Agr. Exp. Sta. Circ. 101**. p. 18, 1923.

CARNEIRO, F. F. et al. 2015. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Disponível em: <www.abrasc.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CEBALLOS, G. A. et al. Production and speed of decomposition of species of soil coverage in direct sowing system. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p. 1-6, 2018.

CHANSUVARN, W.; CHANSUVARN, S. Distribution of Residue Carbofuran and Glyphosate in Soil and Rice Grain. In: Applied Mechanics and Materials. **Trans Tech Publications**, p. 118-124, 2018.

CHOLETTE, T. B. et al. Suppression of Glyphosate-resistant Canada Fleabane (*Conyza canadensis*) in Corn with Cover Crops Seeded after Wheat Harvest the Previous Year. **Weed Technology**, v. 32, n. 3, p. 244-250, 2018.

CONABE. Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. **Mandioca: raiz, farinha e fécula. Conjuntura mensal.** Disponível em: <www.conab.gov.br/item/download>. Acesso em: 16 jan. 2019.

CORDEIRO, I. et al. 2013. Euphorbiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro.** Disponível em: <www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB113>. Acesso em: 05 jan. 2019.

COUTO DE MAGALHÃES, J. V. **O Selvagem.** São Paulo. 3. ed, p. 166, 1935.

COELHO, M. C. R. S. Glifosato, Saúde e Ambiente - Uma Revisão. **Dissertação.** Universidade do Porto, Medicina, Área Metropolitana do Porto, p. 76, 2017.

CRUZ, R. H. R.; DE FARIAS, A. L. A. Impactos Socioambientais de Produção de Palma de Dendê Na Amazônia Paraense: Uso de Agrotóxicos. **Revista GeoAmazônia**, v. 5, n. 10, p. 86-109, 2018.

DA GAMA, L. A. et al. Phytosociology and cover analysis in the suppression of weeds from an Amazonian agrosystem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p.1-9, 2020.

DA SILVA, L. L. et al. O glifosato no cultivo de mandioca (Uarini-Amazonas). **Scientia Amazonia**, v.5, n.1, 55-62, 2016.

DA SILVA, M.; DE ANDRADE, S. A. L.; DE-CAMPOS, A. B. Phytoremediation Potential of Jack Bean Plant for Multi-Element Contaminated Soils From Ribeira Valley, Brazil. **CLEAN–Soil, Air, Water**, v. 46, n. 6, p. 1700321, 2018.

DA SILVA CARVALHO, L. T. et al. O Uso Agrícola da Terra na Comunidade do Broca, Município de Santa Luzia do Pará, Nordeste Paraense, Amazônia Oriental. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1-6, 2018.

DAVICO, C. E. Toxicidade celular do herbicida à base de glifosato, Roundup® WG: impactos sobre a organização morfofuncional dos ovários do peixe-zebra Danio rerio, como modelo experimental. **Dissertação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Biologia Celular e Desenvolvimento, Santa Catarina, p. 84, 2017.

DAVIES, L. R. et al. The First Cases of Evolving Glyphosate Resistance in UK Poverty Brome (*Bromus sterilis*) Populations. **Weed Science**, v. 67, n. 1, p. 41-47, 2019.

DAVIS, A. S.; FRISVOLD, G. B. Are herbicides a once in a century method of weed control?. **Pest management science**, v. 73, n. 11, p. 2209-2220, 2017.

DE ALMEIDA SILVA, M. et al. Nutritional status, yield components, and yield of cassava as influenced by phenological stages and water regimes. **Journal of Plant Nutrition**, p.1-16, 2021.

DE CARVALHO, G. R. et al. Cassava bagasse as a reinforcement agent in the polymeric blend of biodegradable films. **Journal of Applied Polymer Science**, p. 47224, 2019.

DE GUSMÃO, L. C.; RIBEIRO, J. C. J.; CUSTÓDIO, M. M. Segurança Alimentar e Agrotóxicos: A situação do glifosato perante o princípio da precaução. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 31, p. 95-125, 2018.

DE LOLLO ALMEIDA, K. et al. Consórcio do milho e *Brachiaria ruziziensis*, época de dessecação e desempenho da soja em sucessão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e-13791210867, 2020.

DE SOUSA TRINDADE, M. J.; ALVES LAMEIRA, O. Especies de interés de familia Euphorbiaceae en Brasil. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 19, n. 4, p. 292-309, 2014.

DIAS, M. C. et al. Recomendações técnicas do cultivo de mandioca para o Amazonas. **Circular Técnica**, 23. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, p. 24, 2004.

DOOLOTKELDIEVA, T.; KONURBAEVA, M.; BOBUSHEVA, S. Microbial communities in pesticide-contaminated soils in Kyrgyzstan and bioremediation possibilities. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 32, p. 31848-31862, 2018.

DOS SANTOS, A. F. D. 2018. Controle de plantas daninhas na cultura do Guaranazeiro com herbicidas, e seus efeitos sobre Bioindicadores. **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Agronomia Tropical, Amazonas, p. 96, 2018.

DOS SANTOS LEANDRO, C. et al. Phenolic Composition and Allelopathy of *Libidibia ferrea* Mart. ex Tul. in Weeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, 2019.

DUKE, S. O.; POWLES, S. B. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 64, n. 4, p. 319-325, 2008.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. **Feijão-de-porco: leguminosa para controle de mato e adubação verde do solo**. Disponível em: < ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38454/1/FeijaoPorcoLeguminosa.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2016. **Cultivo de mandioca com uso de tecnologias permite aumento de produtividade acima de 150% no AM**. Disponível em: < www.embrapa.br/busca-de-noticias/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. **Principais variedades de mandioca recomendadas para o Norte, Nordeste e Centro-Sul do Brasil**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173763>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

ESSER, H. J. Tribes Hippomaneae, Pachystromateae and Hureae. In: Radcliffe-Smith, A. (Ed.) **Genera Euphorbiacearum**, Royal Botanic Gardens, Kew, England. p. 352-370, 2001.

EU. European Union. 2017. Communication from The Commission on the European Citizens. **Initiative "Ban glyphosate and protect people and the environment from toxic pesticides"**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/food/system/files/2017-12/pesticides_glyphosate_eci_final.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2021.

EU. European Union. 2021. EU Pesticide Database. **Active substances, safeners and synergists**. Disponível em: <www.ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

EZIM, O. E.; ALAGBE, O. V.; IDIH, F. M. Antimalarial Activity of Ethanol Extract of *Mucuna pruriens* Leaves on Nk65 Chloroquine Sensitive Strain of Plasmodium berghei. **Journal of Complementary and Alternative Medical Research**, p. 1-7, 2021.

FAVILLA, H. S.; TORMENA, C. A.; CHERUBIN, M. R. Detecting near-surface *Urochloa ruziziensis* (Braquiaria grass) effects on soil physical quality through capacity and intensity indicators. **Soil Research**, v. 59, n. 2, p. 214-224, 2020.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2013. **Mandioca: um guia para a intensificação sustentável da produção. Produzir mais com menos**. Disponível em: <www.fao.org/3/i2929o/i2929o.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2016. **Report of the Secretariat on the Work of the Who Expert Task Force on Carcinogenicity of Diazinon, Glyphosate and Malathion for Consideration by JMPR**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Report2015/ANNEX_7.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2017. **Food outlook: Biannual report on global food markets**. Disponível em: <www.fao.org/3/i8080e/i8080e.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2019. **Pesticides indicators**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize>>. Acesso em: jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. 2020. **Agricultural production - Crops primary**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: jul. 2021.

FERRAÇO, M. et al. Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 32-40, 2017.

FRANZ, J. E. et al. **Glyphosate: A Unique Global Herbicide**. American Chemical Society, Washington DC, p. 653, 1997.

FRASER, J. A.; CLEMENT, C. R. Dark Earths and manioc cultivation in Central Amazonia: a window on pre-Columbian agricultural systems? *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 3, n. 2, p. 175-194, 2008.

GARCÍA-GONZÁLEZ, I. et al. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, v. 322, p. 81-88, 2018.

GABRIEL, B. J. Gut Symbiont Viability in Honey Bees Exposed to Agrochemical Stressors. **Dissertation**. University of Nebraska – Lincoln. Entomology, Nebraska, p. 78, 2018.

GÓMEZ, J. A. et al. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 977-989, 2018.

GONÇALVES, G. S. Período crítico de interferência de plantas infestantes e seus efeitos sobre as características fisiológicas e nutricionais em laranja 'pera', no Amazonas. **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Agronomia Tropical, Amazonas, p. 104, 2015.

GUSMÃO, M. H. A.; GOMES, F. T.; PACIULLO, D. S. C. Respostas morfogênicas, estruturais e produtivas de *Brachiaria ruziziensis* em diferentes épocas do ano e intensidades de desfolhação. **Biológica-Caderno do Curso de Ciências Biológicas**, n. 2, p. 1-16, 2019.

HAYES, T. B.; HANSEN, M. From silent spring to silent night: Agrochemicals and the anthropocene. **Elem Sci Anth**, v. 5, p. 57, 2017.

HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest management science**, v. 74, n. 5, p. 1040-1049, 2018.

HEISER JÚNIOR, C. B. **Sementes para a civilização**. São Paulo: Nacional/EDUSP, p. 253, 1973.

HENEBERG, P.; SVOBODA, J.; PECH, P. Benzimidazole fungicides are detrimental to common farmland ants. **Biological Conservation**, v. 221, p. 114-117, 2018.

HENRIQUES, H. J. R. Sistemas de manejo do solo para retomada do plantio direto. **Dissertação**. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Agronomia, Ilha Solteira, São Paulo. p. 57, 2018.

HOLDER, P. J. et al. Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 51, p. 13033-13038, 2018.

HOLM, F. A.; JOHNSON, E. N. The history of herbicide uses for weed management on the prairies. **Prairie Soils Crops**, v. 2, p. 1-11, 2009.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. 2021. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>>. Acesso em: jul. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatísticas históricas do Brasil: séries econômicas, demográficas e sociais de 1550 a 1988. **Séries estatísticas retrospectivas**. Rio de Janeiro. 2 ed., v.3, p.635, 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. **Censo agropecuário**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf>. Acesso em: jul. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: jul. 2021.

JABRAN, K. et al. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop protection**, v. 72, p. 57-65, 2015.

JIAO, J.; LI, J.; BAI, Y. et al. Uncertainty analysis in the life cycle assessment of cassava ethanol in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 438-451, 2019.

JIRAPRASERTWONG, A.; MAITRIWONG, K.; CHAVADEJ, S. Production of biogas from cassava wastewater using a three-stage upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Renewable Energy**, v. 130, p. 191-205, 2019.

JONES, I. R.; ORTON W. G. The orange hawkweed or “paint-brush”. **Vermont Agr. Exp. Sta. Bull.** v. 56, p. 15, 1896.

KARN, E. et al. Variation in Response and Resistance to Glyphosate and Glufosinate in California Populations of Italian Ryegrass (*Lolium perenne* ssp. multiflorum). **Weed Science**, v. 66, n. 2, p. 168-179, 2018.

KARTHIKRAJ, R.; KANNAN, K. Widespread occurrence of glyphosate in urine from pet dogs and cats in New York State, USA. **Science of The Total Environment**, v. 659, p. 790-795, 2019.

KINTCHÉ K. et al. Cassava yield loss in farmer fields was mainly caused by low soil fertility and suboptimal management practices in two provinces of the Democratic Republic of Congo. **Eur J Agron.** v. 89, p. 23-107. 2017.

KISHORE, G.M.; SHAH, D.M. Amino acid biosynthesis inhibitors as herbicides. **Annual review of biochemistry**, v. 57, n. 1, p. 627-663, 1988.

KUEH, B. W. B. et al. Analysis of Melaleuca cajuputi extract as the potential herbicides for paddy weeds. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 11, p. 36-40, 2019.

KUMAR, V. et al. Herbicide-Resistant Kochia (*Bassia scoparia*) in North America: A Review. **Weed Science**, v. 67, n. 1, p. 4-15, 2019.

LAMEGO, F. P. et al. Potencial de supressão de plantas daninhas por plantas de cobertura de verão. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 97-105, 2015.

LEBARON, H. M.; MÜLLER, G. Biology and Ecology of Weeds and the Impact of Triazine Herbicides. **The Triazine Herbicides**, v. 50, p. 584, 2008.

LÉON, J. Origin, evolution and early dispersal of root and tuber crops. **In: Symposium of the International Society for Tropical Root Crops**, p. 20-36, 1977.

LIAO, Y et al. Validation and application of analytical method for glyphosate and glufosinate in foods by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1549, p. 31-38, 2018.

LITZENBERGER, S. C.; POST, A. H. Selective sprays for the control of weeds in Kentucky bluegrass lawns. **Montana Afr. Exp. Sta. Bull**, v. 411, p. 25, 1943.

LOOMIS, W. E. The control of dandelions in lawns. **Journal of Agricultural Research**, v. 56, n. 12, 12-56, 1938.

LOOMIS, W. E.; NOECKER, N. L. Petroleum sprays for dandelions. **Science**, v. 83, n. 2142, p. 63-64, 1936.

LOPEZ-ANTIA, A. et al. Risk assessment of pesticide seed treatment for farmland birds using refined field data. **Journal of applied ecology**, v. 53, n. 5, p. 1373-1381, 2016.

LOWRY, C. J.; SMITH, R. G. Weed Control Through Crop Plant Manipulations. **In: Non-Chemical Weed Control**. p. 73-96, 2018.

MACEDO, M. C. M. et al. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In Embrapa Gado de Corte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Encontro de Adubação de Pastagens da Scot Consultoria-Tec-Fértil, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181, 2013.

MADALÃO, J. C. et al. Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. **Bragantia**, v. 76, p. 292-299, 2017.

MARX, S. Cassava as feedstock for ethanol production: A global perspective. In: Bioethanol production from food crops. **Academic Press**, p. 101-113, 2019.

MASIOL, M.; GIANNÌ, B.; PRETE, M. Herbicides in river water across the northeastern Italy: occurrence and spatial patterns of glyphosate, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate ammonium. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-11, 2018.

MENEZES, L. A.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MIGDAL, P. et al. The Impact of Selected Pesticides on Honey Bees. **Pol. J. Environ. Stud.** v. 27, n. 2, p. 787-792, 2018.

MILÉO, L. J. et al. Phytosociology of weeds in cultivation of two varieties of cassava. **Planta Daninha**, v. 34, n. 267-276, 2016.

MINGOTTE, F.L.C et al. Impact of crop management and no-tillage system on grain and straw yield of maize crop. **Cereal Research Communications**, v. 48, p. 399-407, 2020.

MONTECCHIA, M. S. et al. Garland Multivariate approach to characterizing soil microbial communities in pristine and agricultural sites in Northwest Argentina. **Appl. Soil Ecol.**, v. 47, p. 176-183, 2011.

MONTEIRO, G. F. P. Período crítico de interferência de plantas daninhas na cultura dos citros no município de Manaus. **Dissertação**. Universidade Federal do Amazonas, Agronomia Tropical, Amazonas, p. 50, 2011.

MUSTHAFA, M. S. et al. Protective efficacy of *Mucuna pruriens* (L.) seed meal enriched diet on growth performance, innate immunity, and disease resistance in *Oreochromis mossambicus* against *Aeromonas hydrophila*. **Fish & shellfish immunology**, v. 75, p. 374-380, 2018.

MWENDWA, J. et al. The use of allelopathy and competitive crop cultivars for weed suppression in cereal crops. In: Integrated weed management for sustainable agriculture. **Burleigh Dodds Science Publishing**. p. 361-388, 2018.

MYSTER, R. W. The physical structure of forests in the Amazon Basin: a review. **The Botanical Review**, v. 82, n. 4, p. 407-427, 2016.

NACA. National Agricultural Chemicals Association. **Open door to plenty**. Whashington, D. C., p. 64, 1958.

NASSAR, N. M. Conservation of the genetic resources of cassava (*Manihot esculenta*) determination of wild species localities with emphasis on probable origin. **Economic Botany**, v. 32, n. 3, p. 311-320, 1978.

NEVES, R. C. et al. Persistência de palhada de *Urochloa ruziziensis* em sistema de plantio direto e convencional no município de Nova Xavantina-MT. **Global science and technology**, v. 11, n. 3, 2018.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. Tese. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Agronomia, São Paulo, p. 94, 2008.

NOORI, J. et al. Detection of glyphosate in drinking water: A fast and direct detection method without sample pretreatment. **Sensors**, v. 18, n. 9, p. 2961, 2018.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

OGBONNA, I. O. et al. Utilization of *Desmodium subspicatus* LC172266 for simultaneous remediation of cassava wastewater and accumulation of lipids for biodiesel production. **Biofuels**, p. 1-8, 2018.

OLIVEIRA, L. M. et al. Variedades de mandioca sob concentrações de salinidade na água de irrigação, em cultivo protegido. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 522-528, 2018.

OLIVEIRA, O. M. S. et al. Período de convivência das plantas daninhas com cultivares de feijão-caupi em várzea no Amazonas. **Planta daninha**, v. 28, p. 523-530, 2010.

OLIVERA, Y.; MACHADO, R.; DEL POZO, P. P. Botanical and agronomic characteristics of important forage species of the *Brachiaria* genus. **genus**, v. 29, n. 1, p. 1-13, 2006.

OLSEN, K. M. SNPs, SSRs and inferences on cassava's origin. **Plant Molecular Biology**, v. 56, p. 517-526, 2004.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of *Manihot esculenta*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 10, p. 5586-5591, 1999.

ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. et al. Legumes used as cover crops to reduce fertilisation problems improving soil nitrate in an organic orchard. **European Journal of Agronomy**, v. 95, p. 1-13, 2018.

ORLANDINI, P.; DE LIMA, L. R. **Sinopse do gênero *Manihot* Mill. (Euphorbiaceae) no Estado de São Paulo**, Hoehnea, v. 41, p. 51-60, 2014.

OSIPITAN, O. A.; SCOTT, J. E.; KNEZEVIC, S. Z. Glyphosate-Resistant Soybean Response to Micro-Rates of Three Dicamba-Based Herbicides. **Agrosystems, Geosciences & the Environment**, v. 2, n. 1, 2019.

PALHANO, M. G.; NORSWORTHY, J. K.; BARBER, T. Evaluation of Chemical Termination Options for Cover Crops. **Weed Technology**, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2018.

PEARSALL, D. M. The Origins of Plant Cultivation in South America. In: COWAN, C. Wesley, WATSON, P. J. **The origins of Agriculture: an international perspective**. Washington and London: Smithsonian Institution, p. 173-205, 1992.

PEREIRA, K. J. C. Agricultura Tradicional e manejo da agrobiodiversidade na Amazônia Central: um estudo de caso nos roçados de mandioca nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá, Amazonas. 2008. **Tese**. Universidade de São Paulo, Ecologia Aplicada, São Paulo. p. 223, 2008.

PETERSON, G. E. The discovery and development of 2, 4-D. **Agricultural history**, v. 41, n. 3, p. 243-254, 1967.

PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

PINA DA SILVA, M. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, 2017.

PINTO, P. H. G. et al. Weeds in soybean cultivation with different predecessor cover crops. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 2, p. 5890, 2021.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe agropecuário**, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

PLASTINA, A. et al. Cover crops use in Midwestern US agriculture: perceived benefits and net returns. **Renewable Agriculture and Food Systems**, p. 1-11, 2018.

PUDJIHASTUTI, I.; HANDAYANI, N.; SUMARDIONO, S. The Effect of Emulsifier and Hydrocolloid on Baking Expansion and Texture of Bread from Modified Cassava. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences. p. 01026, 2018.

RAI, S. N. et al. *Mucuna pruriens* in Parkinson's and in some other diseases: recent advancement and future prospective. **Biotech**, v. 10, n. 12, p.1-11, 2020.

RAMOS, A. R. et al. Características agronômicas da mucuna-preta em diferentes épocas de sementeira. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1051-1058, 2018.

SHETTY G. R. Evaluation of velvet bean (*Mucuna pruriens* L.) genotypes for growth, yield, L-dopa content and soil nitrogen fixation in rubber plantation under hill zone of Karnataka. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry SP3**, p. 26-29, 2018.

RENVOIZE, B. S. The area of origin of *Manihot esculenta* as a crop plant – a review of the evidence. **Economic Botany**, Bronx, v. 26, p. 352-360, 1973.

REPULLO-RUIBÉRRIZ DE TORRES, M. A. et al. Efficiency of four different seeded plants and native vegetation as cover crops in the control of soil and carbon losses by water erosion in olive orchards. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 8, p. 2278-2290, 2018.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M. Pesticide use in Brazil and problems for public health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 7, p. 1360-1362, 2014.

RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F. Influence of black oats and rape as cover crops on chemical weed control timing in no-till corn. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 669-675, 2006.

RODRIGUES, G. A. et al. Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, 2018.

SABADIN, H. C. Adubação verde. **Lavoura Arrozeira**, v. 37, n. 354, p. 19-26, 1984.

SANTOS, A. F. D. Controle de plantas daninhas na cultura do Guaranazeiro com herbicidas, e seus efeitos sobre Bioindicadores. **Tese**. Universidade Federal do Amazonas, Agronomia Tropical, Amazonas, p. 96, 2018.

SANTOS, L. J.; DE OLIVEIRA MELLO, P.; CARDOSO, C. E. Determinação espectrofotométrica de glifosato em cabelo humano utilizando complexação com Ca²⁺. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 11, n. 1, p. 54-60, 2018.

SAUER, C. O. Agricultural origins and dispersals. **American Geographical Society**. New York, p. 110, 1952.

SECCO, R. de S. et al. An overview of recent taxonomic studies on Euphorbiaceae sl in Brazil. **Rodriguésia**, v. 63, n. 1, p. 227-242, 2012.

SHACKELFORD, G. E. et al. Cassava farming practices and their agricultural and environmental impacts: a systematic map protocol. **Environmental Evidence**, v. 7, n. 1, p. 30, 2018.

SHANER, D. L. Role of translocation as a mechanism of resistance to glyphosate. **Weed Science**, v. 57, n. 1, p. 118-123, 2009.

SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S. H. Land–Water–Energy Nexus of Biofuels Development in Emerging Economies: A Case Study of Bioethanol Policy in Thailand. In: The Role of Bioenergy in the Bioeconomy. **Academic Press**, p. 379-402, 2019.

SILVA, A. A. et al. Biologia de plantas daninhas. In: **Trópicos em manejo de plantas daninhas**. Editora UFV, Viçosa, p. 17-61, 2007.

SILVA, D. V. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. **Planta daninha**, v. 30, n. 4, p. 901-910, 2012.

SILVA, H. A. D.; MURRIETA, R. S. S. Mandioca, a rainha do Brasil? Ascensão e queda da *Manihot esculenta* no estado de São Paulo. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas**, v. 9, p. 37-60, 2014.

SMITH, A. E.; SECOY, D. M. A compendium of inorganic substances used in European pest control before 1850. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 24, p. 6, p. 1180-1186, 1976.

SOARES, D. O. P. et al. Period of weed interference in guarana crop. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-7, 2019.

SOARES, W. L. Uso dos agrotóxicos e seus impactos à saúde e ao ambiente: uma avaliação integrada entre a economia, a saúde pública, a ecologia e a agricultura. **Tese**. Escola Nacional

de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Saúde Pública e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, p. 163, 2010.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 885-896, 2000.

STEINBORN, A. et al. Determination of glyphosate levels in breast milk samples from Germany by LC-MS/MS and GC-MS/MS. **J. Agric. Food Chem.**, v. 64, p. 1414-1421, 2016.

STURM, D. J.; PETEINATOS, G.; GERHARDS, R. Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. **Weed Research**, v. 58, n. 5, p. 331-337, 2018.

SWINTON, S. M., VAN DEYNZE, B. Hoes to herbicides: economics of evolving weed management in the United States. **The European Journal of Development Research**, v. 29, n. 3, p. 560-574. 2017.

TAVARES, D. C. G. et al. Utilização de agrotóxicos no Brasil e sua correlação com intoxicações. **Sistemas e Gestão**, v. 15, n. 1, p. 2-10, 2020.

TANG, W. et al. Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview. **Chemosphere**, v. 191, p. 990-1007, 2018.

TARAZONA, J. V. et al. Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC. **Archives of toxicology**, v. 91, n. 8, p. 2723-2743, 2017.

THORNTON, B. J.; DURRELL, L. W. Colorado weeds. **Bulletin** (Colorado Agricultural Experiment Station), v. 403, p. 115, 1933.

TIAMIYU, L. O.; OKOMODA, V. T.; AKPA, P. O. Nutritional profile of toasted *Canavalia ensiformis* seed and its potential as partially replacement for soybean in the diet of *Clarias gariepinus*. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 20, n. 2, p.12-17, 2016.

TIMMONS, F. L. A history of weed control in the United States and Canada. **Weed Science**, v. 18, n. 2, p. 294-307, 1970.

TONUKARI, N. J. et al. White gold: cassava as an industrial base. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 7, p. 972, 2015.

TORAYA-AVILÉS, R. et al. Some Nutritional Characteristics of Enzymatically Resistant Maltodextrin from Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Starch. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 72, v. 2, p. 149-155, 2017.

TORRETTA, V. et al. Critical Review of the Effects of Glyphosate Exposure to the Environment and Humans through the Food Supply Chain. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 950, 2018.

TRAVLOS, I. et al. Allelopathic Potential of Velvet Bean against Rigid Ryegrass. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 46, n. 1, p. 173-176, 2018.

TRIEGEL, E. K.; GUO, L. Overview of the fate of pesticides in the environment, water balance; runoff vs. leaching. In: Mechanisms of Pesticide Movement into Ground Water. **CRC Press**, p. 1-14, 2018.

TSAI, W. Trends in the Use of Glyphosate Herbicide and Its Relevant Regulations in Taiwan: A Water Contaminant of Increasing Concern. **Toxics**, v. 7, n. 1, p. 4, 2019.

TSYGANKOV, V. Y.; BOYAROVA, M. D.; LUKYANOVA, O. N. Bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) in the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*) from the Sea of Okhotsk. **Marine pollution bulletin**, v. 110, n. 1, p. 82-85, 2016.

TUMBAS-SAPONJAC, V. et al. Antioxidant activity and enhanced cytotoxicity of aqueous *Mucuna pruriens* L. leaf extract by doxorubicin on different human cancer cell lines. **Pharmacognosy Magazine**, v. 16, v. 68, p. 224, 2020.

VAN BRUGGEN, A. H. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 255-268, 2018.

VAN EERD, L. L. Nitrogen dynamics and yields of fresh bean and sweet corn with different cover crops and planting dates. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-14, 2018.

VAN HUYSSTEEN, L.; VAN ZYL, J. L.; KOEN, A. P. The Effect of Cover Crop Management on Soil Conditions and Weed Control in a Colombar Vineyard in Oudtshoorn. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v. 5, n. 1, p. 7-17, 2017.

VIDOTTO, F. et al. Cover crops as mulching to manage weeds in organic rice cultivation. In: 18th European Weed Research Society Symposium. New approaches for smarter weed management. **Kmetijski inštitut Slovenije**, p. 135-135, 2018.

VIÉGAS, A. P. **Estudos sobre a mandioca**. Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, p. 214, 1976.

WEBSTER, G. L. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 33-144, 1994.

WEGNER, B. R. et al. Seven-Year Impact of Cover Crops on Soil Health When Corn Residue Is Removed. **BioEnergy Research**, v. 11, n. 2, p. 239-248, 2018.

WELTON, F. A. Sodium chlorate as a lawn weed killer. **Ohio Agr. Exp. Sta. Bimonthly Bull**, v. 141, p. 188-190, 1929.

WITTEWER, R. A. et al. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific reports**, v. 7, p. 41911, 2017.

ZYOD, S. H. et al. Global research production in glyphosate intoxication from 1978 to 2015: a bibliometric analysis. **Human & experimental toxicology**, v. 36, n. 10, p. 997-1006, 2017.

5. CAPÍTULO I

Artigo publicado na revista *Hortscience*, v. 56, n. 9, p. 1053–1058. 2021.

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E RESÍDUOS DE GLIFOSATO EM FUNÇÃO DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO DAS PLANTAS INFESTANTES

RESUMO

A produção de mandioca no Estado do Amazonas merece destaque em razão de sua importância histórica, social e econômica. A interferência das plantas infestantes é um importante fator de limitação da produção de mandioca no Amazonas. O uso de plantas de cobertura é uma estratégia eficiente no controle das plantas infestantes enquanto mantém o solo coberto. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas do solo e os resíduos de glifosato em raízes de mandioca em função do manejo das plantas infestantes na cultura da mandioca. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos completos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram controle biológico com duas espécies de plantas de cobertura (*Brachiaria ruziziensis* e *Mucuna pruriens*), controle químico, controle mecânico e tratamento sem controle de plantas infestantes. As características das culturas de cobertura avaliadas foram: massa seca, porcentagem de cobertura e taxa de decomposição dos resíduos vegetais. No solo, a densidade do solo e a porosidade total foram determinadas. A contaminação das raízes de reserva foi avaliada com base na análise de resíduo de glifosato. *Braquiaria ruziziensis* apresentou maior peso seco e maior percentual de cobertura em comparação com *M. pruriens*, em relação à taxa de decomposição, ambas as plantas de cobertura apresentaram ritmos de decomposição acelerados, perdendo mais de 50% da biomassa antes dos trinta dias após o corte. As propriedades físicas do solo não foram afetadas por nenhum tratamento avaliado. Não houve detecção do glifosato e de seu metabólito, ácido aminometilfosfônico (AMPA), em nenhum dos tratamentos avaliados. O controle químico com glifosato contaminou as raízes de mandioca.

Palavras-chave: *Brachiaria ruziziensis* (syn. *Urochloa ruziziensis*), *Manihot esculenta*, *Mucuna pruriens*, resíduos de herbicidas, segurança alimentar.

CHAPTER I

Article published in Hortscience journal, v. 56, n. 9, p. 1053–1058. 2021.

PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND GLYPHOSATE RESIDUE AS A FUNCTION OF CASSAVA WEED MANAGEMENT BY COVER CROPS

ABSTRACT

Cassava production in Amazonas state deserves to be highlighted due to its great historical, social, and economic importance. Weed competition severely constrains cassava production in Amazonas. The use of cover crops is safe and very efficient at eliminating weeds while keeping the soil covered. The objective of this study was to evaluate physical properties of soil and glyphosate residues in storage roots as a function of the weed management in cassava. The experiment was carried out in a randomized complete block design with five treatments and five repetitions. The treatments were biological control with two species of cover plants (*Brachiaria ruziziensis* and *Mucuna pruriens*), chemical control, mechanical control, and treatment with no weed control. The cover crops characteristics evaluated were dry weight, the percentage of cover, and rate of decomposition of plant residues. In the soil, the bulk density and total porosity were determined. The contamination of the storage roots was evaluated based on the analysis of glyphosate residue. *Brachiaria ruziziensis* presented more dry weight and higher percentage of cover compared with *M. pruriens*, and both cover crops showed accelerated decomposition rates, losing more than 50% of the biomass before 30 days after cutting. The physical properties of soil were unaffected by any treatment evaluated. There was no detection of glyphosate and its metabolite, aminomethylphosphonic acid (AMPA), in any treatment evaluated. Chemical control with glyphosate is not able to contaminate cassava storage roots.

Key words: *Brachiaria ruziziensis* (syn. *Urochloa ruziziensis*), food security, herbicide residues, *Manihot esculenta*, *Mucuna pruriens*.

INTRODUÇÃO

O modelo agrícola convencional, baseado no uso intensivo de recursos naturais, aliado ao uso de agrotóxicos, pode promover a degradação dos recursos naturais e humanos, contribuindo para a insegurança alimentar. Deste modo, é importante a realização de estudos que promovam alternativas sustentáveis ao uso de agrotóxicos em sistemas agrícolas, sobretudo no Amazonas.

A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma planta nativa da região amazônica e que pertence à família Euphorbiaceae e ao gênero *Manihot* (ROCHA et al., 2020a). Por ser uma cultura de fácil adaptação e com baixa exigência tecnológica para seu cultivo, esta espécie desempenha um papel importante no combate à fome, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

No Brasil, a mandioca tem grande importância histórica e socioeconômica, sendo a maior parte de sua produção advinda de pequenos agricultores e destinada à subsistência e ao consumo animal. Como as plantas infestantes promovem intensa pressão competitiva nos mandiocais, os produtores necessitam realizar periodicamente o controle dessas plantas, sendo este o principal problema enfrentado pelos mandiocultores da Amazônia.

A escassez de mão de obra no meio rural e as condições locais de elevada temperatura, elevada umidade relativa e intensa radiação solar, tornam a capina uma prática ineficiente e prejudicial à qualidade de vida do agricultor. Em relação ao controle químico, as principais dificuldades estão relacionadas ao desconhecimento acerca do uso seguro de herbicidas, quanto ao uso de produtos registrados e a aplicação adequada.

Nesse sentido, o uso de plantas de cobertura constitui uma alternativa para suprimir as plantas infestantes, reduzindo a demanda por herbicidas e os riscos de contaminação de alimentos (GHAHREMANI et al., 2021, PROCTOR, 2021, MENNAN et al., 2020). Além disso, plantas de cobertura como leguminosas e gramíneas podem melhorar as propriedades

físicas do solo em diferentes formas e alguns estudos têm mostrado esses benefícios (SOARES et al., 2021, DEMIR e ISÖK, 2020, ROS e HIRATA, 2019).

Embora a mandioca seja mundialmente reconhecida pela rusticidade e baixa exigência nutricional, as propriedades físicas do solo, como densidade do solo e porosidade, podem ser cruciais para o sucesso produtivo desta cultura, pois essas propriedades estão diretamente relacionadas com a resistência à penetração e expansão das raízes no solo. Deste modo, conhecer espécies de plantas de cobertura capazes de melhorar as propriedades físicas do solo é de grande interesse para os produtores de mandioca.

O objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos das plantas de cobertura e do controle químico nas propriedades físicas do solo e dos resíduos de glifosato nas raízes da mandioca, visando incorporar boas práticas agrícolas no sistema de produção da mandioca, promovendo a sustentabilidade e segurança alimentar.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (Latitude: 02° 37' 17.100" e 02° 39' 41.400" S; Longitude: 60° 03' 29.100" e 60° 07' 57.500" W), Estado do Amazonas, Brasil, em dois anos agrícolas 2017/18 e 2018/19. O clima é tropical úmido, correspondendo ao tipo Am na classificação Köppen, com umidade relativa do ar em torno de 75% e 86% e precipitação anual de 2.000 a 2.600 mm (VIEIRA e D'AVILA JÚNIOR, 2020, DUBREUIL et al., 2018).

A área foi preparada com uma gradagem leve e recebeu adubação baseada na recomendação da mandioca para a região (DIAS et al., 2004). Foi utilizada a cultivar Manteiga, uma mandioca doce que apresenta ciclo de 12 meses, rendimento médio de 15 t ha⁻¹ e teor de ácido cianídrico inferior a 50 mg kg⁻¹ (OLIVEIRA e BARRETO, 2020).

Foram plantadas manivas medindo de 10 a 15 cm de comprimento, com 3 a 6 gemas vegetativas, em sulcos a 10 cm de profundidade, na disposição horizontal e cobertas por solo.

Foi adotado o espaçamento de 1,0 m entre linhas e plantas, totalizando 10.000 plantas por hectare. Cada parcela consistia em cinco linhas de plantio, com seis plantas por linha. A área útil da parcela compreendia as três linhas centrais, totalizando 12 plantas úteis para avaliação.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições e cinco tratamentos. Os tratamentos foram controle biológico com duas espécies de plantas de cobertura (*Brachiaria ruziziensis* e *Mucuna pruriens*), controle químico com herbicida, controle mecânico com enxada e tratamento sem controle de plantas infestantes. Os controles das plantas infestantes começaram 3 meses após o plantio da mandioca e foram realizados a cada 2 meses após o primeiro controle.

As culturas de cobertura foram plantadas 3 meses após o plantio da mandioca para evitar a competição com as plantas da mandioca, pois vários estudos relatam o crescimento inicial lento da cultura (PINHEIRO et al., 2021, SOARES et al., 2019). As densidades de plantio foram de 9 kg ha⁻¹ para *B. ruziziensis* e 80 kg ha⁻¹ para *M. pruriens*. A *B. ruziziensis* foi plantada em sulcos entre as linhas de plantio da mandioca, enquanto que o legume, *M. pruriens*, foi plantado em covas com espaçamento de 40 cm. As culturas de cobertura foram semeadas a uma distância de 30 cm da mandioca.

Para quantificar o peso seco das plantas de cobertura e aos 90 dias após o plantio, foram arremessados aleatoriamente, por duas vezes em cada parcela, amostradores com 0,12 m² de área, para coletar as amostras da biomassa das coberturas. O material coletado foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até a obtenção do peso constante, em seguida os dados foram transformados em t ha⁻¹.

A porcentagem de cobertura do solo foi realizada aos 30, 60, e 90 dias após o plantio das plantas de cobertura, adaptando o método de transecção linear descrito por Laflen et al. (1981), calculando a porcentagem dos pontos obtidos na linha com as plantas de cobertura, plantas infestantes e solo descoberto, resultando em um esquema fatorial 2x3 com duas coberturas e três tempos de observação, respectivamente.

As plantas de cobertura foram roçadas 3 meses após o plantio e antes do florescimento, em razão do maior aporte nutricional nos tecidos e para evitar a possibilidade de infestação. Para mensurar a decomposição dos resíduos das plantas de cobertura, as biomassas das plantas de cobertura foram acondicionadas em “*little bags*”, que são pequenas sacolas de náilon, com malha de 2 mm e dimensões de 0,04 m².

As “*little bags*” foram distribuídas aleatoriamente em cada parcela, totalizando cinco sacolas por parcela, sendo coletadas uma de cada vez nos intervalos de 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a roçada das plantas de coberturas. Cada sacola continha 20 g de material vegetal de cada planta de cobertura, resultando em um esquema fatorial 2x5, com duas plantas de cobertura e cinco tempos de coleta, respectivamente.

Para o controle químico, a aplicação de glifosato (480 g i.a ha⁻¹) foi realizada usando um pulverizador costal automatizado, com pressão da bomba de 40 a 60 lb polegada⁻¹, bico 80.04, e a dose de 3,5 L de produto comercial por hectare. Em relação ao controle mecânico, a capina foi realizada com enxada.

Para a análise do solo, duas amostras de solo indeformadas foram coletadas em cada parcela, em profundidades de 0 a 10 cm, no início e no final do experimento, para avaliar os atributos físicos do solo. A densidade aparente (Ds) foi avaliada pelo método do anel volumétrico (BLAKE e HARTGE, 1986), a densidade de partícula ou real (Dp) pelo método do balão volumétrico e a porosidade total (VTP) calculando $VTP = 100 (Dp - Ds) / Dp$ (EMBRAPA, 1997).

Para a análise dos resíduos de glifosato e de seu metabólito, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), amostras de raízes de mandioca, na porção mediana, foram coletadas de cada planta útil de cada parcela e armazenadas a uma temperatura de -20 °C. A análise foi realizada pelo Laboratório de Análise de Pesticidas de Massachusetts, por meio de seus Procedimentos Operacionais Padrão (SOP) para o glifosato, que consiste na utilização do

agente de derivação 9-fluorenilmetil cloroformato (FMOC-Cl) e cromatografia líquida acoplada a espectrômetro de massa triplo quadrupolo (LC / TQD).

Usando o software Sisvar, versão 5.6, todos os dados foram submetidos a teste de normalidade, análise de variância e teste (5% de probabilidade). O percentual de cobertura e a decomposição das plantas de cobertura foram submetidos à análise de teste e regressão, respectivamente. Para analisar o peso seco das duas espécies de plantas de cobertura e o tratamento sem controle de plantas infestantes, bem como analisar a influência dos cinco tratamentos nas propriedades físicas do solo, os valores médios das parcelas foram submetidos ao teste de Scott-Knott (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação a produção de matéria seca, houve diferença entre os tratamentos avaliados, o tratamento com *M. pruriens* apresentou menor produção em comparação com *B. ruziziensis* e o tratamento sem controle das plantas infestantes, que foram estatisticamente iguais (Tabela 1).

Tabela 1. Matéria seca das plantas de cobertura (t ha⁻¹) em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM.

Tratamentos	Matéria seca (t/ha)	
	2017/2018	2018/2019
<i>B. ruziziensis</i>	6,00 a	4,78 a
<i>M. pruriens</i>	3,71 b	3,30 b
Sem controle das plantas infestantes	6,88 a	4,96 a

Médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A Região Amazônica é caracterizada pelas elevadas temperaturas e pelo grande volume de chuvas, condições que favorecem o crescimento das plantas infestantes, que cobrem rapidamente o solo, e constituem um obstáculo para a produção agrícola. Por isso, é importante destacar as principais espécies de plantas infestantes identificadas na área experimental (Tabela 2), tais como *Mimosa pudica*, *Stachytarpheta cayennensis* e *Axonopus affinis*, conhecidas pela elevada produção de biomassa e agressividade.

Tabela 2. Plantas infestantes identificadas em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM.

Família	Espécies		
	Nome científico	Código	Nome comum
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i>	ALRTE	Apaga-fogo
Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	COMER	Trapoeraba
Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i>	CYPRO	Tiririca
	<i>Cyperus diffusus</i>	CYPDF	Capim-agreste
Euphorbiaceae	<i>Croton glandulosus</i>	CVNGL	Gervão-branco
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i>	MIMPU	Mimosa
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	PUEPH	Puerária
Poaceae	<i>Axonopus affinis</i>	AXOAF	Gramma-tapete
	<i>Eleusine indica</i>	ELEIN	Capim-pé-de-galinha
	<i>Homolepis aturensis</i>	HOPAT	Capim-arroz
	<i>Paspalum multicaule</i>	PASMA	Capim-taripucu
	<i>Paspalum virgatum</i>	PASVI	Capim-navalha
Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	BOIVE	Vassourinha-de-botão
Solanaceae	<i>Solanum stramoniiifolium</i>	SOLST	Jurubeba
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	LANCA	Chumbinho
	<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	STCDI	Gervão

Para a produção de matéria seca, o tratamento sem controle das plantas infestantes foi estatisticamente igual ao tratamento com *B. ruzizensis*, o que sugere uma possível vantagem competitiva desta planta de cobertura com as infestantes. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Da Gama et al. (2020), em estudo realizado no Amazonas, onde a *B.ruzizensis*

foi a espécie que apresentou a maior produção de massa seca ($5,95 \text{ t ha}^{-1}$) em comparação às demais coberturas avaliadas.

Apesar de a *M. pruriens* ter apresentado a menor produção de matéria seca, em torno de $3,50 \text{ t ha}^{-1}$ na média dos dois anos, este valor pode ser considerado satisfatório, em razão da elevada agressividade que esta espécie apresenta em campo. Deste modo, é possível que a produção de peso seco acima de 4 t ha^{-1} represente reduções significativas em termos de produção quando a espécie é consorciada com outras culturas de interesse agrícola.

Em estudo conduzido por Bressanin et al., (2016), a *M. pruriens* se mostrou capaz de acumular matéria seca ao longo de todo o período de avaliação, reduzindo a produtividade da cana-de-açúcar em cerca de 50%. Por esta razão, a produção de matéria seca das plantas de cobertura deve ser analisada com cuidado, pois quando o objetivo é apenas utilizá-la como adubo verde ou palha, a maior produção de massa seca não representa maiores riscos, sendo altamente desejável. Entretanto, em sistemas de consórcio, a elevada produção de matéria seca pode resultar no aumento da pressão competitiva entre as plantas de cobertura e a cultura principal.

Em relação a porcentagem de cobertura, no ano agrícola 2017/18, os fatores espécies de plantas de cobertura e tempo de análise (meses) foram significativos. A interação entre as espécies de plantas de cobertura e o tempo de análise foi significativo para a porcentagem de cobertura, solo descoberto, mas não significativo para a porcentagem de plantas infestantes. A partir do segundo mês, houve diferença entre as espécies de cobertura, em que *B. ruziziensis* apresentou a maior porcentagem de cobertura em comparação com *M. pruriens*, cobrindo a maior parte do terreno e deixando uma porcentagem menor de solo descoberto.

No ano agrícola 2018/19, a interação dos fatores foi significativa para todos os parâmetros estudados, com *B. ruziziensis* apresentando a maior porcentagem de cobertura em comparação com *M. pruriens* desde o primeiro mês, deixando uma porcentagem inferior de solo sem cobertura no segundo e terceiro meses (Tabela 3).

Tabela 3. Plantas de cobertura (C), plantas infestantes (I) e solo descoberto (S) no 1º, 2º e 3º mês após o plantio de *B. ruziziensis* e *M. pruriens*, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM.

Plantas de cobertura	C (%)			I (%)			S (%)		
	1º mês	2º mês	3º mês	1º mês	2º mês	3º mês	1º mês	2º mês	3º mês
	2017/2018								
<i>B. ruziziensis</i>	56,25 Ba	81,25 Aa	78,75 Aa	23,75 Aa	13,75 Aa	18,75 Ab	20,00 Aa	5,00 Bb	2,50 Bb
<i>M. pruriens</i>	53,75 Aa	60,00 Ab	53,75 Ab	26,25 Aa	18,75 Ba	30,00 Aa	17,50 Aa	21,25 Aa	16,25 Aa
	2018/2019								
<i>B. ruziziensis</i>	50,00 Ba	73,75 Aa	76,25 Aa	28,75 Aa	14,50 Ba	18,75 Ba	21,25 Aa	12,00 Bb	5,00 Bb
<i>M. pruriens</i>	40,00 Bb	41,25 Bb	62,50 Ab	31,25 Aa	22,50 Aa	23,75 Aa	28,75 Aa	36,25 Aa	13,75 Ba

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem em relação ao tipo de cobertura (*B. ruziziensis* e *M. pruriens*) e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem em relação ao tempo (1º, 2º e 3º mês) para os parâmetros de porcentagem de plantas de cobertura, plantas infestantes e solo descoberto.

Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Da Gama et al. (2020), que ao estudarem plantas de cobertura em sistema de cultivo de guaraná, observaram que aos 90 dias após o plantio a *B. ruzizienses* cobriu 100% do solo, demonstrando elevada capacidade de desenvolvimento. No mesmo estudo, os autores observaram menores valores de porcentagem de cobertura para *M. deeringiana*, em torno de 70%.

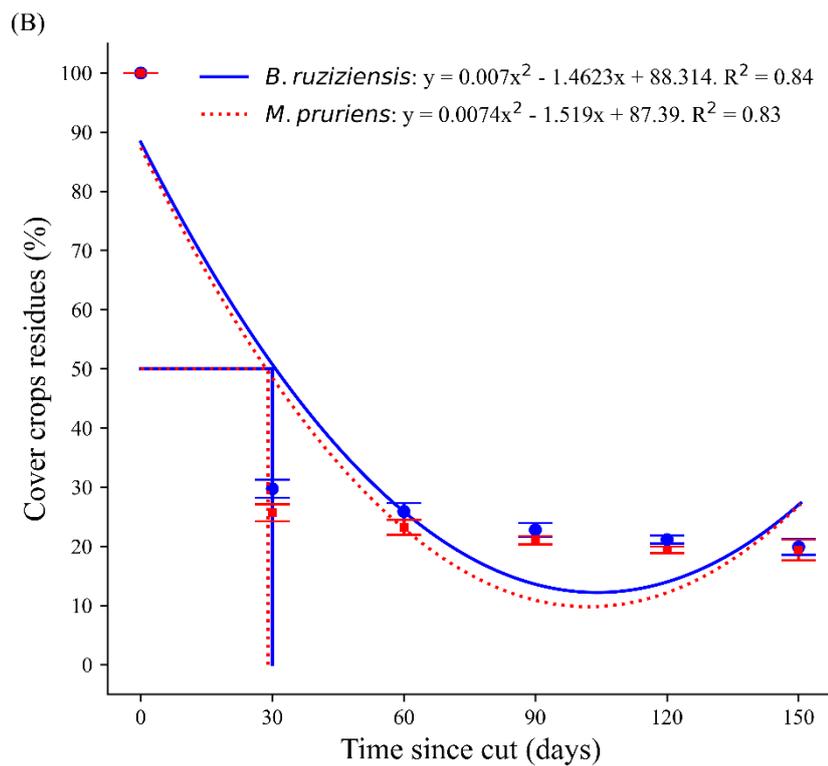
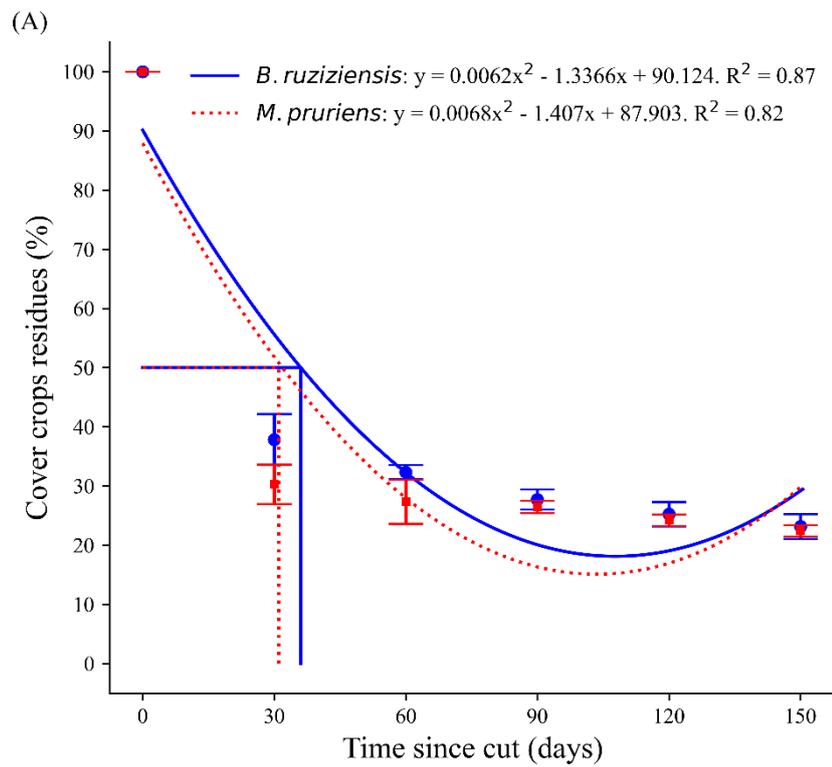
Em relação a *M. pruriens*, é importante ressaltar que essa espécie possui um crescimento inicial agressivo, com rápida expansão de suas folhas e galhos próximos ao solo, principalmente quando usada para fins de cobertura morta ou adubo verde. Cantanhede et al. (2018), estudando *M. pruriens* como adubo verde, observaram que a espécie apresentou um bom percentual de cobertura, cerca de 90% aos 90 dias após a emergência das mudas.

No entanto, quando essa espécie é consorciada com outras culturas de interesse agrícola, tende a se apresentar como uma planta agressiva, subindo sobre as plantas circunvizinhas, investindo no crescimento vertical e, conseqüentemente, deixando mais espaço no solo quando comparado a outras espécies de baixo hábito de crescimento.

Em geral, *B. ruziziensis* promoveu cobertura superior a 75% nos dois anos agrícolas estudados, o que pode contribuir para a conservação da água no solo, além de reduzir os processos de erosão e consequente perda de nutrientes no solo. Entre as coberturas avaliadas, *B. ruziziensis* mostrou maior percentual de cobertura com menos espaços com o solo não coberto.

Para a decomposição das plantas de cobertura, *B. ruziziensis* e *M. pruriens* mostraram ritmos de decomposição bastante semelhantes. Em geral, antes da primeira coleta, realizada aos 30 dias após a roçada, os resíduos já haviam atingido a meia-vida ($t^{1/2}$), isto é, já haviam perdido mais de 50% de sua biomassa (Figura 1). Embora semelhante, *M. pruriens* mostrou decomposição ligeiramente mais rápida do que *B. ruziziensis*. Em geral, as leguminosas decompõem-se mais rapidamente devido a menor relação C/N, do que as gramíneas, que tendem a permanecer no ambiente por mais tempo.

Considerando que a cultivar Manteiga tem ciclo de doze meses e que a roçagem das coberturas ocorreu quando a mandioca possuía 6 meses de idade, a rápida decomposição e consequente liberação de nutrientes são eventos altamente desejáveis. De acordo com Thomas e Asakawa (1993), o menor tempo necessário para a decomposição dos resíduos vegetais implica no menor tempo de permanência do resíduo em campo e na maior velocidade da liberação dos nutrientes.



○ *B. ruziziensis* □ *M. pruriens*

Figura 1. Taxas de decomposição dos resíduos das plantas de cobertura em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 (A) e 2018/2019 (B).

Apesar de a rápida decomposição dos resíduos vegetais das plantas de cobertura poder, em tese, favorecer o surgimento de plantas infestantes, é esperado que após o sexto mês de cultivo da mandioca os efeitos da interferência das plantas infestantes não sejam significativos, pois com o fechamento do dossel as sementes e as plantas infestantes emergentes são sombreadas, o que evita o seu crescimento, e também por estar distante do período crítico de interferência das plantas infestantes na mandioca encontrado na literatura (SOARES et al., 2019).

É importante ressaltar que a taxa de decomposição das espécies de cobertura costuma apresentar grandes discrepâncias na literatura, segundo Silva Filho et al. (2018), essas diferenças estão relacionadas principalmente à capacidade de produção de matéria seca, as composições químicas das espécies de cobertura, ao maior contato da palha com o solo e a combinação de altas temperaturas e chuvas.

Além disso, a quantidade de material utilizado na amostragem parece ser um fator importante nessa determinação. Nesse sentido, Silva Filho et al. (2018), usando amostras com 40 g de resíduos vegetais encontraram $t^{1/2}$ de 12 dias para braquiária, Da Gama et al. (2020), usando amostras com 100 g de resíduos observaram $t^{1/2}$ de 85 dias para *B. ruziziensis* e de 114 dias para mucuna, e Ramos et al. (2018), estudando a decomposição de diferentes tipos de leguminosas, com amostras de 200 g de resíduos, obtiveram $t^{1/2}$ de 105 dias para mucuna.

Quanto aos efeitos da rápida decomposição, a *B. ruziziensis*, por ser uma espécie perene, mostrou a capacidade de recuperação após o corte, enquanto *M. pruriens*, sendo uma espécie anual, após o corte foi completamente substituída por plantas infestantes. Nas condições do presente estudo, as coberturas apresentaram taxas de decomposição satisfatórias, mas esse processo precisa ser melhor compreendido.

Para as propriedades físicas do solo, nenhum dos tratamentos influenciou as propriedades físicas do solo em termos de densidade aparente e porosidade total (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade e porosidade total do solo em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos, nos anos agrícolas 2017/2018 e 2018/2019, na camada 0 a 10 cm. Manaus, AM.

Tratamentos	Densidade (g/cm ³)	Porosidade total (%)
	2017/2018	
Controle mecânico	1,71 ^{ns}	31,43 ^{ns}
Sem controle das plantas infestantes	1,69 ^{ns}	35,67 ^{ns}
<i>B. ruziziensis</i>	1,70 ^{ns}	29,06 ^{ns}
<i>M. pruriens</i>	1,68 ^{ns}	27,97 ^{ns}
Controle químico	1,73 ^{ns}	28,93 ^{ns}
	2018/2019	
Controle mecânico	1,77 ^{ns}	30,01 ^{ns}
Sem controle das plantas infestantes	1,74 ^{ns}	34,07 ^{ns}
<i>B. ruziziensis</i>	1,68 ^{ns}	31,25 ^{ns}
<i>M. pruriens</i>	1,70 ^{ns}	29,75 ^{ns}
Controle químico	1,75 ^{ns}	30,55 ^{ns}

^{ns} Tratamentos não diferem entre si pelo Teste F a 5% de probabilidade.

Estudos sobre os efeitos das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo, como densidade do solo e porosidade total, são incipientes, e a maioria desses estudos sugere que os atributos físicos do solo não são influenciados pelas plantas de cobertura nos primeiros anos de cultivo. Nesse sentido, Carvalho et al. (2020), estudando mucuna e braquiária como plantas de cobertura, observaram que os sistemas radiculares dessas coberturas, avaliadas 90 dias após o plantio, não foram capazes de alterar as propriedades físicas do solo. De modo semelhante, Rocha et al. (2020b), ao estudarem a influência das plantas de cobertura nos atributos físicos de um solo cultivado com pimenta-do-reino, observaram que não houve diferença significativa para densidade do solo, porosidade total e as demais variáveis estudadas.

Para a cultura da mandioca, as alterações nas propriedades físicas do solo podem ser ainda mais interessantes do que eventuais alterações nas propriedades químicas, considerando

que a mandioca apresenta baixas exigências nutricionais e que propriedades físicas do solo como densidade e porosidade estão diretamente relacionadas com a capacidade de penetração e expansão das raízes, e com o nível de conteúdo de água no solo, que são cruciais para o desenvolvimento das raízes comerciais de mandioca (THOMAS et al., 2020).

Apesar de as propriedades físicas do solo envolverem fatores bióticos e abióticos complexos que ainda não estão totalmente compreendidos e, em geral, demandarem longos períodos de tempo, é possível encontrar estudos em que as espécies de cobertura foram responsáveis pela redução da densidade do solo e pelo aumento da porosidade total, o que sugere que a influência das plantas de cobertura nos atributos físicos do solo deva ser analisada concretamente para cada tipo de solo e cada tipo de planta de cobertura.

Nesse sentido, Rós e Hirata (2019) observaram que a incorporação da *Crotalaria ochroleuca* e da comunidade de plantas infestantes reduziu a densidade do solo e aumentou a porosidade total do solo em relação aos tratamentos controle por roçagem e capina. Contudo, para as condições do presente experimento, as plantas de cobertura não foram capazes de promover alterações nas propriedades físicas dos solos avaliados. Estudos de longo prazo são necessários para determinar os efeitos da cobertura vegetal nas propriedades físicas do solo.

Em relação a análise de resíduos de glifosato, não houve detecção de glifosato e seu metabólito, AMPA, em nenhum tratamento avaliado (Tabela 5). Glifosato e seu metabólito, AMPA, não foram encontrados em nenhum tratamento, mesmo com cinco aplicações por ano.

Tabela 5. Raízes de mandioca para análises de glifosato e seu metabólito, AMPA, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2017/2018 e 2018/2019. Manaus, AM.

Tratamentos	Glifosato	AMPA
Sem controle das plantas infestantes	ND ¹	ND
Controle químico	ND	ND

¹ ND: não detectado. O limite de detecção foi de 10 µg/Kg (ppb) de mandioca para glifosato, e 20 µg/Kg (ppb) de mandioca para AMPA.

De acordo com Machado et al. (2008), plantas com rizomas desenvolvidos, como a mandioca, tendem a apresentar menor translocação de glifosato, pois o acúmulo de amido dificulta a translocação e acúmulo de herbicidas em seu local de ação. Bhattacharjee e Dikshit (2017), ao estudarem os resíduos de glifosato em solo de pomar de manga e a subsequente translocação para os frutos, concluíram que mesmo com a aplicação do dobro da dose recomendada, os resíduos de glifosato ficaram abaixo do limite detectável em frutos maduros, provavelmente em razão de o glifosato ser fortemente adsorvido pelo solo, onde é praticamente imóvel e rapidamente degradado.

No mesmo sentido, Blackshaw e Harker (2016), ao estudarem resíduos de glifosato e AMPA no solo, concluíram que, mesmo com a aplicação de altas doses de glifosatos por vários anos, a possibilidade de contaminação ou dano ao trigo, ervilha e ao solo é baixo. Zoller et al. (2018) analisando a presença de glifosato e AMPA em um total de 243 amostras de frutas diferentes, não encontraram amostras com resíduos acima do limite máximo permitido, mesmo em amostras em que se esperava altos níveis de resíduos.

De modo diverso, Wood (2019), ao estudar resíduos de glifosato e AMPA na parte aérea, raízes e frutos de certas espécies vegetais, encontrou resíduos de glifosato na parte aérea, raízes e frutos, mesmo após 1 ano da aplicação, observando que os níveis mais altos de resíduos foram encontrados nas raízes de plantas herbáceas perenes. Nessa perspectiva, Qiao et al. (2020), estudando o comportamento e a influência do glifosato em um pomar de pessegueiro, encontraram resíduos de AMPA em folhas e frutos de pessegueiro, mesmo com a aplicação do herbicida apenas no solo. Os mesmos autores avaliaram que a velocidade de degradação do glifosato foi mais influenciada pelo tipo de solo, sendo potencializada principalmente pelo pH e umidade.

O comportamento e os riscos de contaminação por resíduos de glifosato dependerão de fatores como temperatura, precipitação, propriedades do solo, doses e frequência de aplicação, entre outros, o que exige monitoramentos e avaliações específicas para cada tipo de

manejo. Portanto, os resultados encontrados no presente e estudo sugerem que o glifosato não é capaz de contaminar as raízes da mandioca por contato via solo, provavelmente devido a sua forte adsorção e consequente baixa mobilidade, não havendo translocação ou acúmulo de glifosato e AMPA nas raízes da mandioca acima dos limites detectáveis.

Entretanto, como o objetivo deste trabalho foi avaliar a presença de resíduos de glifosato e AMPA em raízes comerciais de mandioca, os efeitos deste herbicida não foram avaliadas em relação às propriedades biológicas do solo ou a aspectos do meio ambiente em geral, não sendo possível, apenas com base nos dados obtidos nesta pesquisa, recomendar seu uso para a cultura da mandioca.

CONCLUSÃO

A. B. ruzizensis apresentou elevada produção de biomassa, boa taxa de cobertura do solo e rápida decomposição dos resíduos, tendo potencial para uso como planta de cobertura visando o controle alternativo das infestantes em sistemas de produção de mandioca na Amazônia, contudo, mais estudos são necessários para avaliar os seus impactos sobre a produtividade da cultura.

As propriedades físicas do solo não foram afetadas pelo manejo de plantas infestantes nos dois anos agrícolas. Estudos futuros são necessários para determinar se os métodos de controle avaliados terão efeitos na manutenção da qualidade física do solo em longo prazo.

A ausência de contaminação da mandioca por glifosato e seu metabólito, AMPA, contribui para a maior segurança alimentar, contudo, são necessários estudos acerca dos riscos de contaminação e seus possíveis efeitos sobre o meio ambiente e à saúde do aplicador, bem como para determinar se a longo/médio prazo existem efeitos cumulativos.

REFERÊNCIAS

- BHATTACHERJEE, A. K., DIKSHIT, A. HPLC-PDA Determination of Chlorpyrifos and Glyphosate Residues in Mango Orchard Soil and their Subsequent Uptake to Mango Fruit. **Pesticide Research Journal**, v. 29, n. 2, p. 183-187, 2017.
- BLAKE, G. R., HARTGE, K. H. Bulk density. In: *Methods of Soil Analysis: Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*, Madison: American Society of Agronomy, 2nded, v. 5, p. 377-382, 1986.
- BLACKSHAW, R. E., HARKER, K. N. Wheat, field pea, and canola response to glyphosate and AMPA soil residues. **Weed Technology**, v. 30, n. 4, p. 985-991, 2016.
- BRESSANIN, F. N. et al. Períodos de interferência de mucuna-preta na cultura da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 46, n. 8, p. 1329-1337, 2016.
- CANTANHEDE, J. D. et al. Adubos verdes na supressão de plantas espontâneas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2018.
- CARVALHO, C. A. de et al. Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, p. 38-41, 2020.
- DA GAMA, L. A da et al. Phytosociology and cover analysis in the suppression of weeds from an Amazonian agrosystem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1981-1997, 2020.
- DEMIR, Z., IŞIK, D. Using cover crops to improve soil quality and hazelnut yield. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 29, n. 4, p. 1974-87, 2020.
- DIAS, M. C. et al. Recomendações técnicas do cultivo de mandioca para o Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental**, v. 23, n. 1, p. 1-24, 2004.
- DUBREUIL, V. et al. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Revista franco-brasileira de geografia**, v. 37, n. 1, p. 1-20, 2018.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Rio de Janeiro, 1997.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GHAHREMANI, S. et al. Short-Term Impact of Monocultured and Mixed Cover Crops on Soil Properties, Weed Suppression, and Lettuce Yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 4, p. 406-415, 2021.

LAFLEN, J. M. et al. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.

MENNAN, H. et al. Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 257, 2020.

QIAO, C. et al. Environmental behavior and influencing factors of glyphosate in peach orchard ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 206, p. 111209, 2020.

OLIVEIRA, I. J., BARRETO, J. F. Épocas de colheita da macaxeira cultivar Aipim Manteiga em Latossolo Amarelo no estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental**, v. 1, p. 1-12, 2020.

PINHEIRO, W. L. et al. Características agronômicas e produção da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz cv. BRS-Poti) submetida a tratos culturais. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18314-25, 2021.

PROCTOR, C. Using Cover Crops as an IPM Tool for Managing Hard-to-Control Weeds. **Crops & Soils**, v. 1, p. 1-6, 2021.

RAMOS, D. D. et al. Decomposição de Diferentes Espécies de Leguminosas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1-8, 2018.

ROCHA, J. R. et al. Influência de plantas de cobertura sobre atributos físicos de um solo cultivado com lavoura de pimenta-do-reino. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2020.

ROCHA, V. P. C. Population structure and genetic diversity in sweet cassava accessions in Paraná and Santa Catarina, Brazil. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 38, n. 1, p. 25-38, 2020.

- RÓS, A. B., HIRATA, A. C. S. Soil physical properties and cassava yield under different soil cover managements. **Científica (Jaboticabal)**, v. 47, n. 4, p. 411-418, 2019.
- SILVA, R. P. et al. Levantamento fitossociológico de plantas invasoras na cultura da mandioca em Arapiraca, Alagoas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 71489-96, 2020.
- SILVA FILHO, J. L. D. et al. Dry matter decomposition of cover crops in a no-tillage cotton system. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 264-270, 2018.
- SOARES, M. B. et al. Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality?. **Geoderma**, v. 384, p. 114796, 2021.
- SOARES, M. R. et al. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 237-47, 2019.
- THOMAS, P. et al. Exploring the Relationships between Penetration Resistance, Bulk Density and Water Content in Cultivated Soils. **Journal of Agricultural Physics**, v. 20, n. 1, p. 22-9, 2020.
- THOMAS, R. J., ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 10, p. 1351-1361, 1993.
- VIEIRA, A. F. S. G., D'AVILA JÚNIOR, J. C. M. Padrões pluviométricos da Cidade de Manaus-AM: 1986 a 2015. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 102, n. 1, p. 1-31, 2020.
- WOOD, L. J. The presence of glyphosate in forest plants with different life strategies one year after application. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 49, n. 6, p. 586-594, 2019.
- ZOLLER, O. et al. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. **Food Additives & Contaminants: Part B**, v. 11, n. 2, p. 83-91, 2018.

6. CAPÍTULO II

Artigo submetido à revista *Sustainability* - MDPI

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA MANDIOCA EM FUNÇÃO DO USO DE PLANTAS DE COBERTURA NO MANEJO DAS PLANTAS INFESTANTES

RESUMO

A produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*) é severamente afetada pela interferência das plantas infestantes. O uso das plantas de cobertura no controle das infestantes surge como uma alternativa sustentável, mantendo o solo coberto e reduzindo a necessidade de herbicidas. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade da mandioca e as propriedades químicas do solo em função do uso de plantas de cobertura no manejo das infestantes. Os tratamentos foram controle biológico com três espécies de cobertura (*Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna pruriens*), controle químico, controle mecânico e tratamento sem controle das plantas infestantes. As plantas de cobertura reduziram a diversidade de espécies e a quantidade de indivíduos da comunidade infestante no cultivo de mandioca. Os tratamentos com controle químico e mecânico das infestantes apresentaram as maiores produtividades. As plantas de cobertura *B. ruziziensis* e *C. ensiformis* aumentaram a produtividade da mandioca em 30% e 14%, respectivamente, quando comparadas ao tratamento sem controle. As plantas de cobertura melhoraram os teores de pH, MO, K, Ca e Mg quando comparadas com aos tratamentos com controle químico e mecânico. *Brachiaria ruziziensis* e *C. ensiformis* são recomendadas como plantas de cobertura em sistemas de produção de mandioca na Região Amazônica. O uso de plantas de cobertura associadas à mandioca é uma opção de manejo sustentável, pois além do efeito supressivo sobre as plantas, essas plantas melhoram as propriedades químicas do solo, o que pode contribuir para o aumento da produção de mandioca a longo prazo.

Palavras-chave: *Brachiaria ruziziensis* (syn. *Urochloa ruziziensis*), *Canavalia ensiformis*, *Manihot esculenta*, *Mucuna pruriens*, fertilidade do solo, controle das plantas daninhas.

CHAPTER II

Article submitted to Sustainability - MDPI journal

CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND CASSAVA YIELD AS A FUNCTION OF WEED MANAGEMENT BY COVER CROPS

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta*) yields are severely affected by the interference of weed plants. Using cover crops for weed control appears as a sustainable alternative practice because it maintains the soil covered and reduces the need for herbicides. The aim of this study was to assess cassava crop yields and the soil chemical properties as a function of use of cover crops for weed management. Treatments consisted of biological control with three cover species (*Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens*), chemical control, mechanical control and treatment with no weed control. Cover crops reduced the diversity of species and the quantity of individuals of the weed community in cassava cultivation. The treatments with chemical and physical weed control achieved higher yields. The cover crops *B. ruziziensis* and *C. ensiformis* increased cassava yields by 30% and 14%, respectively, when compared with the treatment with no control. The cover crops increased the pH, MO, K, Ca and Mg values when compared with the treatments with chemical and mechanical weed control. *Brachiaria ruziziensis* and *C. ensiformis* are recommended as a cover plants in cassava production systems in the Amazon region. The use of cover crops associated with cassava is a sustainable management option, because in addition to the suppressive effect on weeds, cover crops improve the chemical properties of soil, which may contribute to increasing cassava production in the long term.

Key words: *Brachiaria ruziziensis* (syn. *Urochloa ruziziensis*), *Canavalia ensiformis*, *Manihot esculenta*, *Mucuna pruriens*, soil fertility, weed control.

INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo alternativas sustentáveis para a produção vegetal são importantes, especialmente para a região amazônica, onde a conservação do ecossistema é imprescindível para a manutenção da biodiversidade. A mandioca (*Manihot esculenta*) é uma planta nativa da Amazônia que pertence à família Euphorbiaceae e ao gênero *Manihot* [1].

No Amazonas, a mandioca é cultivada principalmente por pequenos produtores, sendo a maior parte da produção destinada à subsistência e ao consumo animal. Devido ao elevado grau de rusticidade da cultura e pelo baixo nível tecnológico exigido para o seu cultivo, muitos mandiocultores subestimam a necessidade do controle das plantas infestantes. Entretanto, quando não manejadas adequadamente, as infestantes constituem um importante fator de limitação da produção de mandioca, e contribuem para a baixa produtividade do Amazonas (9,83 t ha⁻¹), que contrasta com a produtividade encontrada em outros estados brasileiros, inclusive da Região Norte, de cerca de 20 t ha⁻¹ [2].

Em relação ao manejo das infestantes pelos produtores locais, quando não negligenciado, o controle é realizado através da capina manual, com o auxílio de enxadas, prática que se revela pouco viável devido à escassez de mão de obra, além das condições de elevada umidade e temperatura, que dificultam a realização dessa atividade [3]. Por esta razão, há crescente interesse dos produtores no uso de herbicidas, pela menor quantidade de mão de obra requerida, associada à elevada eficiência do controle e ao baixo custo de aquisição dos produtos. O aumento da utilização de herbicidas em cultivos na Amazônia merece atenção, visto que o uso inadequado desses produtos pode ocasionar danos irreversíveis ao meio ambiente [4].

O uso de plantas de cobertura, tais como gramíneas e leguminosas, se apresenta como uma alternativa sustentável para a supressão das infestantes, e que pode trazer inúmeros benefícios para o solo, tais como o aumento da disponibilidade de nutrientes, do carbono orgânico e do nitrogênio total, e a redução da lixiviação de nitratos e da perda de solo [5-7]. As

melhorias nas propriedades químicas do solo podem contribuir para o maior desenvolvimento da parte aérea da cultura, com o fechamento mais rápido do dossel e, conseqüentemente, sombreamento das plantas infestantes, reduzindo a interferência sobre a cultura [8].

Entretanto, o uso de plantas de cobertura depende da realização de estudos práticos e de um ajuste fino que leve em consideração as características da cultura, das coberturas, da comunidade infestante, do clima e da realidade local. Estudos acerca dos efeitos das plantas de cobertura sobre a produtividade e os atributos químicos do solo para cultivos na Amazônia ainda são incipientes.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos das plantas de cobertura, e dos controles químico e mecânico, sobre a produtividade da mandioca e sobre as propriedades químicas do solo, visando à incorporação de boas práticas em sistemas de produção de mandioca, promovendo sustentabilidade e segurança alimentar.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (Latitude: 02° 37' 17.100" e 02° 39' 41.400" S; Longitude: 60° 03' 29.100" e 60° 07' 57.500" W), Amazonas, Brasil, em dois anos agrícolas 2018/19 e 2019/20. O clima é tropical úmido, apresenta umidade relativa do ar em torno de 80%, precipitação pluviométrica anual de em torno de 2.000 mm, sendo do tipo "Am" de acordo com a classificação de Köppen [9,10].

A área experimental foi preparada com uma gradagem leve e recebeu adubação com base nas recomendações para a cultura da mandioca para a região [11]. A cultivar utilizada foi a Manteiga, considerada mandioca mansa que apresenta ciclo de 12 meses, produção média de 15 t ha⁻¹ e teor de ácido cianídrico abaixo dos 50 mg kg⁻¹ [12].

A propagação se deu através de caules obtidos de plantas adultas, cortados em comprimentos de 10 a 15 cm, apresentando 3 a 6 gemas de crescimento, sendo chamados na

região como manivas. Posteriormente, as manivas foram depositadas de forma horizontal em sulcos com profundidade de 10 cm, sendo cobertas com solo. O espaçamento utilizado foi de 1 m entre linhas e entre plantas, totalizando 10.000 plantas ha⁻¹.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Cada parcela era formada por cinco linhas de plantio, com seis plantas por linha, totalizando trinta plantas por parcela. A área útil de cada parcela compreendeu a região central da parcela, utilizando-se as três linhas centrais e desconsiderando as plantas da bordadura, totalizando 12 plantas úteis para avaliação. Os tratamentos foram: controle biológico com três espécies de cobertura (*Brachiaria ruziziensis*, *Canavalia ensiformis* e *Mucuna pruriens*), controle químico, controle mecânico e tratamento sem controle das plantas infestantes. Os controles químico e mecânico das plantas infestantes iniciaram 3 meses após o plantio e foram realizados em intervalos de 2 meses, totalizando 5 operações para ambos.

Estudos da composição florística e fitossociológica das plantas infestantes foram realizados antes da implantação e ao final do experimento, através de amostradores com área de 0,12 m², que foram aleatoriamente arremessados por duas vezes em cada parcela, totalizando 0,96 m² de área amostrada por tratamento e 5,76 m² de área amostrada total para cada ano. Os parâmetros fitossociológicos calculados foram frequência relativa, densidade relativa, abundância relativa e o índice de valor de importância, de acordo com o proposto por Mueller-Dombois e Ellenberg [13].

Devido o crescimento inicial lento da mandioca favorecer o surgimento e a interferência de infestantes [8,14], as plantas de cobertura foram introduzidas 3 meses após o plantio da mandioca para minimizar riscos de interferência. A densidade de plantio utilizada foi de 9 kg ha⁻¹ para *B. ruziziensis*, e de 80 kg ha⁻¹ para *C. ensiformis* e *M. pruriens*. A gramínea foi plantada em sulcos entre as linhas de plantio da mandioca, enquanto que as leguminosas foram plantadas em covas com 3 a 6 cm de profundidade e com 40 cm distantes entre si. Todas

as plantas de cobertura foram semeadas a uma distância de 30 cm das linhas de mandioca visando reduzir o grau de interferência.

Para o controle químico, realizou-se a aplicação dirigida de glifosato (480 g i.a. ha⁻¹) em pós-emergência, usando um pulverizador costal automatizado, pressão da bomba de 40 a 60 lb pol⁻¹, bico 80.04, e a dose de 3,5 litros ha⁻¹. Para o controle mecânico, foram realizadas capinas com auxílio de enxadas.

Aos 360 dias após o plantio, período correspondente ao final do ciclo da mandioca, avaliou-se a produção por meio do peso das raízes das plantas da área útil de cada tratamento. As raízes foram lavadas, cuidadosamente descascadas e imediatamente pesadas para obtenção do peso fresco, e, após isso, foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h ou até a obtenção do peso constante. Os valores de produção foram convertidos à produtividade, expressa em tonelada ha⁻¹, por meio da fórmula: produtividade (t ha⁻¹) = peso (kg) de raiz das doze plantas úteis x 10000 plantas x doze⁻¹.

Por ocasião da colheita, também foram determinadas a altura média da planta, o diâmetro do caule, peso seco da parte aérea e contagem de raízes por planta. A determinação da altura média da planta foi realizada por ocasião da colheita e compreendeu a distância entre a ponta da base do caule e a ponta da ramificação mais elevada.

O diâmetro do caule foi determinado pelo diâmetro basal a 5 cm acima da superfície do solo, com auxílio de um paquímetro. As plantas úteis de cada parcela foram cortadas rente ao solo, e os tecidos vegetais foram picados e acondicionados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h ou até a obtenção do peso constante, que foram somados para a estimativa do peso seco da parte aérea, onde os valores foram transformados para toneladas ha⁻¹.

Quanto aos atributos químicos do solo, ao final do experimento, com o auxílio de um trado, foram coletadas duas amostras deformadas das camadas 0-20 cm de cada parcela para a avaliação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), pH,

matéria orgânica (MO) e acidez potencial (H + Al), conforme a metodologia proposta por Raij e Quaggio [15].

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico RStudio versão 1.3.1093 [16].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro levantamento fitossociológico, foram registrados 962 indivíduos, distribuídos em 16 espécies, pertencentes a 9 famílias botânicas. A família Poaceae foi a mais representativa, com cinco espécies, seguida pelas famílias Cyperaceae, Fabaceae e Verbenaceae, com duas espécies cada (Tabela 1). A importância da família Poaceae para os cultivos nacionais já foi observada em outros estudos envolvendo plantas infestantes em cultivos da região Amazônica, tais como os conduzidos por Fontes et al. [17], Da Gama et al. [18], Damasceno [19], De Almeida et al. [20], Dos Santos [21], Miléo et al. [22] e Albertino et al. [23].

Tabela 1. Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes antes da instalação do experimento em 2018. Manaus, AM.

Classe ¹	Família	Nome científico	NTI	FRR	DER	ABR	IVI
M	Poaceae	<i>Axonopus affinis</i>	414	23,97	43,04	17,80	84,81
M	Poaceae	<i>Paspalum multicaule</i>	293	20,55	30,46	14,70	65,70
D	Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i>	129	23,97	13,41	5,55	42,93
M	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i>	31	1,37	3,22	23,33	27,92
M	Cyperaceae	<i>Cyperus diffusus</i>	27	2,74	2,81	10,16	15,70
M	Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	17	2,74	1,77	6,40	10,90
M	Poaceae	<i>Paspalum virgatum</i>	12	1,37	1,25	9,03	11,65
D	Fabaceae	<i>Pueraria phaseoloides</i>	12	8,22	1,25	1,50	10,97
D	Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	16	4,11	1,66	4,01	9,79
M	Poaceae	<i>Eleusine indica</i>	4	1,37	0,42	3,01	4,80
D	Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i>	2	2,74	0,21	0,75	3,70
M	Poaceae	<i>Homolepis aturensis</i>	1	1,37	0,10	0,75	2,23

D	Solanaceae	<i>Solanum stramonifolium.</i>	1	1,37	0,10	0,75	2,23
D	Euphorbiaceae	<i>Croton glandulosus</i>	1	1,37	0,10	0,75	2,23
D	Verbenaceae	<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	1	1,37	0,10	0,75	2,23
D	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	1	1,37	0,10	0,75	2,23
Total			962	100,00	100,00	100,00	300,00

¹M = monocotiledônea; D = dicotiledônea; NTI = número total de indivíduos; FRR = frequência relativa; DER = densidade relativa; ABR = abundância relativa; IVI = índice de valor de importância.

Quanto às classes, houve equilíbrio entre o número de espécies de monocotiledôneas e dicotiledôneas, com 8 espécies cada. Entretanto, houve predominância de indivíduos pertencentes à classe monocotiledônea no primeiro ano (83,05%), principalmente em razão do elevado número de indivíduos pertencentes às espécies *Axonopus affinis* e *Paspalum multicaule*, que juntos representaram mais de 70% dos indivíduos registrados.

Em relação às espécies, o maior IVI foi obtido por *A. affinis* (84,81), principalmente em razão do número total de indivíduos e do elevado valor para densidade relativa. Trata-se de uma gramínea perene, estolonífera, rasteira, de rápido crescimento, tolerante ao corte e ao pisoteio, e que é considerada de difícil controle em razão da elevada capacidade de enraizamento dos seus estolões [24]. Essa espécie também foi identificada por Miléo et al. [22] em plantio de mandioca no Amazonas, onde foi registrado elevado IVI para *A. affinis*. De modo semelhante, o estudo conduzido por Da Gama et al. [18], observou que uma espécie do gênero *Axonopus* apresentou o maior IVI em cultivo do guaranazeiro.

Ao final do primeiro ano do experimento, foram observadas alterações na composição florística da comunidade infestante, com o surgimento de novas espécies e desaparecimento de outras (Tabela 2). Não foram registradas infestantes na área tratada com herbicida, diferentemente do observado no tratamento com o controle mecânico, onde foi registrada a presença de algumas espécies de infestantes, embora tenha havido a redução de cerca de 80% no número total de indivíduos em relação ao tratamento sem controle.

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2019. Manaus, AM.

Tratamentos	Nome Científico	NTI ¹	FRR	DER	ABR	IVI
Controle mecânico	<i>Mimosa pudica</i>	10	25,00	34,48	34,48	93,97
	<i>Croton glandulosus</i>	7	18,75	24,14	24,14	67,03
	<i>Alternanthera tenella</i>	6	25,00	20,69	20,69	66,38
	<i>Axonopus affinis</i>	4	18,75	13,79	13,79	46,34
	<i>Acalypha arvensis</i>	2	12,50	6,90	6,90	26,29
	Total	29	100,00	100,00	100,00	300,00
Sem controle das infestantes	<i>Paspalum multicaule</i>	93	17,65	66,43	68,74	152,81
	<i>Croton glandulosus</i>	20	29,41	14,29	8,87	52,57
	<i>Mimosa pudica</i>	18	29,41	12,86	7,98	50,25
	<i>Acalypha arvensis</i>	5	11,76	3,57	5,54	20,88
	<i>Cyperus distants</i>	3	5,88	2,14	6,65	14,68
	<i>Euphorbia heterophylla</i>	1	5,88	0,71	2,22	8,81
	Total	140	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>B. ruziziensis</i>	<i>Croton glandulosus</i>	15	33,33	45,45	40,00	118,79
	<i>Mimosa pudica</i>	12	33,33	36,36	32,00	101,70
	<i>Axonopus affinis</i>	5	22,22	15,15	20,00	57,37
	<i>Homolepis aturensis</i>	1	11,11	3,03	8,00	22,14
	Total	33	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>M. pruriens</i>	<i>Paspalum multicaule</i>	32	5,00	26,23	45,55	76,78
	<i>Mimosa pudica</i>	36	30,00	29,51	8,54	68,05
	<i>Homolepis aturensis</i>	17	10,00	13,93	12,10	36,03
	<i>Croton glandulosus</i>	13	20,00	10,66	4,63	35,28
	<i>Axonopus affinis</i>	8	5,00	6,56	11,39	22,95
	<i>Rhynchospora nervosa</i>	7	5,00	5,74	9,96	20,70
	<i>Acalypha arvensis</i>	4	10,00	3,28	2,85	16,13
	<i>Cyperus distants</i>	3	10,00	2,46	2,14	14,59
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	2	5,00	1,64	2,85	9,49
	Total	122	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>C. ensiformis</i>	<i>Homolepis aturensis</i>	30	6,67	30,30	36,81	73,78
	<i>Cyperus distants</i>	15	6,67	15,15	18,40	40,22
	<i>Croton glandulosus</i>	9	20,00	9,09	3,68	32,77
	<i>Paspalum multicaule</i>	11	6,67	11,11	13,50	31,27
	<i>Mimosa pudica</i>	9	13,33	9,09	5,52	27,95
	<i>Axonopus affinis</i>	8	13,33	8,08	4,91	26,32
	<i>Rhynchospora nervosa</i>	8	6,67	8,08	9,82	24,56
	<i>Alternanthera tenella</i>	6	13,33	6,06	3,68	23,07
	<i>Spermacoce verticillata</i>	2	6,67	2,02	2,45	11,14
	<i>Acalypha arvensis</i>	1	6,67	1,01	1,23	8,90

Total	99	100,00	100,00	100,00	300,00
-------	----	--------	--------	--------	--------

¹NTI = número total de indivíduos; FRR = frequência relativa; DER = densidade relativa; ABR = abundância relativa; IVI = índice de valor de importância.

Entre as coberturas, *B. ruziziensis* foi a que apresentou menor quantidade de espécies de infestantes (4). Esta cobertura também reduziu em aproximadamente 75% o número total de indivíduos quando comparado ao tratamento sem controle, principalmente em razão do rápido estabelecimento e por apresentar o crescimento em touceiras, o que eleva sua capacidade competitiva. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Soares et al. [3] e Da Gama et al. [18], onde esta espécie apresentou excelente cobertura do solo e boa capacidade de supressão das infestantes, com potencial para o uso como cobertura em cultivos na Amazônia.

Em relação a *C. ensiformis*, esta cobertura apresentou a maior diversidade de espécies infestantes (10), provavelmente pelo crescimento ereto, determinado e inicialmente lento desta leguminosa, o que pode ter favorecido à emergência de novas infestantes [25]. Mesmo assim, proporcionou redução de 29% no número total de infestantes em relação ao tratamento sem controle, percentual intermediário entre o observado para *B. ruziziensis* e *M. pruriens*.

Mucuna pruriens foi a cobertura que apresentou a menor porcentagem de redução do número total de indivíduos (12%) em comparação ao tratamento sem controle, que pode ter ocorrido em razão do hábito de crescimento trepador que esta espécie apresenta, havendo maior espaço disponível no solo para a germinação e o desenvolvimento das plantas infestantes [3].

No levantamento fitossociológico realizado em área total, antes da instalação do segundo experimento, foram observados 924 indivíduos distribuídos em 19 espécies, sendo 9 monocotiledôneas e 10 dicotiledôneas. A família Poaceae foi a mais representativa, com cinco espécies, seguida pelas famílias Cyperaceae e Euphorbiaceae, com três espécies cada (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes antes da instalação do experimento em 2019. Manaus, AM.

Classe ¹	Família	Nome científico	NTI	FRR	DER	ABR	IVI
D	Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i>	404	17,67	43,72	19,49	80,89
M	Poaceae	<i>Axonopus affinis</i>	130	8,84	14,07	12,54	35,45
D	Verbenaceae	<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	102	14,42	11,04	6,03	31,49
M	Poaceae	<i>Paspalum multicaule</i>	73	4,65	7,90	13,38	25,93
M	Cyperaceae	<i>Rhynchospora nervosa</i>	35	10,70	3,79	2,79	17,28
D	Euphorbiaceae	<i>Croton lobatus</i>	32	7,44	3,46	3,67	14,57
D	Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	32	3,72	3,46	7,33	14,52
D	Fabaceae	<i>Pueraria phaseoloides</i>	20	8,37	2,16	2,04	12,57
D	Euphorbiaceae	<i>Acalypha arvensis</i>	24	3,72	2,60	5,50	11,82
M	Poaceae	<i>Homolepis aturensis</i>	21	4,65	2,27	3,85	10,77
M	Poaceae	<i>Eleusine indica</i>	15	2,79	1,62	4,58	9,00
M	Poaceae	<i>Paspalum virgatum</i>	15	2,79	1,62	4,58	9,00
M	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i>	5	0,93	0,54	4,58	6,05
M	Cyperaceae	<i>Cyperus diffusus</i>	4	0,93	0,43	3,67	5,03
M	Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	4	1,86	0,43	1,83	4,13
D	Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i>	3	1,86	0,32	1,37	3,56
D	Euphorbiaceae	<i>Croton glandulosus</i>	2	1,86	0,22	0,92	2,99
D	Violaceae	<i>Hybanthus calceolaria</i>	2	1,86	0,22	0,92	2,99
D	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	1	0,93	0,11	0,92	1,96
Total			924	100,00	100,00	100,00	300,00

¹M = monocotiledônea; D = dicotiledônea; NTI = número total de indivíduos; FRR = frequência relativa; DER = densidade relativa; ABR = abundância relativa; IVI = índice de valor de importância.

Diferentemente do observado no primeiro ano, houve predominância de indivíduos pertencentes à classe dicotiledônea no segundo ano (67,32%), principalmente em razão do elevado número de indivíduos de *M. pudica*, que correspondeu a aproximadamente 44% dos indivíduos identificados neste levantamento.

Apesar das mudanças na composição florística da comunidade infestante, maior parte dos indivíduos identificados antes da instalação do segundo experimento já haviam sido registrados no levantamento realizado no primeiro ano. Com destaque para *M. pudica*, *A. affinis* e *P. multicaule*, que estão entre as cinco infestantes com o maior IVI nos levantamentos realizados antes da instalação dos experimentos nos dois anos.

Mimosa pudica merece destaque por ter sido a espécie de maior importância no segundo ano (80,89). É uma infestante perene, herbácea ou pouco lenhosa, espinhosa, com folhas sensitivas, hábito de crescimento prostrado e propagação via sementes [26]. É considerada uma infestante bastante rústica, com bom desenvolvimento em solos com baixa disponibilidade nutricional, produzindo sementes capazes de germinarem sob condições de estresse hídrico e salino, sendo indicada para a recuperação de áreas degradadas [27].

O controle mecânico desta espécie é difícil em razão dos espinhos e da raiz lenhosa, e também devido à elevada produção de sementes, vez que muitas sementes podem permanecer no banco de sementes no solo e ocasionar a reinfestação por longos períodos. Por ser bastante comum na região Amazônica, *M. pudica* já foi observada em diversos estudos envolvendo plantas infestantes nos cultivos regionais, tais como Dos Santos [21], Alves Albuquerque et al. [28] e Albertino et al. [23], já tendo sido considerada uma das infestantes de maior importância em plantios de mandioca [22] e em cultivo de feijão-caupi [29].

De modo semelhante ao observado no primeiro ano, ocorreram alterações na composição florística da comunidade infestante ao final do segundo ano de experimento. Entretanto, a *M. pudica*, se destacou tanto no levantamento inicial, quanto no final, por apresentar os maiores valores para todos os parâmetros avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros fitossociológicos das plantas infestantes em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2020. Manaus, AM.

Tratamentos	Nome Científico	NTI ¹	FRR	DER	ABR	IVI
Controle mecânico	<i>Mimosa pudica</i>	9	44,44	47,37	36,00	127,81
	<i>Croton lobatus</i>	6	33,33	31,58	32,00	96,91
	<i>Axonopus affinis</i>	4	22,22	21,05	32,00	75,27
Total		19	100,00	100,00	100,00	300,00
Sem controle das infestantes	<i>Mimosa pudica</i>	123	25,00	54,42	36,57	116,00
	<i>Croton glandulosus</i>	39	20,83	17,26	13,92	52,01
	<i>Paspalum multicaule</i>	25	8,33	11,06	22,30	41,70
	<i>Croton lobatus</i>	12	12,50	5,31	7,14	24,95

	<i>Lantana camara</i>	9	16,67	3,98	4,01	24,66
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	12	8,33	5,31	10,70	24,35
	<i>Axonopus affinis</i>	6	8,33	2,65	5,35	16,34
	Total	226	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>B. ruziziensis</i>	<i>Mimosa pudica</i>	85	33,33	84,16	79,44	196,93
	<i>Croton glandulosus</i>	10	33,33	9,90	9,35	52,58
	<i>Croton lobatus</i>	3	16,67	2,97	5,61	25,24
	<i>Axonopus affinis</i>	3	16,67	2,97	5,61	25,24
	Total	101	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>M. pruriens</i>	<i>Mimosa pudica</i>	106	31,58	72,11	56,38	160,07
	<i>Paspalum multicaule</i>	20	15,79	13,61	21,28	50,67
	<i>Croton glandulosus</i>	14	21,05	9,52	11,17	41,75
	<i>Croton lobatus</i>	3	15,79	2,04	3,19	21,02
	<i>Lantana camara</i>	3	10,53	2,04	4,79	17,35
	<i>Pueraria phaseoloides</i>	1	5,26	0,68	3,19	9,13
	Total	147	100,00	100,00	100,00	300,00
<i>C. ensiformis</i>	<i>Mimosa pudica</i>	61	30,77	67,03	45,86	143,67
	<i>Croton glandulosus</i>	12	23,08	13,19	12,03	48,29
	<i>Paspalum multicaule</i>	6	7,69	6,59	18,05	32,33
	<i>Lantana camara</i>	6	15,38	6,59	9,02	31,00
	<i>Croton lobatus</i>	4	7,69	4,40	12,03	24,12
	<i>Axonopus affinis</i>	2	15,38	2,20	3,01	20,59
	Total	91	100,00	100,00	100,00	300,00

¹NTI = número total de indivíduos; FRR = frequência relativa; DER = densidade relativa; ABR = abundância relativa; IVI = índice de valor de importância.

Em relação a dinâmica populacional das plantas infestantes, as principais diferenças foram observadas em termos de quantidade de espécies e número total de indivíduos, não sendo possível identificar padrões de controle entre as espécies infestantes e os tratamentos avaliados, havendo predominância de algumas espécies na maioria dos tratamentos, com destaque para *M. pudica*, *P. multicaule* e *C. glandulosus*.

Para o número total de indivíduos no segundo ano, as coberturas *B. ruziziensis*, *C. ensiformis* e *M. pruriens*, proporcionaram reduções de 55, 60 e 35%, respectivamente, quando comparadas ao tratamento sem controle das infestantes. Em relação à quantidade de espécies infestantes, *B. ruziziensis* novamente foi a cobertura que apresentou a menor quantidade (4), o que ressalta sua capacidade competitiva.

As variações observadas nas espécies de infestantes e nos parâmetros fitossociológicos observados nos levantamentos realizados ao início e ao final deste estudo reforçam a compreensão da composição florística das infestantes enquanto processo natural dinâmico, fluido, onde as práticas agrícolas adotadas como o manejo do solo e os tratamentos culturais podem promover alterações significativas [30]. De modo geral, as infestantes identificadas nos levantamentos realizados são espécies de ocorrência comum na Amazônia, bastante adaptadas às condições regionais, e que já foram registradas em outros estudos conduzidos na região. Nessa perspectiva, estudos mais aprofundados sobre a ecologia e o comportamento dessas espécies em relação aos diferentes métodos de controle são necessários para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de controle.

O resumo das análises de variância dos componentes de produtividade da cultura da mandioca em consórcio com diferentes plantas de cobertura é apresentado na Tabela 5. Para o fator manejo, houve significância para os parâmetros matéria fresca das raízes, matéria seca das raízes e matéria seca da parte aérea, não havendo diferença para os parâmetros altura da planta e diâmetro da base do colo.

Tabela 5. Resumo da análise de variância de componentes de produtividade da cultura da mandioca em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos, nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM.

FV	GL	Quadrado médio				
		MFR ¹	MSR	MSPA	APL	DBC
Bloco	3	0,466 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,052 ^{ns}	116,8 ^{ns}	52,311*
Manejo	5	2,915*	0,428*	0,242*	1224,5 ^{ns}	5,660 ^{ns}
Ano	1	0,075 ^{ns}	0,456*	0,023 ^{ns}	3316,7*	59,608*
Man x ano	5	0,020 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,006 ^{ns}	251,1 ^{ns}	5,814 ^{ns}
Resíduo	33	0,180	0,053	0,020	536,2	12,561
Total	47	-	-	-	-	-

¹MFR = Matéria fresca das raízes; MSR = Matéria seca das raízes; MSPA = Matéria seca da parte aérea; APL = Altura da planta; e DBC = Diâmetro na base do colo. ** = Diferença significativa e ^{ns} = não significativa ao nível de 5% de probabilidade Teste de F.

Em relação à produtividade, o tratamento com controle químico apresentou os melhores resultados (29,23 t ha⁻¹), seguido pelo controle mecânico (21,79 t ha⁻¹) e pelas coberturas *B. ruziziensis* (17,60 t ha⁻¹) e *C. ensiformis* (15,47 t ha⁻¹). As menores produtividades foram observadas nos tratamentos com *M. pruriens* (13,77 t ha⁻¹) e sem controle das plantas infestantes (13,60 t ha⁻¹) (Tabela 6).

Tabela 6. Componentes de produtividade da mandioca em sistema de produção sob diferentes manejos, nos anos agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM.

Tratamentos	MFR ¹	MSR	MSPA
	----- t ha ⁻¹ -----		
Sem controle das plantas infestantes	13,60c	7,99c	6,93b
Controle mecânico	21,79b	11,84ab	8,95b
Controle químico	29,23a	13,60a	11,51a
<i>B. ruziziensis</i>	17,60bc	9,78bc	7,30b
<i>C. ensiformis</i>	15,47bc	9,86bc	7,55b
<i>M. pruriens</i>	13,77c	7,48c	7,30b
CV (%)	22,85	22,87	17,48
Ano agrícola 2017/2018	18,97 ^{ns}	9,12a	8,03 ^{ns}
Ano agrícola 2018/2019	18,18 ^{ns}	11,06b	8,48 ^{ns}

¹MFR = Matéria fresca das raízes; MSR = Matéria seca das raízes; MSPA = Matéria seca da parte aérea. **Médias seguidas pela mesma letra na coluna e ^{ns} não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey (p<0,05).

Embora a mandioca seja reconhecidamente uma cultura rústica, a produtividade de raízes frescas foi severamente afetada pela interferência das plantas infestantes. O tratamento sem o controle das infestantes apresentou produtividade inferior em mais de 50% em relação ao controle químico, o que evidencia a importância do manejo das infestantes na produtividade da mandioca. Fontes et al. [31], ao estudarem os períodos de interferência das plantas infestantes na mandioca cultivar manteiga, constataram que o convívio com as infestantes durante todo o ciclo da cultura foi capaz de reduzir a produtividade em 96%. De acordo com

esses autores, esta cultivar possui baixa capacidade de competição com as infestantes de terra firme no Amazonas.

O tratamento com controle químico das infestantes apresentou os maiores valores para produtividade, matéria seca das raízes e matéria seca da parte aérea, provavelmente em razão da formação da palhada uniforme sobre a superfície do solo após as aplicações do herbicida, que pode ter funcionado como uma barreira física, ajudando na conservação da água no solo e impedindo a emergência de novas infestantes. O tratamento capinado pode ter sofrido os efeitos da interferência das infestantes e da menor disponibilidade hídrica, devido à maior exposição da superfície do solo, que favorece a perda de água para a atmosfera, considerando que apesar de o tratamento capinado ter apresentado produtividade inferior ao controle químico, os dois tratamentos não diferiram em relação à matéria seca de raízes.

Nesse sentido, outros estudos envolvendo o controle das infestantes na cultura da mandioca registraram maiores produtividades nos tratamentos com a aplicação de herbicidas, em comparação aos tratamentos com o controle manual das infestantes [32,33]. Resultados diferentes foram observados por Fontes et al. [17], onde não foram observadas diferenças na produtividade da mandioca cultivar Manteiga entre os tratamentos com herbicidas e com capina.

Em relação ao controle biológico, *B. ruziense* e *C. ensiformis* apresentaram grau moderado de interferência sobre a mandioca, proporcionando produtividade semelhante ao controle mecânico, principalmente por apresentarem hábito de crescimento compatível com a cultura e por reduzirem a quantidade de infestantes nas parcelas, resultando em menos interferência quando comparadas ao tratamento sem controle. É importante destacar que o grau de interferência das plantas de coberturas sobre determinada cultura tende a diminuir na medida em que se avançam os estudos sobre o tema, a avaliação da época de plantio, densidade, espaçamento e o tempo de consórcio mais adequado, pode contribuir para elevar a produtividade da mandioca e reduzir o potencial de interferência sobre esta cultura.

A *M. pruriens* não diferiu do tratamento sem controle para nenhum dos parâmetros avaliados, apresentando incompatibilidade para consórcio com a mandioca, principalmente em função do hábito de crescimento trepador. Contudo, por ser uma leguminosa rústica e de rápido estabelecimento, tem potencial para uso como adubo verde ou cobertura morta, se cultivada em área não consorciada com a mandioca, ou ainda, em sucessão à cultura.

De acordo com Madembo et al. [34], embora os sistemas consorciados com plantas de coberturas possam resultar em reduções na produtividade, o uso dessas plantas pode ser uma alternativa viável, sobretudo para os pequenos agricultores, sendo necessário investigar arranjos de cultivo capazes de aumentar o potencial de supressão das infestantes e reduzir o grau de interferência sobre a cultura.

Apesar da busca constante pelo máximo produtivo, a estabilidade, a sustentabilidade dos cultivos, a saúde dos produtores, a preservação e a conservação do ecossistema Amazônico são fatores que devem ser considerados na escolha do melhor manejo das infestantes. Ressalta-se que a produção sustentável, quando bem empregada, agrega valor ao produto final, podendo, inclusive, compensar eventuais perdas de produtividade.

Em relação às propriedades químicas do solo, apesar das variações observadas nos dois anos agrícolas, as plantas de cobertura apresentaram os maiores valores de pH, K, Ca, Mg e matéria orgânica, entre os tratamentos com controle das infestantes (Tabela 7).

Tabela 7. Propriedades químicas do solo na camada 0 a 20 cm, em sistema de produção de mandioca sob diferentes manejos em 2018/2019 e 2019/2020. Manaus, AM.

Tratamentos	pH ¹	MO	P	K	Ca	Mg	Zn	H + Al
	H ₂ O	dag/kg	mg/dm ³		cmol _c /dm ³		mg/dm ³	cmol _c /dm ³
	2018/2019							
Controle mecânico	5,62c	3,52c	3,10ab	22,75c	1,88c	1,18d	0,65 ^{ns}	4,37bc
Sem controle das plantas infestantes	5,82b	3,69bc	3,45ab	27,00b	2,25b	1,50ab	0,75 ^{ns}	4,53bc

<i>B. ruziziensis</i>	6,20a	3,86ab	2,92b	35,75a	2,56a	1,52a	0,75 ^{ns}	4,20c
<i>C. ensiformis</i>	5,80bc	3,86ab	3,97ab	23,50c	2,10b	1,4bc	0,72 ^{ns}	4,86b
<i>M. pruriens</i>	5,82b	4,06a	3,27ab	29,25b	2,07bc	1,32bc	0,75 ^{ns}	5,52a
Controle químico	5,67bc	3,56c	4,25a	22,75c	1,88c	1,36c	0,67 ^{ns}	4,62bc
CV (%)	1,46	2,86	15,75	4,19	4,30	3,62	13,07	6,11
2019/2020								
Controle mecânico	5,20c	3,86c	3,80ab	24,25d	1,04d	0,46d	0,70bc	7,34a
Sem controle das plantas infestantes	5,30c	4,19ab	2,45c	27,50c	1,19c	0,47c	0,72bc	6,51ab
<i>B. ruziziensis</i>	5,50b	4,39a	3,37b	30,75a	1,37b	0,61bc	0,95a	6,60ab
<i>C. ensiformis</i>	5,82a	4,23a	3,57ab	29,00b	1,56a	0,69a	0,60c	6,43b
<i>M. pruriens</i>	5,60b	4,16ab	3,42ab	30,50a	1,18c	0,64b	0,82ab	7,43a
Controle químico	5,32c	3,93bc	4,10a	24,25d	1,06d	0,47d	0,75b	6,93ab
CV (%)	1,28	2,89	7,95	2,34	2,60	2,75	7,86	5,28

¹pH = Potencial hidrogeniônico; MO = Matéria orgânica; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Zn = Zinco; e H + Al = Acidez potencial. **Médias seguidas pela mesma letra na coluna e ^{ns} não diferem estatisticamente entre si pelo Teste Tukey (p<0,05).

A faixa de pH favorável ao crescimento da mandioca na Região Norte é de 5,5 a 7, sendo 6,5 apontado como o valor ideal [35]. As plantas de cobertura para a elevação do pH em comparação aos tratamentos químico e mecânico, estando mais próximo ao pH ideal para a cultura. Os efeitos das plantas de cobertura sobre os valores de pH do solo ainda não estão totalmente compreendidos, havendo observações contraditórias na literatura, às vezes com acréscimos e outras com reduções para os valores [36,37]. Essas variações parecem estar relacionadas, principalmente, às composições bioquímicas das coberturas utilizadas, às características dos solos, às condições ambientais e ao manejo adotado.

Quanto à matéria orgânica, as plantas de cobertura apresentaram os maiores valores em relação aos controles químico e mecânico. A melhoria na matéria orgânica do solo pelo uso de plantas de cobertura tem sido atribuída, principalmente, a três fatores: a) incorporação dos resíduos vegetais; b) redução da taxa de mineralização pela adoção de práticas conservadoras; e c) menor perda de matéria orgânica pela erosão [38,39]. De acordo com Oliveira et al. [40], os cultivos agrícolas que não utilizam práticas conservacionistas tendem a reduzir os teores de

matéria orgânica do solo, principalmente nas camadas superficiais. Os baixos teores de matéria orgânica no solo diminuem a disponibilidade de nutrientes, como K, Ca e Mg, causando maior dependência dos fertilizantes químicos [41,42].

No primeiro ano, *B. ruziziensis* foi a espécie que mais se destacou por apresentar os maiores teores de K, Ca, Mg e matéria orgânica, bem como a menor acidez potencial. Por ser uma espécie que apresenta elevada produção de biomassa, com capacidade de absorção de nutrientes das camadas mais profundas do solo [43], o corte e a rápida degradação dos resíduos vegetais que esta espécie apresenta podem ter contribuído para a melhoria nos atributos químicos nas camadas mais superficiais do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ensinas et al. [44], que ao estudarem os efeitos de determinadas plantas de cobertura sobre as propriedades químicas do solo, incluindo *B. ruziziensis*, constataram que as coberturas promoveram melhorias nos teores de K e Mg. Arf et al. [45], observaram que *B. ruziziensis* e *C. ensiformis* promoveram melhorias nos teores de P e K do solo, e Demir e Işık [37], ao estudarem a influência das coberturas na qualidade do solo, observaram que as coberturas proporcionaram aumentos nos teores de K e Mg, quando comparadas aos tratamentos com controle químico e mecânico.

Cumpramos ressaltar que *B. ruziziensis* foi a cobertura que apresentou os menores teores de P no solo para os dois anos avaliados. Estudos envolvendo espécies de braquiária sobre a disponibilidade de fósforo no solo observaram que, diferentemente do esperado, *B. ruziziensis* reduziu a disponibilidade de P no solo, ao mesmo tempo em que apresentou a maior quantidade de P nos tecidos vegetais [46,47].

O controle químico apresentou os maiores teores de P no solo nos dois anos avaliados. Considerando que houve adubação no solo com este nutriente, seguindo a recomendação de Dias et al. [11], é provável que os maiores teores encontrados neste tratamento decorram da ausência de infestantes ou coberturas capazes de extrair o nutriente do solo e pela maior conservação da superfície do solo pela palhada. Segundo Magolbo [48], em razão de participar

da síntese de amido nas plantas, é esperado que o fornecimento de P em quantidades adequadas possa aumentar o crescimento da planta e a produtividade da cultura da mandioca. Desta forma, a maior disponibilidade de P no solo é altamente desejável para a mandioca e diversos estudos demonstram que esta é uma cultura responsiva a adubação fosfatada [48-50].

Quanto ao teor de Zn, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para o primeiro ano, entretanto, *B. ruziziensis* e *M. pruriens* apresentaram os maiores teores deste micronutriente no segundo ano. Devido às variações encontradas, são necessários estudos futuros para avaliarem os reais impactos dessas coberturas sobre a disponibilidade de Zn no solo, considerando que este é um micronutriente essencial para o crescimento vegetal e sua deficiência no solo é uma preocupação mundial, especialmente nos solos tropicais, sendo considerado o micronutriente que mais comumente limita a produção da mandioca [51,52].

Por fim, embora a melhoria das propriedades químicas do solo seja altamente desejada, a simples conservação dos parâmetros inicialmente observados já constitui grande avanço na perspectiva de uma produção agrícola sustentável, vez que o cultivo agrícola convencional, centrado no uso intensivo de fertilizantes e defensivos, é capaz de promover a degradação dos atributos do solo a médio e longo prazo.

CONCLUSÃO

As plantas de cobertura alteram a composição florística da comunidade infestante do plantio de mandioca, reduzindo a diversidade de espécies e a quantidade de indivíduos. As plantas infestantes reduziram em mais de 50% a produtividade da mandioca nas condições do ecossistema amazônico. As coberturas *B. ruziziensis* e *C. ensiformis* aumentaram a produtividade de matéria seca e fresca de raízes de mandioca em relação ao tratamento sem controle das infestantes. As plantas de coberturas aumentaram os valores de pH, MO, K, Ca, Mg, em relação aos tratamentos com controle químico e mecânico das infestantes.

Brachiaria ruziziensis e *C. ensiformis* são recomendadas como plantas de cobertura em sistemas de produção de mandioca na Região Amazônica. O uso de plantas de cobertura associadas com a mandioca é uma opção sustentável de manejo e, além do efeito de supressão sobre as plantas infestantes, as plantas de coberturas melhoram as propriedades químicas do solo, podendo contribuir para aumentar a produção de mandioca em longo prazo, considerando a baixa fertilidade natural que os solos Amazônicos apresentam.

Apesar de os estudos sobre este tema serem incipientes na Região Amazônica, os resultados obtidos neste estudo são úteis no desenvolvimento de estratégias para o manejo sustentável das plantas infestantes e para melhorias na qualidade dos solos Amazônicos.

REFERÊNCIAS

1. Rocha, V.P.C.; Gonçalves-Vidigal, M.C.; Ortiz, A.H.T.; Valentini, G.; Ferreira, R.C.U.; Gonçalves, T.M.; Lacanallo, G.F.; Vidigal Filho, P.S. Population structure and genetic diversity in sweet cassava accessions in Paraná and Santa Catarina, Brazil. *Plant Molecular Biology Reporter* **2020**, *38*, 25-38.
2. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA 2020*. Available online: <https://www.ibge.gov.br> (accessed on 10 August 2021).
3. Soares, D.O.P.; Pinto, K.G.D.; da Gama, L.A.; Ferreira, C.C.; Bhowmik, P.C.; Albertino, S.M.F. Physical Properties of Soil and Glyphosate Residue as a Function of Cassava Weed Management by Cover Crops in the Amazon Ecosystem. *HortScience* **2021**, *56*, 1053-1058.
4. Hasanuzzaman, M.; Mohsin, S.M.; Bhuyan, M.B.; Bhuiyan, T.F.; Anee, T.I.; Masud, A.A.C.; Nahar, K. Phytotoxicity, environmental and health hazards of herbicides: challenges and ways forward. In *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*; Elsevier: 2020; pp. 55-99.
5. Büchi, L.; Wendling, M.; Amossé, C.; Necpalova, M.; Charles, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2018**, *256*, 92-104.
6. Gómez, J.A.; Campos, M.; Guzmán, G.; Castillo-Llanque, F.; Vanwalleghem, T.; Lora, Á.; Giraldez, J.V. Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environmental Science and Pollution Research* **2018**, *25*, 977-989.
7. Michelon, C.J.; Junges, E.; Casali, C.A.; Pellegrini, J.B.R.; Neto, L.R.; de Oliveira, Z.B.; de Oliveira, M.B. Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Revista de Ciências Agroveterinárias* **2019**, *18*, 230-239.

8. Soares, M.R.S.; São José, A.R.; Nunes, R.T.C.; de Andrade Silva, R.; Caetano, A.P.O.; de Oliveira, D.S.; de Azevedo Nolasco, C.; Rampazzo, M.C. Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. *Revista de Ciências Agrárias* **2019**, *42*, 237-247.
9. Dubreuil, V.; Fante, K.P.; Planchon, O.; Neto, J.L.S.a. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia* **2018**, *72*.
10. Vieira, A.F.S.G.; Junior, J.C.M.D.a. Padrões pluviométricos da Cidade de Manaus-AM: 1986 a 2015. *Boletim Paulista de Geografia* **2020**, *1*, 1-31.
11. Dias, M.C.; Xavier, J.; Barreto, J.; Pamplona, A. Recomendações técnicas do cultivo de mandioca para o Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)* **2004**, *1*, 1-24.
12. De Oliveira, I.J.; Barreto, J.F. Épocas de colheita da macaxeira cultivar Aipim Manteiga em Latossolo Amarelo no estado do Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)* **2020**, *77*, 1-12.
13. Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. . *Aims and methods of vegetation ecology*; New York: John Wiley, USA, 1974.
14. Pinheiro, W.L.; da Silva Maia, G.; de Almeida, F.; de Cristo Silva, R.R.; Cruz, J.D.; de Souza, R.M. Características agronômicas e produção da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz cv. BRS-Poti) submetida a tratos culturais. *Brazilian Journal of Development* **2021**, *7*, 18314-18325.
15. Raij, B.v.; Quaggio, J. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Boletim Técnico IAC* **1983**.
16. RStudio Team (2020). RStudio: Integrated development environment for R. *RStudio, PBC, Boston, MA*. Available online: <https://www.rstudio.com> (accessed on 07 August 2021).

17. Fontes, J.R.A.; Oliveira, I.J.; Morais, R.R. Selectivity and efficiency of herbicides in cassava on the floodplain of the Solimões river. *Revista Agro@mbiente On-line* **2021**, *15*.
18. Da Gama, L.A.; Leite, B.N.; Pinheiro, S.C.; Reis, M.F.; Pinto, K.G.D.; Soares, D.O.P.; do Nascimento Filho, F.J.; Albertino, S.M.F. Phytosociology and cover analysis in the suppression of weeds from an Amazonian agrosystem. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* **2020**, *15*, 1-9.
19. Damasceno, L.A. Produtividade do milho em sucessão a plantas de cobertura de solo. Doctorate. Tropical Agronomy of the Federal University of Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil, **2019**.
20. De Almeida, U.O.; Andrade Neto, R.D.C.; Marinho, J.D.S.; Gomes, R.R.; de Oliveira, J.R.; dos Santos, R.S.; Teixeira Júnior, D.; de Araújo, J.C. Fitosociologia de plantas daninhas em cultivo de açaizeiro. *Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)* **2019**, *9*, 1-9.
21. Santos, A.F.D. Controle de plantas daninhas na cultura do Guaranazeiro com herbicidas, e seus efeitos sobre Bioindicadores. Doctorate. Tropical Agronomy of the Federal University of Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil, **2018**.
22. Miléo, L.; Silva, J.; Albertino, S.; Leite, B.; Menezes, D.; Santos, A. Phytosociology of weeds in cultivation of two varieties of cassava1. *Planta Daninha* **2016**, *34*, 267-276.
23. Albertino, S.; Silva, J.; Parente, R.; Souza, L. Composição florística das plantas daninhas na cultura de guaraná (*Paullinia cupana*), no estado do Amazonas. *Planta Daninha* **2004**, *22*, 351-358.
24. Pinheiro, C.; Rosa, L.; Falqueto, A. Resilience in the functional responses of *Axonopus affinis* Chase (Poaceae) to diurnal light variation in an overgrazed grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* **2019**, *266*, 140-147.
25. Silva-López, R.E.D. *Canavalia ensiformis* (L) DC (Fabaceae). *Revista Fitos* **2012**, *7*, 1-9.

26. Lorenzi, H. *Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas*. 4th ed.; Plantarum: Brazil, **2008**.
27. Chauhan, B.S.; Johnson, D.E. Germination, emergence, and dormancy of *Mimosa pudica*. *Weed Biology and Management* **2009**, *9*, 38-45.
28. Alves Albuquerque, J.d.A.; Santos, T.S.d.; Castro, T.S.; Evangelista, M.O.; Arcanjo Alves, J.M.; Soares, M.B.B.; Menezes, P.H.S.d. Estudo florístico de plantas daninhas em cultivos de melancia na Savana de Roraima, Brasil. *Scientia Agropecuaria* **2017**, *8*, 91-98.
29. Oliveira, O.M.S.d. Capacidade competitiva de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) combinada com espaçamento na supressão de plantas daninhas. **2014**.
30. Oliveira, A.; Freitas, S.d.P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. *Planta daninha* **2008**, *26*, 33-46.
31. Fontes, J.; de Oliveira, I.; Pedrozo, C.; da Rocha, R.; de Moraes, R.; Muniz, A. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da macaxeira, variedade Aipim-Manteiga, em terra firme do Amazonas. *Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)* **2014**, *46*, 1-8.
32. AUgbe, L.; Nyong, J.-F.; Akomaye, U.E. A comparative analysis of the efficacies of six selected herbicides for effective control of spear grass (*Imperata cylindrical* Linn) in cassava production in Obudu, Northern Cross River State. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* **2021**, *15*, 272-280.
33. Ekeleme, F.; Dixon, A.; Atser, G.; Hauser, S.; Chikoye, D.; Korie, S.; Olojede, A.; Agada, M.; Olorunmaiye, P.M. Increasing cassava root yield on farmers' fields in Nigeria through appropriate weed management. *Crop Protection* **2021**, *150*, 105810.
34. Madembo, C.; Mhlanga, B.; Thierfelder, C. Productivity or stability? Exploring maize-legume intercropping strategies for smallholder Conservation Agriculture farmers in Zimbabwe. *Agricultural Systems* **2020**, *185*, 102921.

35. Mattos, P.d.; Cardoso, E. Cultivo da mandioca para o Estado do Pará. *Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura* **2003**.
36. Abdollahi, L.; Munkholm, L.J. Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. Chemical, mechanical, and biological properties. *Soil Science Society of America Journal* **2014**, *78*, 262-270.
37. Demir, Z.; Işık, D. Using cover crops to improve soil quality and hazelnut yield. *Fresenius Environmental Bulletin* **2020**, *29*, 1974-1987.
38. Alvarez, R.; Diaz, R.A.; Barbero, N.; Santanatoglia, O.J.; Blotta, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research* **1995**, *33*, 17-28.
39. Novara, A.; Minacapilli, M.; Santoro, A.; Rodrigo-Comino, J.; Carrubba, A.; Sarno, M.; Venezia, G.; Gristina, L. Real cover crops contribution to soil organic carbon sequestration in sloping vineyard. *Science of the Total Environment* **2019**, *652*, 300-306.
40. Oliveira, F.C.C.; Pedrotti, A.; Felix, A.G.S.; Souza, J.L.S.; Holanda, F.S.R.; Junio, A.V.M. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* **2017**, *12*, 354-360.
41. Chiodini, B.M.; da Silva, A.G.; Negreiros, A.B.; Magalhães, L.B. Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas. *Revista Cultivando o Saber* **2013**, *6*, 181-190.
42. Noor, R.; Wang, Z.; Umair, M.; Ameen, M.; Misaal, M.; Sun, Y. Long-term application effects of organic and chemical fertilizers on soil health and productivity of taramira (*Eruca sativa* L.) Under rainfed conditions. *J. Anim. Plant Sci* **2020**, *30*, 970-987.
43. Oliveira, P.d.; Kluthcouski, J.; Borghi, E.; Ceccon, G.; Castro, G. Atributos da braquiária como condicionador de solos sob integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta. *Embrapa Arroz e Feijão-Col Criar Plantar ABC 500P/500R Saber (INFOTECA-E)* **2015**, *1*, 1-21.

44. Ensinas, S.C.; Serra, A.P.; Marchetti, M.E.; da Silva, E.F.; Lourente, E.R.P.; do Prado, E.A.F.; Matos, F.A.; Altomar, P.H.; Martinez, M.A.; Potrich, D.C. Cover crops affect the soil chemical properties under no-till system. *Australian Journal of Crop Science* **2016**, *10*, 1104-1111.
45. Arf, O.; Meirelles, F.; Portugal, J.; Buzetti, S.; de Sá, M.; Rodrigues, R. Benefits of intercropping corn with grassy and legumes and their effects on yield in no tillage system. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* **2018**, *17*, 431-444.
46. Janegitz, M.C.; Martins, A.R.H.; Rosolem, C.A. Cover crops and soil phosphorus availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **2017**, *48*, 1240-1246.
47. Almeida, D.S. Disponibilidade de fósforo e produtividade de soja em rotação com braquiária ruziziensis. Doctorate. Agronomy. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, Brazil, **2018**.
48. Magolbo, L.A.d.S. Efeito da adubação fosfatada no crescimento, produtividade e acúmulo de fósforo e amido em mandioca para indústria. **2019**.
49. De Lima, A.G.; de Carvalho, L.R.; Mota, M.C.; de Lima Junior, A.F.; Moreira, J.M.; da Silva, A.P.; Barbuio, R.; Rosa, J.Q.S. Produtividade de mandioca avaliada sobre adubação fosfatada e a adubação de cobertura. *Pubvet* **2018**, *12*, 133.
50. Uchôa, S.; Alves, J.; Melo, V.; Silva, D.C.O.; Silva, A.; Batista, K.; Matos, K.; Albuquerque, J. Adubação fosfatada na produtividade e qualidade de raízes tuberosas de cultivares de mandioca na savana amazônica, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias* **2020**, *43*, 381-389.
51. Brancalio, S.R.; Campos, M.; Bicudo, S. Crescimento e desenvolvimento de plantas de mandioca em função da calagem e adubação com zinco. *Nucleus* **2015**, *12*, 175-182.
52. Morais, E.G.d.; Silva, C.A.; Jindo, K. Humic Acid Improves Zn Fertilization in Oxisols Successively Cultivated with Maize–Brachiaria. *Molecules* **2021**, *26*, 4588.