

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LEANDRO ALVES FREITAS

**PLANTAS DE COBERTURA COMO PROVEDORA DE NITROGÊNIO
E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO**

TESE

PATO BRANCO

2020

LEANDRO ALVES FREITAS

PLANTAS DE COBERTURA COMO PROVEDORA DE NITROGÊNIO E ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO

Coverage Plants as Provider of Nitrogen and Nitrogen Fertilization in the corn culture.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

PATO BRANCO

2020



Esta licença permite que outros façam download dos trabalhos licenciados e os compartilhem desde que atribuam crédito ao autor, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utiliza-los para fins comerciais.

[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



LEANDRO ALVES FREITAS

**PLANTAS DE COBERTURA COMO PROVEDORA DE NITROGÊNIO E
ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Solos E Sistemas Integrados De Produção Agropecuária.

Data de aprovação: 17 de Dezembro de 2020

Prof Paulo Cesar Conceicao, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Ana Regina Dahlem Ziech, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Laercio Ricardo Sartor, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Lutecia Beatriz Dos Santos Canalli, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Iapar- Emater)

Prof Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, Doutorado - Universidade Estadual Paulista - Unesp

*Aos meus pais, meu irmão,
minha avó pela compreensão,
carinho e apoio.*

Dedico

AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me proporcionado saúde, sabedoria e paciência, por abençoar minha vida diariamente e por colocar pessoas ídoles, serenas e honestas durante minha trajetória.

A minha Família, por serem meus apoiadores, incentivadores, mesmo com a distância sempre estiveram do meu lado. Amo vocês!

Ao meu Orientador Paulo Cesar Conceição, por toda a paciência, compreensão e ensinamentos, pela parceria durante este período de orientação.

Aos funcionários da UTFPR, em especial ao Sidinei Kurkiewicz, pela parceria e ajuda durante o a condução dos experimentos.

A UTFPR pela disponibilidade de toda a estrutura física.

A CAPES e Fundação Araucária pelo financiamento da bolsa de estudos

Aos meus amigos do grupo de pesquisa em especial ao Fernando Battisti, Cidimar Cassol, Maiara Haskell, Jaqueline da Rosa, Márcia Kochem, Joseane Derengoski, Edivan Possamai, Ezequiel Dal Bosco, Dieyson Peruzzolo, Wesley Sbalcheiro, Felipe Sandrin, Rafael Mattei, Carol Dresch, Angela Tomazoni, Letícia Aliciel, Mônica Seixas, Larissa Schaedler, Rodrigo Gugel, Rodrigo Rosa, Anderson Debald, Edina Batista, Erica Batista e Daiane Porfirio. Sem o auxílio de vocês não teria conseguido, mesmo com horas de trabalho, ainda tínhamos momentos de diversão e recreação o que tornou o serviço mais brando.

Agradeço, a todos que de algum modo participaram e contribuíram no desenvolvimento desta Tese.

Muito Obrigado!

RESUMO

FREITAS, Leandro Alves. Plantas de Cobertura como Provedora de Nitrogênio e Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

A manutenção de resíduos e o mínimo revolvimento na superfície do solo, aliado ao uso de rotação de culturas são premissas básicas para um sistema conservacionista do solo, cujo manejo das áreas sem adoção destes conceitos contribui para a perda da qualidade do solo. O estudo avaliou o uso de plantas de cobertura estivais, com quantificação da produção de biomassa, ciclagem de N, bem como os efeitos nos parâmetros agrônômicos do milho cultivado com e sem adubação nitrogenada. A pesquisa foi conduzida em área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, em Latossolo Vermelho com textura muito argilosa. O delineamento experimental apresenta-se em blocos ao acaso em esquema fatorial (8x2), e três repetições, composto por sete espécies de plantas de coberturas estivais, e uma área em pousio, com e sem a adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho. A fim de manter o N no sistema foi semeado o NF após as plantas de cobertura estivais. As avaliações nas plantas de cobertura e NF foram de produção de biomassa, acúmulo de N e C total, a taxa de decomposição e liberação de N. Além disso, foram mensuradas as respostas dos componentes de produção da cultura do milho e o acúmulo de C e N. A matéria seca remanescente e liberação de N foram avaliadas durante 180 dias para as plantas de cobertura estivais e 90 dias para o NF usando bolsas de decomposição (Litter bags). Os resultados foram submetidos a modelos de regressão não lineares, enquanto o efeito das plantas de coberturas e adubação nitrogenada sobre os componentes de produção do milho, bem como sobre o acúmulo de C e N na biomassa e grãos do milho foi comparado pelo teste de Scott Knott. A dinâmica da matéria seca remanescente das plantas de cobertura apresentou uma fase inicial rápida seguida de uma mais lenta. Aos 15 dias após a alocação dos Litter bags (DAA), ocorreram as menores massas seca remanescente para o feijão de porco, lab-lab e crotalária spectabilis em 2018, no ano seguinte o mesmo ocorreu para o feijão de porco e crotalária spectabilis. Da mesma forma, o NF proporcionou as menores matérias seca remanescente aos 30 dias após a alocação em 2018. Ao longo do período de 120 DAA, momento de maior extração de N na cultura do milho, o Feijão de porco somado ao NF subsequente liberou teores de N em quantidades próximas a adubação nitrogenada de cobertura. O N remanescente seguiu o mesmo padrão para matéria seca remanescente e liberação de N, sendo que as menores quantidades foram obtidas nos primeiros 15 DAA, para todos os sistemas com plantas de cobertura. As maiores produções de MS, bem como acúmulo C e N foram obtidas para o feijão de porco, o qual possibilitou maiores quantidades de matéria seca remanescente, além dos maiores valores acumulados e liberados de N, o qual junto ao NF subsequente possibilitou quantidade de disponibilização de N a patamares semelhantes à adubação nitrogenada de cobertura. O feijão de porco e as mucunas cinza e preta apresentaram maior sincronia de liberação e disponibilidade de N no momento de maior demanda da cultura do milho, também foram os sistemas que expressaram disponibilidade de N equivalente aos sistemas adubados, resultando mínimas diferenças entre os componentes de produção e acúmulo de N no milho. A análise de componentes principais indicou que a adoção de plantas de cobertura atribuíram valores positivos aos componentes de produção do milho nos dois anos de avaliação, além dos sistemas de pousio apresentarem valores negativos para estes componentes.

Palavras – chaves: adubação verde. plantas de cobertura. ciclagem de nutrientes. acúmulo de N. decomposição de palhada. fixação biológica de nitrogênio

ABSTRACT

FREITAS, Leandro Alves. Coverage Plants as Provider of Nitrogen and Nitrogen Fertilization in the corn culture. 69f. Thesis (Doctorate in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Vegetable Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2020.

The maintenance of residues and the minimum disturbance on the soil surface, combined with the use of crop rotation are basic premises for a soil conservation system, whose management of areas without the adoption of these concepts contributes to the loss of soil quality. The study evaluated the use of summer cover crops, with quantification of biomass production, N cycling, as well as the effects on the agronomic parameters of corn grown with and without nitrogen fertilization. The research was conducted in an experimental area at the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, in an Red Oxisol with a very clayey texture. The experimental design is presented in randomized blocks in a factorial scheme (8x2), and three replications, composed of seven species of summer cover crops, and a fallow area, with and without nitrogen cover fertilization in the corn crop. In order to maintain the N in the system, the NF was sown after the summer cover plants. The evaluations in the cover and NF plants were of biomass production, accumulation of total N and C, the rate of decomposition and release of N. In addition, the responses of the production components of the corn crop were measured, as well as the accumulation of C and N. The remaining dry mass and N release were evaluated during 180 days for summer cover plants and 90 days for NF using decomposition bags (Litter bags). The results were submitted to non-linear regression models, while the effect of cover crops and nitrogen fertilization on corn production components, as well as on the accumulation of C and N in biomass and corn grains was compared by Scott test Knott. The remaining dry matter dynamics of the cover plants presented a fast initial phase followed by a slower one. At 15 days after the allocation of Litter bags (DAA), there were the smallest remaining dry masses for Jack beans, Lab-lab and Showy rattlebox in 2018, the following year the same occurred for Jack beans and Showy rattlebox. Likewise, the NF provided the lowest dry matter remaining at 30 days after allocation in 2018. Over the period of 120 DAA, the time of greatest N extraction in the corn crop, the Jack beans added to the subsequent NF released levels of N in quantities close to nitrogen cover fertilization. The remaining N followed the same pattern for remaining dry matter and N release, with the lowest amounts being obtained in the first 15 DAA, for all systems with cover plants. The highest yields of DM, as well as accumulation C and N were obtained for the jack bean, which allowed greater amounts of dry matter remaining, in addition to the greater accumulated and released values of N, which together with the subsequent NF enabled the amount of availability from N to levels similar to nitrogen cover fertilization. Jack beans and gray and black mucunas showed greater synchrony of N release and availability at the time of greater demand for maize culture, were also the systems that expressed availability of N equivalent to fertilized systems, resulting in minimal differences between the components of production and accumulation of N in corn. The analysis of main components indicated that the adoption of cover crops attributed positive values to the corn production components in the two years of evaluation, in addition to the fallow systems showing negative values for these components.

Keywords: green manure. cover crops. nutrient cycling. soil quality. nitrogen accumulation. straw decomposition.

Lista de Figuras

- Figura 1** - Dados de precipitação pluvial, médias das temperaturas máxima, mínima durante a condução do experimento. Fonte: Inmet 19
- Figura 2** - Precipitação pluvial e temperatura média do ar em cada intervalo de coleta dos sacos de decomposição (litter bag) durante o período em que permaneceram no campo. 2018- (19/06/2018 até 28/01/2019) e 2019- (19/06/2019 até 20/01/2019). 23
- Figura 3** - Produção de matéria seca das plantas de cobertura em 2018 e 2019. Letras minúsculas se referem ao ano de 2018 e maiúsculas ao ano de 2019.. 24
- Figura 4** - Matéria seca remanescente das plantas de cobertura estivais (kg ha^{-1} e %) ao longo de 180 dias de decomposição, para as safras agrícolas 2018 (A,C) e 2019 (B,D).. 27
- Figura 5** - Matéria seca remanescente do nabo forrageiro sobre as plantas de cobertura estivais (kg ha^{-1} e %) ao longo de 90 dias de decomposição, para a safra agrícola de 2018(A, B).. 30
- Figura 6** - Liberação acumulada de N (kg ha^{-1}), pelas plantas de cobertura estivais ao longo de 180 dias de decomposição, para o ano de 2018 (A) e 2019 (B). 32
- Figura 7** - Liberação acumulada de N (kg ha^{-1}), pela cultura do nabo ao longo de 90 dias de decomposição, para o ano de 2018. 33
- Figura 8** - Quantidade de N remanescente (%), pelas plantas de cobertura estivais ao longo de 180 dias de decomposição, para o ano de 2018 (A) e 2019 (B). 35
- Figura 9** - Quantidade de N remanescente (%), do nabo forrageiro sobre as plantas de cobertura estivais ao longo de 90 dias de decomposição, para o ano de 2018..... 36
- Figura 10** - Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da cultura do milho 2018-2019, sendo as variáveis: população final PF, número de grãos por linha NGL, número de grãos por fileira NGF, comprimento da espiga CE, diâmetro da espiga DE, matéria seca MS, massa de grãos MG, produtividade de grãos PG, teor de C e N na folha diagnose CBF; NBF, acúmulo de C e N na matéria seca CMS; NMS e acúmulo de C e N na produtividade dos grãos CPG; NPG sobre os grupos de plantas de cobertura: *CJ* *Crotalaria juncea*; *CS* *Crotalaria spectabilis*; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* *Mucuna preta*; *MC* *Mucuna cinza*; *P* Pousio 51
- Figura 11** - Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da cultura do milho 2019-2020, sendo as variáveis: população final PF, número de grãos por linha NGL, número de grãos por fileira NGF, comprimento da espiga CE, diâmetro da espiga DE, matéria seca MS, massa de grãos MG, produtividade de grãos PG, teor de C e N na folha diagnose CBF; NBF, acúmulo de C e N na matéria seca CMS; NMS e acúmulo de C e N na produtividade dos grãos CPG; NPG sobre os grupos de plantas de cobertura: *CJ* *Crotalaria juncea*; *CS* *Crotalaria spectabilis*; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* *Mucuna preta*; *MC* *Mucuna cinza*; *P* Pousio 52

Lista de Tabelas

- Tabela 1-** Valores médios entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada, para a produção de matéria seca MS, C, N total acumulado e relação C/N na parte aérea das plantas de cobertura, para as safras agrícolas 2018 e 2019.....25
- Tabela 2-** Valores médios do NF sobre as plantas de cobertura e adubação nitrogenada, para a produção de matéria seca MS, C, N acumulado e relação C/N na parte aérea das plantas de cobertura, para as safras agrícolas 2018 e 2019.26
- Tabela 3-** Valores médios da matéria seca remanescente das plantas de cobertura em (%) ao longo de 180 dias de alocação dos litters a campo, para as safras 2018 e 2019.....28
- Tabela 4-** Valores médios da matéria seca remanescente do NF sobre as plantas de cobertura em (%) ao longo dos 90 aos 180 dias de alocação dos litters a campo, para as safras 2018.31
- Tabela 5-** Desdobramento entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada, para o teor de N na folha diagnose NFD, relação C/N e acúmulo de N na matéria seca do milho CNMS, ACNMS, para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020.46
- Tabela 6-** Desdobramento da matéria seca MS, numero de grãos por linha NGL e comprimento da espiga CE da cultura do milho sucessor a plantas de cobertura e adubação nitrogenada nas safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2020.47
- Tabela 7-** Desdobramento do diâmetro da espiga DE massa e produtividade de grãos MG, PG da cultura do milho sucessor a plantas de cobertura e adubação nitrogenada nas safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2020.49
- Tabela 8 -** Desdobramento entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada, para o acúmulo de C e N na produção de grãos do milho ACCPG, ACNPG para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020.50

Lista de Anexos

- Tabela suplementar 1** - Relação C/N das plantas de cobertura ao longo do período de deposição do litter a campo nas safras 2018 e 2019. 67
- Tabela suplementar 2** - Relação C/N aos 120 e 150 Dias após a deposição dos litter bag a campo das plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020. 67
- Tabela suplementar 3** - Valores médios da matéria orgânica do solo MO em função das plantas de cobertura estivais e adubação de cobertura, com amostragens realizadas nas safras agrícolas de 2015 e 2017. 68
- Figura suplementar 1** - Produção de matéria seca das plantas de cobertura em 2018 e 2019. *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza. A letra “c” junto aos tratamentos significa com uso da adubação nitrogenada de 180 Kg ha⁻¹, a Letra “s” significa sem a adubação nitrogenada de cobertura 68

Lista de Acrônimos e Siglas

N	Nitrogênio
C	Carbono
C/N	Relação carbono nitrogênio
MS	Matéria seca
DAA	Dias após a alocação dos litter a campo
NF	Nabo Forrageiro
DAS	Dias após a semeadura
RMS	Matéria seca remanescente
MO	Matéria orgânica no solo
NFD	Nitrogênio na Folha Diagnose
mg dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico
cmol dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico
g dm ⁻³	Gramas por decímetro cúbico
g kg ⁻¹	Gramas por quilograma
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
%	Porcentagem
mm	Milímetros
m ²	Metros quadrados
cm	Centímetros
n ⁰	Número
g	Gramas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. ASSUNTO 1 - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO POR PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS À ADUBAÇÃO NITROGENADA	16
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.2.1. Localização e caracterização da área experimental.....	18
2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos	19
2.2.3. Instalação e condução do experimento.....	20
2.2.4. Avaliações nas plantas de cobertura.....	20
2.2.5. Avaliações no NF	21
2.2.6. Análises estatísticas	23
2.3. RESULTADOS	24
2.3.1. Produção de matéria seca, teores de C e N total acumulado e relação C/N das plantas de cobertura.....	24
2.3.2. Curva de decomposição e matéria seca remanescente das plantas de cobertura.....	26
2.3.3. Curva de decomposição e matéria seca remanescente do NF	29
2.3.4. Dinâmica de liberação de N acumulado pelas plantas de cobertura	31
2.3.5. Dinâmica de liberação de N acumulado pelo NF sobre as plantas de cobertura.....	33
2.3.6. Quantidade de N remanescente pelas plantas de cobertura.....	34
2.3.7. Quantidade de N remanescente pelo NF sobre as plantas de cobertura.....	35
2.4. DISCUSSÃO	36
2.4.1. Dinâmica de liberação de N acumulado pelas plantas de cobertura	38
2.4.2. Quantidade de N remanescente pelas plantas de cobertura.....	40
2.5. CONCLUSÕES.....	41
3. ASSUNTO 2 - RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO SOBRE PLANTAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO.....	42
3.1. INTRODUÇÃO.....	42
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.2.1. Localização da área experimental e caracterização do local.....	43
3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos	43
3.2.3. Instalação e condução do experimento.....	44
3.2.4. Avaliações na cultura do milho	44
3.2.5. Componentes de cálculos	45
3.2.6. Análises estatísticas	45
3.3. RESULTADOS	46
3.3.1. Teor de N na folha diagnose, relação c/n e acúmulo de N na matéria seca do milho.....	46

3.3.2. Componentes de produção da cultura do milho	47
3.3.3. Acúmulo de C e N nos grãos do milho.	49
3.3.4. Análise de componentes principais	50
3.4. DISCUSSÃO.....	52
3.4.1. Teor de N na folha diagnose, relação C/N e acúmulo de N na matéria seca do milho.....	52
3.4.2. Componentes de produtividade da cultura do milho.....	54
3.4.3. Acúmulo de C e N nos grãos do milho.	57
3.4.4. Análises de componentes principais (pca).	58
4. CONCLUSÕES.....	59
5. CONCLUSÕES GERAIS	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7. REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO GERAL

O processo de ocupação das áreas, bem como a rapidez na necessidade de produção de alimentos tem contribuído com o agravamento dos processos erosivos do solo, alterações nas características físicas, químicas e biológicas que, somadas a maior taxa de mineralização da matéria orgânica têm diminuindo conseqüentemente a fertilidade dos solos em diversas regiões agrícolas. Esta situação aliada a outros aspectos climáticos, como ocorrências de estiagem prolongada, temperaturas mínimas ou extremas, tem causado insegurança alimentar na população (CALEGARI, 2010).

Além disso, o uso equivocado de sistemas de manejo do solo elevou as pressões ambientais sobre o sistema solo, levando a riscos crescentes de sua capacidade de continuar desempenhando funções hídricas, energéticas, biodiversidade e outros serviços ecossistêmicos (BREVIK et al., 2015).

Conseqüentemente, a produção agrícola apresentou problemas, relacionados com a poluição das águas, degradação do solo, aumento da taxa de gases do efeito estufa, ocasionado perdas de biodiversidade (KIRCHMANN; THORVALDSSON, 2000).

Desta maneira, intensificou-se a concentração de medidas para possibilitar a alta produtividade das culturas e a conservação da qualidade do solo em áreas agrícolas, tais como: retenção de resíduos culturais (PITTELKOW et al., 2015), aumento de adições de palha pelas plantas (SADEGHI et al., 2015; TEJADA; BENÍTEZ, 2014), rotações de culturas diversificadas (ABDOLLAHI et al., 2015; PITTELKOW et al., 2015), e uso de sistemas de manejo conservacionista, como o plantio direto (KAHLON; LAL; ANN-VARUGHESE, 2013).

A adoção do sistema de plantio direto pelos agricultores pode ser atribuída a vantagens como redução do uso de combustível, mão de obra, economia de tempo e controle da erosão (LAL; REICOSKY; HANSON, 2007). Entretanto, nem todas as premissas básicas de manutenção, acúmulo de palha e rotação de culturas para a sustentabilidade do sistema foram adotadas por todos os agricultores (ERENSTEIN et al., 2012). As preocupações com a compactação excessiva do solo em áreas cultivadas ainda estão presentes em diferentes regiões agrícolas, como a América do Sul, do Norte, Ásia, Austrália e Europa (TUZZIN DE MORAES et al., 2016), principalmente em solos muito argilosos.

A compactação está diretamente relacionada com a manutenção da quantidade e qualidade de palhada no sistema. A maior quantidade de palha tem como característica a proteção do solo, influenciado de maneira positiva nos atributos físicos, químicos e biológicos

do solo. Promovendo desta forma a proteção contra intempéries com a diminuição da amplitude térmica, dos processos erosivos e da lixiviação de nutrientes, além de aumentar a retenção e infiltração de água, teor de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes no solo. A qualidade da palhada se relaciona com usos de espécies em sistemas consorciados, sucessivos, rotacionados ou mesmo em misturas de cultivares (mix), que apresentam distinções nos sistemas radiculares, produção de massa seca, acúmulo e ciclagem de nutrientes, além de variada manutenção no solo ao longo do tempo. A diversificação de cultivares está embasada nas características morfofisiológicas, possibilitando maior bioativação do solo e melhorando sua qualidade.

Conseqüentemente, a melhoria e conservação da qualidade do solo estão diretamente relacionadas com o teor de matéria orgânica e a taxa de decomposição dos resíduos. Logo o manejo com uso de plantas que possuam grande aporte de biomassa, em consórcio ou em rotação com as culturas de interesse comercial é uma boa estratégia no acúmulo de biomassa e sustentabilidade das áreas agrícolas (FAO, 2005), sendo importante recurso na cadeia de produção de várias culturas como milho, soja, feijão, arroz entre outras.

Diante do exposto, a utilização de plantas de cobertura é uma estratégia viável, pois garante vários benefícios ao sistema solo- planta, tais como redução da erosão (DERPSCH et al., 2014; TIECHER, 2016a), auxílio no controle de pragas e doenças das culturas, com incremento nos teores de matéria orgânica. Plantas de cobertura possuem características de produção de biomassa, assim possibilitando uma maior sustentabilidade do plantio direto, uma vez que nos trópicos e subtropicais são necessários adições anuais de 8 a 12 Mg ha⁻¹ de biomassa na superfície do solo (DERPSCH et al., 2014).

Os resíduos culturais são de extrema relevância, constituindo a principal forma de entrada e construção do C orgânico no solo, proporcionando acúmulo de N pela capacidade de fixação biológica das espécies Fabaceae, o que possibilita o incremento de outros nutrientes para as culturas em sucessão (TIECHER, 2016a). Além de favorecer no processo de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE) devido à redução da adubação nitrogenada, sequestro e aporte de C ao solo, bem como na proteção do solo, com menores alterações de aquecimento e resfriamento da superfície, fornecendo serviços ecossistêmicos adicionais (KAYE; QUEMADA, 2017) ao ambiente solo agrícola.

Assim, a busca na diminuição de insumos industrializados bem como a manutenção de forma sustentável dos sistemas de produção agrícola, é proposta com a utilização de plantas de cobertura. Neste cenário as plantas de cobertura sobre sistema plantio direto estimulam a atividade microbiológica do solo (MBUTHIA et al., 2015), aumentam a ciclagem de

nutrientes e o teor de matéria orgânica (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013). Melhoram a aquisição de nutrientes ou absorção de nutrientes adicionados (TELES et al., 2017), além de atuar nas propriedades físicas diminuindo a compactação (CALONEGO et al., 2017).

Contudo, a seleção de plantas de cobertura deve ser estabelecida pelas culturas que apresentem melhores características de produção e manutenção de resíduos, bem como disponibilização de N através da fixação biológica, possibilitando com isso a diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados. Determinados sistemas de sucessões de plantas como Fabáceas / Brássicas, representado pelas leguminosas de verão e Nabo forrageiro de inverno tem caracterizado a fixação e ciclagem de N no solo, resultando em maior disponibilidade do nutriente para a cultura em sucessão.

Assim, a hipótese desta pesquisa, é que o uso de plantas leguminosas (fixadoras de N) de ciclo estival (verão) e nabo forrageiro (inverno) para cobertura de solo possui a capacidade de realizar a fixação biológica de N, além da ciclagem de N, possibilitando produtividade do milho similar à obtida na presença de adubação nitrogenada de cobertura.

De acordo com o que foi elucidado, este estudo tem por objetivo avaliar as potenciais plantas de cobertura leguminosas estivais, cultivadas com e sem adubação nitrogenada de cobertura no milho, em sua capacidade de produção de matéria seca, quanto á taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos, bem como na produtividade da cultura do milho sucessor a estas espécies.

2. ASSUNTO 1 - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO POR PLANTAS DE COBERTURA ASSOCIADAS À ADUBAÇÃO NITROGENADA

2.1. INTRODUÇÃO

A conservação do solo tem sido apontada como um dos maiores desafios para a sustentabilidade dos ecossistemas (LAL, 2015). Tal fato está baseado na crescente população mundial e sua mudança no comportamento alimentar, mais exigentes na diminuição de insumos externos, bem como mínimos impactos ambientais na produção de alimentos, sob condições climáticas variáveis e extremas (PITTELKOW et al., 2015; TILMAN et al., 2011).

Deste modo, a manutenção da sustentabilidade em um sistema produtivo é promovida, com o uso de técnicas adequadas de fertilidade do solo, bem como métodos conservacionistas, que minimizem impactos sobre os recursos naturais (PORTUGAL et al., 2017a). Neste

contexto, com o intuito de mitigar o impacto ambiental, causado pelo uso errôneo dos sistemas de manejo do solo e aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuários, alternativas aos sistemas tradicionais de manejo foram propostos em condições tropicais brasileiras, baseado em sistemas conservacionistas com princípios básicos de rotação de culturas, mínimo revolvimento do solo e cobertura permanente (BÜCHI et al., 2018) que constituem o Plantio Direto (PD).

A adoção do PD apresenta vantagens, tais como: a diminuição no tempo de preparo da área, custos com combustíveis, manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de melhorar o acúmulo e infiltração de água no solo (LIENHARD et al., 2013; PALM et al., 2014; SAPKOTA et al., 2012; SOANE et al., 2012), possibilitando a manutenção dos resíduos orgânicos na superfície do solo, conseqüentemente limitando a taxa de decomposição.

Além disso, devido ao mínimo revolvimento do solo no sistema, com a inclusão de plantas de cobertura, ocorrem benefícios em especial no aumento de C orgânico do solo (ZOTARELLI et al., 2012), bem como a diminuição de processos erosivos, variações na temperatura superficial, melhoria na aeração e agregação do solo, ciclagem de nutrientes, fixação e redução da lixiviação de N (DE NOTARIS et al., 2018), fatores que estão relacionados como indicadores de qualidade do solo.

A introdução de plantas de cobertura sob os princípios de sucessão ou rotação promove o sequestro de C atmosférico para potencialmente ser acumulado no solo, possibilitando a manutenção da matéria orgânica (CHRISTOPHER POEPLAU, 2015). A matéria orgânica condiciona melhorias das características do solo, influenciando nos processos físicos, químicos e biológicos, estruturação dos agregados do solo ou na disponibilidade de nutrientes (LAL, 2015).

Em condições tropicais o uso de leguminosas estivais é uma alternativa para a fixação biológica de grandes quantidades de N, no entanto compete com as safras comerciais. Por outro lado, o uso de culturas de ciclo curto (crash crops) pode também ser uma alternativa para a adoção de plantas de cobertura nos sistemas agrícolas.

Com isso, a adoção de diferentes espécies deve ser avaliada, quanto à questão do seu aporte de produção de matéria seca, eficiência na cobertura, decomposição e liberação de nutrientes ao longo do tempo. Além disso, as plantas de ciclos curtos são uma boa possibilidade para utilização nos períodos em que a área se encontra em pousio (ZIECH et al., 2015).

Assim, a averiguação da composição química dos resíduos vegetais como sua relação C/N atua na dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes (MEDRADO et al., 2011). Os resíduos com alta relação C/N apresentam as menores labilidades do material, devido ao acúmulo de polímeros estruturais como lignina, celulose e hemicelulose, resultando em uma menor taxa de decomposição (DONEDA et al., 2012), apresentando mineralização do material em um longo espaço de tempo (RÜHLEMANN; SCHMIDTKE, 2016).

Diante do exposto, e considerando a importância e benefícios das plantas de cobertura em plantio direto, o presente estudo tem como hipótese de que o uso de plantas leguminosas (fixadoras de N) de ciclo estival (verão) para cobertura de solo em ausência de adubação nitrogenada pode possibilitar liberação de N similar ao necessário para a cultura do milho com aplicação de adubação nitrogenada mineral. Também leva em consideração que o uso de espécies de ciclo curto (catch crops) podem facilitar o processo de adoção de plantas de cobertura no sistema.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de plantas de cobertura leguminosas de verão e nabo forrageiro (catch crops), quanto à produção de matéria seca MS, C e N total acumulado, relação C/N, manutenção dos resíduos para proteção em superfície, liberação e quantidade de N remanescente durante dois anos agrícolas.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1. Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em área experimental pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, coordenadas geográficas (25°41'31.72"S, 53° 05'41.44"O) e 526 metros de altitude. O solo da área experimental foi classificado como Oxisol Rhodic Eutradox de acordo com (USDA, 2010), ou como Latossolo Vermelho, de acordo com (EMBRAPA, 2018) com textura muito argilosa (773 g kg⁻¹ de argila, 224 g kg⁻¹ de silte e 3g kg⁻¹ de areia). O clima é classificado de acordo com Köppen como Cfa (C - subtropical úmido, com mês mais frio entre 18 e -3°C; f = sempre úmido, com chuva em todos os meses do ano; a = verão quente, com temperatura do mês mais quente superior a 22 °C) (ALVARES et al., 2013).

Anteriormente à instalação do experimento a área estava sendo conduzida para a produção de grãos, com cultivo das culturas de soja, milho, trigo, aveia e feijão, sem a adoção um plano específico de rotação de culturas, apresentando as seguintes características químicas do solo na camada de 0,0-0,20 cm, pH= 5,3(CaCl₂); MO = 40,8(g dm⁻³); P= 4,3 (mg dm³);

$K= 0,2(\text{cmoldm}^3)$; $\text{Ca}^{2+}= 6,0(\text{cmoldm}^3)$; $\text{Mg}^{2+}= 2,8(\text{cmoldm}^3)$; $\text{H+Al}= 3,8(\text{cmoldm}^3)$; $\text{SB}= 9,0(\text{cmoldm}^3)$; $\text{CTC}= 13,0(\text{cmoldm}^3)$; Saturação por Bases = 70(%) (ZIECH et al., 2015).

Os dados climáticos durante a condução do experimento foram obtidos através da estação meteorológica INMET, representado pela (Fig.1).

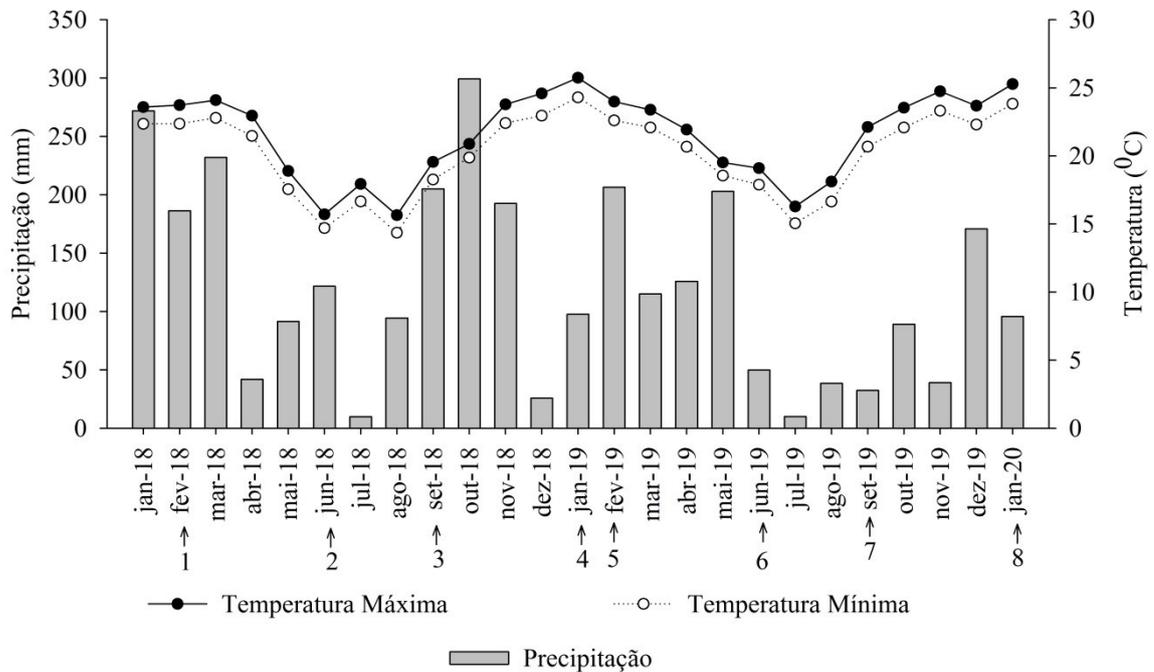


Figura 1 - Dados de precipitação pluvial, médias das temperaturas máxima, mínima durante a condução do experimento. Fonte: Inmet

*Obs. 1 e 5 - Plantio das plantas de cobertura (26/02/2018; 08/02/2019); 2 e 6 - Manejo das plantas de cobertura e semeadura do nabo forrageiro (19/06/2018 e 19/06/2019); 3 e 7 - Manejo do nabo forrageiro e semeadura do Milho (12/09/2018; 04/09/2019); 4 e 8- Colheita e avaliação do milho (28/01/2018 e 20/01/2019).

2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O início do experimento ocorreu em 2010 em plantio direto usando plantas de cobertura de ciclo estival (verão) e doses de N em cobertura na cultura do milho. O presente trabalho aborda avaliações das safras de outono/inverno de 2018/2019 e 2019/2020, quando o experimento possuía já mais de oito anos de condução. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial (7x2), com três repetições, constituído por sete espécies de plantas de cobertura estivais, nas parcelas principais de 50 m² (5 x 10m): 1. Crotalária juncea (CJ) (*Crotalaria juncea*); 2. Crotalária spectabilis (CS) (*Crotalaria spectabilis*); 3. Feijão de porco (FP) (*Canavalia ensiformes*); 4. Guandu anão (GA) (*Cajanus cajan*); 5. Lab

lab (LL) (*Dolichos lablab*); 6. Mucuna cinza (MC) (*Mucuna pruriens*); 7. Mucuna preta (MP) (*Mucuna aterrima*). As subparcelas de 25 m² (5m x 5m) referem-se à aplicação de N mineral (0 e 180 kg ha⁻¹), realizada manualmente em cobertura na cultura do milho, usando como fonte a ureia.

2.2.3. Instalação e condução do experimento

As sementeiras das plantas de cobertura foram realizadas após a colheita do milho nas datas de 26/02/2018 e 08/02/2019 com espaçamento de 0,45 m entre linhas, com as seguintes densidades de sementes: 25, 12, 100, 50, 50, 80, 60 kg ha⁻¹ para cada espécie de plantas de cobertura CJ, CS, FP, GA, LL, MC, MP, respectivamente, sem adição de adubações de base nem de cobertura ou inoculação das sementes. Entretanto, devido a problemas de estande na CJ (atribuídos a doenças), a cultura não foi avaliada em 2019.

As plantas foram conduzidas até o estágio de florescimento, quando foram manejadas com rolo faca acoplado a semeadora. Desta forma em uma única operação foi realizado o manejo das plantas de cobertura (sem o uso de qualquer tipo de herbicidas), e a sementeira em linha do NF, com densidade de sementes de 15 Kg ha⁻¹ e espaçamento de 0,45m entre linhas, realizado nas datas de 19/06/2018 e 19/06/2019 com ressemeadura em 05/07/2019 (devido a problemas com geadas e disponibilidade hídrica), em todas as parcelas, exceto no pousio.

A cultura do milho foi semeada na primeira quinzena de setembro nas datas de 12/09/2018 e 04/09/2019 de forma mecanizada, em um espaçamento de 0,45 m entrelinhas, do híbrido Agoceres vt pro 3 Ag8780®, sendo a adubação de sementeira de 585 kg ha⁻¹ do formulado 02-18-18. Para os dois anos foram utilizados 3,6 sementes por metro linear, com uma população estimada de 80 mil plantas ha⁻¹, sobre a palhada das plantas de cobertura e do NF antecessor. A adubação nitrogenada de cobertura, nas subparcelas, foi realizada manualmente, em dose única (180 Kg ha⁻¹ de N mineral) sobre condições adequadas de umidade utilizando como fonte a ureia (45% de N).

2.2.4. Avaliações nas plantas de cobertura

As plantas de cobertura leguminosas foram coletadas quando todas as espécies apresentavam estágio de florescimento, aos 107 (13/06/2018) e 120 (08/06/2019) DAS para as safras 2018/19 e 2019/20, com emprego de um quadro metálico com dimensões de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²), para avaliação da produção de massa verde da parte aérea. O material foi

seco em estufa a 65°C até massa constante, moído e determinado os teores de C e N dos tecidos, por digestão e destilação semi-micro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) para N total e o conteúdo de C orgânico determinado pela metodologia de Yeomans e Bremner, (1988).

Para avaliação da decomposição dos resíduos vegetais e liberação de N das plantas de cobertura leguminosas, foram confeccionadas oito bolsas de decomposição (*Litter bags*) para cada unidade experimental (subparcelas) (BOCOCK; GILBERT, 1957), com tecido *voil* de malha inferior a 1 mm, e dimensões de 0,2 m x 0,2 m. Nas bolsas, foram adicionados os materiais vegetais previamente secos em estufa, fragmentados em partes de aproximadamente 10 cm, em quantidade proporcional a MS produzida a campo por cada espécie vegetal. Uma amostra de material de cada unidade experimental foi armazenado em local seco e protegido (tempo zero). As oito bolsas de decomposição foram depositadas na superfície do solo, correspondente a sua unidade experimental de origem, logo após a semeadura do NF nas datas de 21/06/2018 e 20/06/2019. Contudo, devido a problemas de estande do NF em 2019 as bolsas foram retiradas e recolocadas após a ressemeadura do NF na data de 05/07/2019. As bolsas de decomposição restantes das plantas de cobertura também foram retiradas, e realocadas em suas unidades experimentais de origem logo após a semeadura do milho na data de 12/09/2018 e 04/09/2019.

As coletas das bolsas foram realizadas em intervalos regulares de tempo, correspondente aos 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180 dias após a alocação a campo (DAA). O material vegetal foi seco em estufa de ventilação forçada por 48 horas, à temperatura de 55°C. A matéria seca remanescente (RMS) foi determinada através de balança semi-analítica, mediante a mensuração da massa de cada bolsa (*Litter bags*), entre os momentos de alocação e retirada do campo. Após a moagem do material vegetal, foi determinado o conteúdo de C (YEOMANS; BREMNER, 1988) e N total remanescente (TEDESCO et al., 1995).

2.2.5. Avaliações no NF

As mesmas metodologias usadas nas plantas de cobertura foram adotadas nas avaliações do NF. Ou seja, a cultura foi coletada em estágio de florescimento da espécie, (10/09/2018) e (02/09/2019) para as safras 2018/19 e 2019/20, antecedendo a semeadura do milho, com emprego de um quadro metálico com dimensões de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²), para avaliação da produção de massa verde da parte aérea. O material foi seco em estufa a 65°C até massa constante, moído e determinado os teores de C e N dos tecidos, por digestão e destilação

semi-micro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) para N total e o conteúdo de C orgânico determinado pela metodologia de Yeomans e Bremner, (1988).

Para avaliação da decomposição dos resíduos vegetais e liberação de N do NF somente foi realizada em 2018, devidos aos problemas com geadas e disponibilidade hídrica ocorrida em 2019. Para tanto, foram confeccionadas quatro bolsas de decomposição para cada unidade experimental (*Litter bags*) (BOCOCK; GILBERT, 1957), com tecido *voil* de malha inferior a 1 mm, e dimensões de 0,2 m x 0,2 m. Nas bolsas, foram adicionados os materiais vegetais previamente secos em estufa, fragmentados em partes de aproximadamente 10 cm, em quantidade proporcional a MS produzida a campo. Uma amostra de material de cada unidade experimental (subparcela) foi armazenado em local seco e protegido (tempo zero). As quatro bolsas de decomposição foram depositadas na superfície do solo, correspondente as suas unidade experimental de origem, logo após a semeadura do milho na data de 12/09/2018. Contudo, devido a problemas de estande e baixo quantidade de matéria seca do NF em 2019, não foram confeccionadas bolsas de decomposição neste ano.

As coletas das bolsas foram realizadas em intervalos de tempo, correspondente aos 30, 45, 60, 90 dias após a alocação a campo dos *Litters bags* de NF (DAA), e correspondente de forma concomitante aos 120, 135, 150 e 180 dias após a alocação a campo (DAA) dos *Litters bags* das plantas de cobertura leguminosas. O material vegetal do NF foi seco em estufa de ventilação forçada por 48 horas, à temperatura de 55⁰C. A RMS foi determinada através de balança semi-analítica, mediante a mensuração do peso de cada bolsa (*Litter bags*), entre os momentos de alocação e retirada do campo. Após a moagem do material vegetal, foi determinado o conteúdo de C (Yeomans; Bremner, 1988) e N total remanescente (TEDESCO et al., 1995).

Com intuito de monitorar as condições climáticas e retiradas das bolsas de decomposição foram registrados os dados de precipitação pluviais e médias das temperaturas a cada intervalo de coleta (Fig. 2).

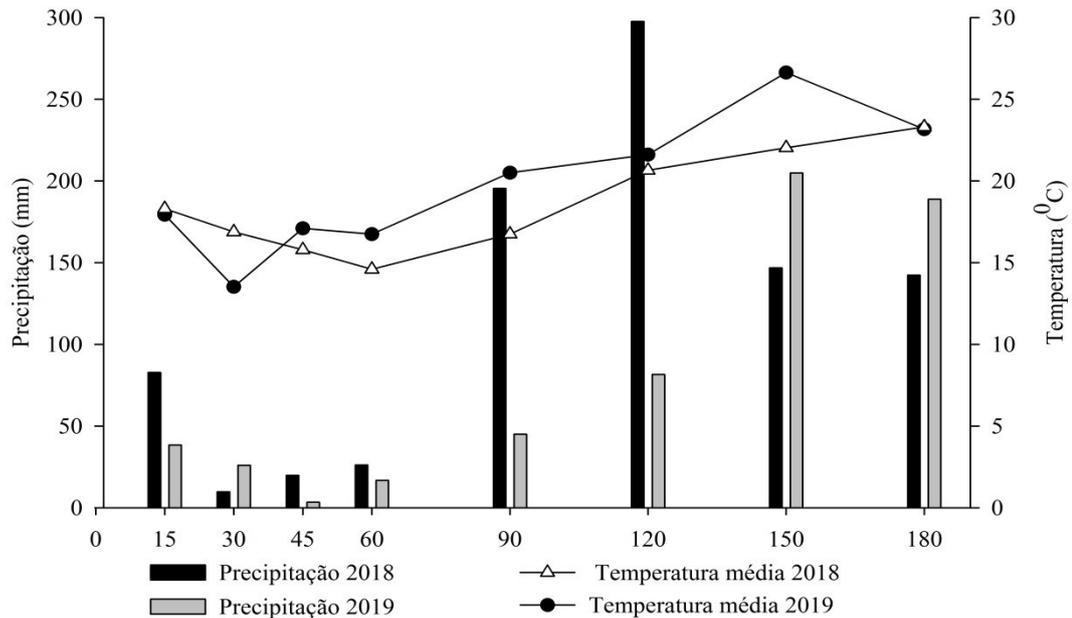


Figura 2 - Precipitação pluvial e temperatura média do ar em cada intervalo de coleta dos sacos de decomposição (*litter bag*) durante o período em que permaneceram no campo. 2018- (19/06/2018 até 28/01/2019) e 2019- (19/06/2019 até 20/01/2019).

2.2.6. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias através do teste de Bartlett ($P > 0,05$), e normalidade das variâncias através do teste de Shapiro Wilk ($P > 0,05$). Com os pressupostos atendidos, foram então submetidos ao teste de análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). O efeito das plantas de coberturas de verão (leguminosas) e inverno (*catch crops*) e adubação nitrogenada sobre a matéria seca das plantas de cobertura e o acúmulo de C e N em sua fitomassa foram comparados pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). Os dados referentes à RMS foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$), com as médias dos tratamentos em cada período de coleta (*litter bag*) comparadas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R; CORE; TEAM, 2020). As curvas de RMS e remanescente (RN), foram ajustadas ao modelo não linear de regressão, com parâmetro matemático de decaimento exponencial [$y = y_0 + a \cdot \exp(-b \cdot x)$], enquanto que a liberação de N pelas plantas de cobertura de verão foram aplicadas a análise de regressão não linear, com modelo matemático exponencial

tendendo ao máximo [$y=a*(1-\exp(-b*x))$], já a liberação de N do NF foi ajustado ao modelo exponencial tendendo ao máximo [$y= y_0+a*(1-\exp(-b*x))$] através do uso do programa SigmaPlot® 11.0.(SYSTAT, 2008).

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Produção de matéria seca, teores de C e N total acumulado e relação C/N das plantas de cobertura.

Ao compararmos os anos de avaliação percebe-se que somente a CS obteve maior produção de MS no ano 2018 em relação a 2019 (Fig 3). Enquanto em 2019 o FP e GA superaram as produções obtidas pelos mesmos sistemas no ano anterior. Assim, percebe-se que os sistemas tiveram os maiores produtividades de MS em 2019. Também em 2019 ocorreu diferenciação na produtividade de MS entre as plantas de cobertura, com maiores valores obtidos no sistema com FP, seguidos por GA e MC (Tabela 1).

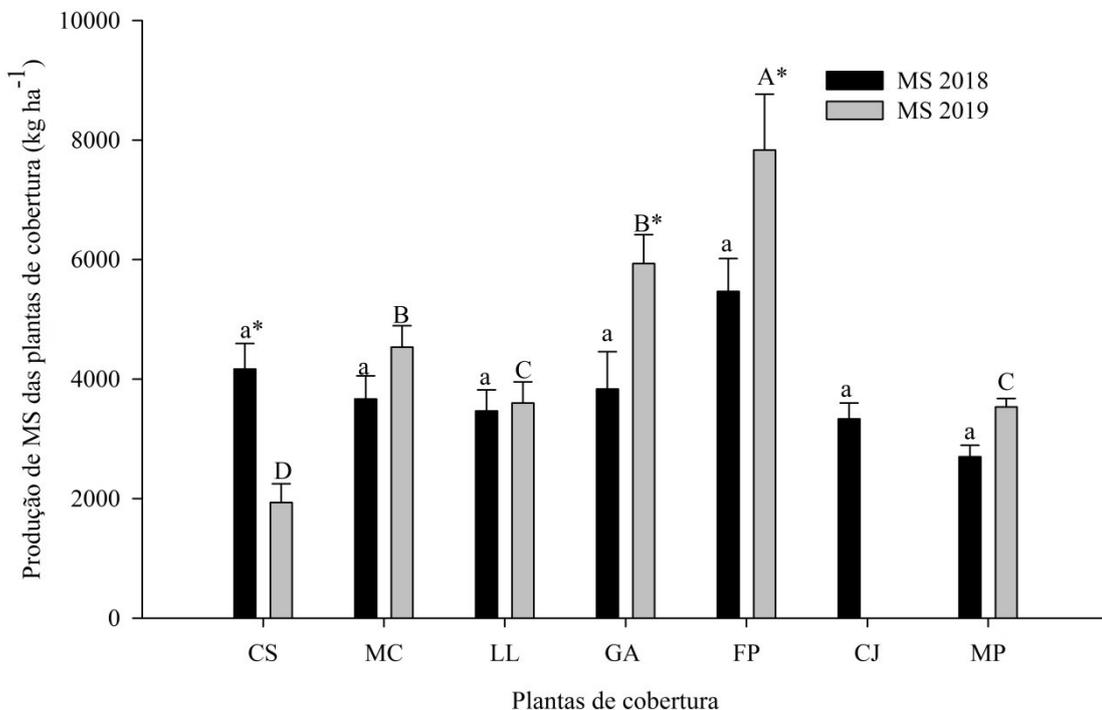


Figura 3 - Produção de matéria seca das plantas de cobertura em 2018 e 2019. Letras minúsculas se referem ao ano de 2018 e maiúsculas ao ano de 2019. Médias de letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-knott ($p>0,05$). O * é atribuído à diferença significativa entre os anos de avaliação. CJ = Crotalária juncea; CS = Crotalária spectabilis; FP = Feijão de porco; GA= Guandu anão; LL= Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza.

Os maiores acumulados de C na parte aérea são associados também a uma maior produtividade de MS. Em 2018, somente a MP se destacou entre as espécies com menores valores obtidos. Já em 2019 as espécies obtiveram acumulados de C distintos entre si, sendo os maiores valores obtidos para o FP e GA (Tabela 1). A adubação nitrogenada de cobertura aplicada no milho proporcionou os maiores acúmulos de C na média das plantas de cobertura em 2018, porém não obtendo efeito em 2019.

Em relação ao N na biomassa das plantas de cobertura o sistema com FP obteve os maiores acumulados (147 e 190 kg ha⁻¹) respectivamente entre os anos de avaliação, seguindo pelos sistemas MC e CS (107 e 97 kg ha⁻¹) em 2018 e pelos sistemas GA (137 kg ha⁻¹) em 2019 (Tabela 1).

Tabela 1- Valores médios entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada, para a produção de matéria seca MS, C, N total acumulado e relação C/N na parte aérea das plantas de cobertura, para as safras agrícolas 2018 e 2019.

Causas da Variação		MS	C	N	C/N
		-----(kg ha⁻¹)-----			
2018					
Plantas de cobertura PC	CJ	3333,3	1414,5a	46,5c	33,2a
	CS	4166,6	1588,8a	97,1b	21,6b
	FP	5466,7	2205,0a	147,9a	16,5b
	GA	3833,3	1645,0a	83,0c	21,6b
	LL	3466,7	1394,2a	77,0c	19,6b
	MC	3666,6	1485,6a	107,8b	16,5b
	MP	2700,0	1130,6b	67,6c	18,7b
Adubação Nitrogenada N	0 N	3504,7	1412,1b	79,9b	21,4
	180 N	4104,7	1691,7a	99,20a	20,5
Valor de F	PC	3,9 ^{ns}	3,3*	11,3**	15,0**
	N	4,2 ^{ns}	5,1*	4,9*	0,4 ^{ns}
	PC*N	1,3 ^{ns}	1,3 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,8 ^{ns}
2019					
Plantas de cobertura PC	CS	1933,3d	783,4c	50,0c	16,7
	FP	7833,3a	3112,6a	190,8a	19,4
	GA	5933,3b	2552,4a	137,3b	20,2
	LL	3600,0c	1420,5c	75,4c	19,6
	MC	4533,3b	1874,6b	104,0c	19,3
	MP	3533,3c	1440,0c	78,7c	21,5
Adubação Nitrogenada N	0 N	3628,5	1477,9	83,6	16,8
	180 N	4190,4	1717,4	98,2	16,5
Valor de F	PC	24,5**	22,1**	21,7**	4,2 ^{ns}
	N	3,3 ^{ns}	3,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}
	PC*N	0,6 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,8 ^{ns}	2,4 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais na coluna dentro do mesmo ano não se diferem pelo teste de Scott-knott ($p > 0,05$). CJ = Crotalaria juncea; CS = Crotalaria spectabilis; FP = Feijão de porco; GA = Guandu anão; LL = Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza; 0N = sem N; 180N = com N.

A relação C/N das plantas de cobertura pode ser considerada como parâmetro para uma maior ou menor taxa de decomposição das culturas de cobertura, somente foi obtida diferença em 2018 com valores superiores para a CJ (Tabela 1).

O cultivo do NF sobre as plantas de cobertura de verão somente apresentou diferença no ano de 2018, com os maiores acumulados de C e N pelo uso da adubação de cobertura no milho (Tabela 2).

Tabela 2- Valores médios do NF sobre as plantas de cobertura e adubação nitrogenada, para a produção de matéria seca MS, C, N acumulado e relação C/N na parte aérea das plantas de cobertura, para as safras agrícolas 2018 e 2019.

Causas da Variação		MS	C	N	C/N
		----- (kg ha⁻¹) -----			
2018					
Plantas de cobertura PC	NF/CJ	2600,0	1097,3	60,5	18
	NF/CS	2366,7	913,2	64,0	14
	NF/FP	2666,7	1070,0	67,7	16
	NF/GA	2166,7	908,1	55,3	18
	NF/LL	3100,0	1240,3	80,2	16
	NF/MC	2633,3	1080,0	73,3	14
	NF/MP	3133,3	1403,8	77,5	18
Adubação Nitrogenada N	0 N	2457,1	992,2b	61,42b	17
	180 N	2876,2	1211,6a	75,28a	16
Valor de F	PC	0,84 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,27 ^{ns}
	N	4,02 ^{ns}	5,63*	4,77*	0,84 ^{ns}
	PC*N	1,02 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,24 ^{ns}
2019					
Plantas de cobertura PC	NF/CS	1711,2	637,3	40,0	19
	NF/FP	1228,8	477,0	26,3	19
	NF/GA	1265,5	482,3	28,3	19
	NF/LL	1181,0	469,8	23,5	20
	NF/MC	953,0	385	18,7	21
	NF/MP	1041,5	421	20,3	21
Adubação Nitrogenada N	0 N	1184,4	465,5	24,7	20
	180 N	1297,3	499,7	28,1	19
Valor de F	PC	3,52 ^{ns}	3,41 ^{ns}	4,04 ^{ns}	1,85 ^{ns}
	N	0,61 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,48 ^{ns}
	PC*N	0,44 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,17 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais na coluna dentro do mesmo ano não se diferem pelo teste de Scott-knott ($p > 0,05$). NF/CJ = Nabo forrageiro sobre Crotalaria juncea; NF/CS = Nabo forrageiro sobre Crotalaria spectabilis; NF/FP = Nabo forrageiro sobre Feijão de porco; NF/GA = Nabo forrageiro sobre Guandu anão; NF/LL = Nabo forrageiro sobre Lab lab; NF/MP = Nabo forrageiro sobre Mucuna preta; NF/MC = Nabo forrageiro sobre Mucuna cinza; 0N = sem N; 180N = com N.

2.3.2. Curva de decomposição e matéria seca remanescente das plantas de cobertura

As plantas de cobertura apresentaram massas secas remanescentes distintas entre as espécies e semelhantes entre os anos de avaliação ao longo dos 180 DAA, (Fig. 4 A e B), apresentando um período de rápida redução inicial nas quantidades de RMS, seguida por outro mais lento no decorrer do estudo (Fig. 4 C e D), (Tabela 3).

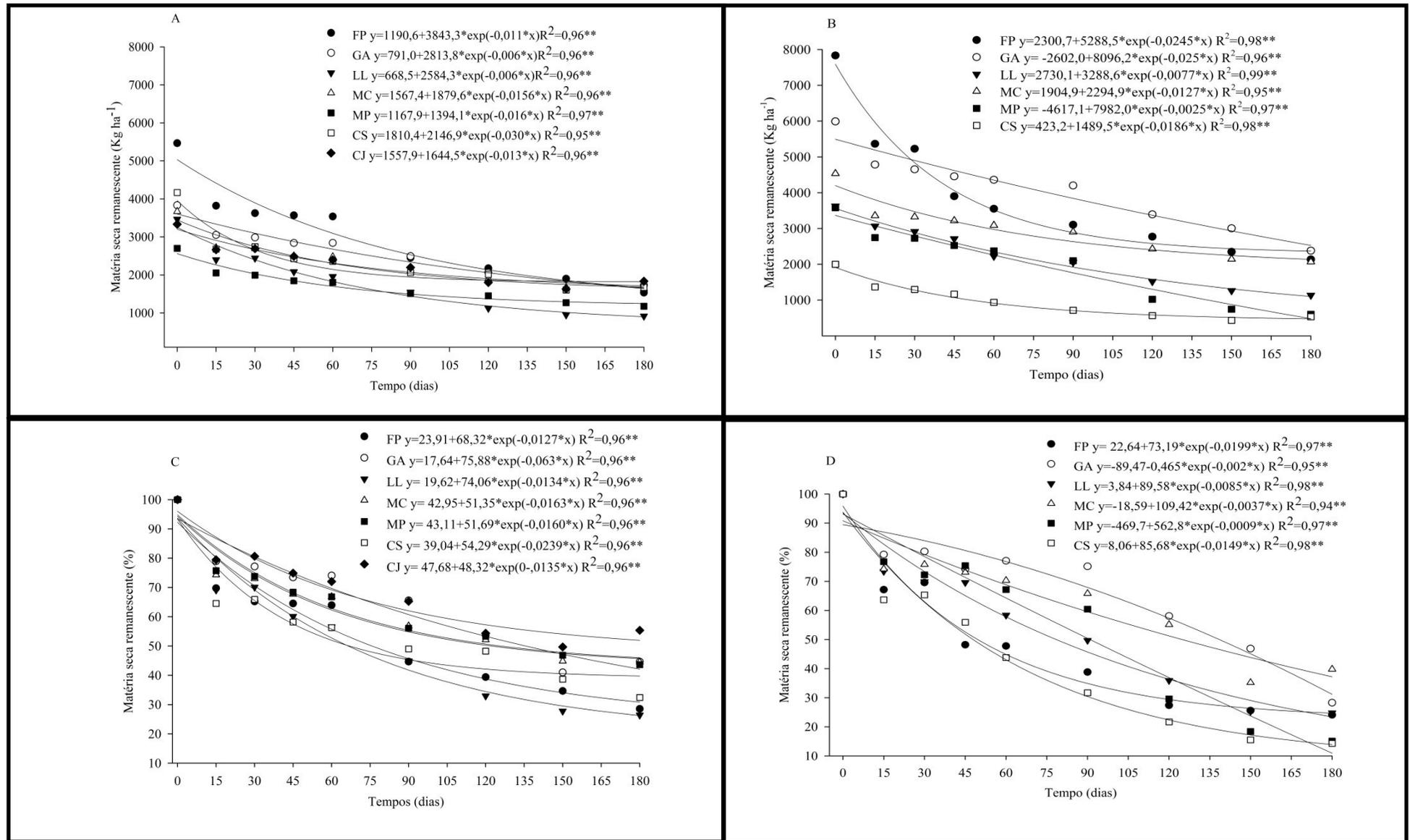


Figura 4 - Matéria seca remanescente das plantas de cobertura estivais (kg ha^{-1} e %) ao longo de 180 dias de decomposição, para as safras agrícolas 2018 (A,C) e 2019 (B,D). CJ = Crotalária juncea; CS = Crotalária spectabilis; FP = Feijão de porco; GA= Guandu ano; LL= Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza.

Mesmo com aumento da temperatura e volumes pluviométricos observados a partir dos 90 DAA nos dois anos de avaliação (Fig. 2), as menores RMS foram obtidas no período de 15 DAA. Na safra 2018, os materiais que apresentaram menores porcentagens de matéria seca remanescente neste período, foram o CS, LL, FP, CJ e MC o que de acordo com a figura 4C representa 69, 71, 72, 73 e 75% respectivamente. Por outro lado, as maiores quantidades de matéria seca remanescente foram atribuídas ao GA e MP, restando 82 e 76% do material sobre a superfície do solo aos 15 DAA (Tabela 3).

Tabela 3- Valores médios da matéria seca remanescente das plantas de cobertura em (%) ao longo de 180 dias de alocação dos litteres a campo, para as safras 2018 e 2019.

Causas da Variação	Dias após a alocação dos litteres a campo								
	15	30	45	60	90	120	150	180	
2018									
Plantas de cobertura PC	CJ	73,1b	72,8b	71,6a	64,9b	58,0b	51,1a	43,1a	37,3a
	CS	69,9b	66,1c	58,4c	56,2c	48,9c	48,2a	38,6b	34,4a
	FP	72,0b	68,1c	63,9c	63,9b	44,6c	39,3b	34,6b	28,5b
	GA	82,2a	79,2a	75,5a	73,7a	67,6a	55,8a	55,7a	46,8a
	LL	71,2b	69,5c	60,1c	55,0c	44,9c	32,9c	25,5b	26,4b
	MC	75,1b	72,2b	68,5b	65,6b	56,8b	51,4a	44,8a	40,7a
	MP	76,8a	73,6b	68,3b	66,8b	56,4b	52,0a	46,8a	43,4a
Adubação Nitrogenada N	0 N	68,8	66,1	60,6	58,3	50,0	42,4	36,6	33,3
	180 N	70,1	67,5	62,4	60,4	50,9	45,3	40,9	35,3
Valor de F	PC	59,3**	77,8**	45,7**	47,3**	30,0**	27,5**	8,1**	7,1**
	N	0,5 ^{ns}	1,0 ^{ns}	2,2 ^{ns}	2,9 ^{ns}	0,1 ^{ns}	4,0 ^{ns}	2,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}
	PC*N	1,0 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,2 ^{ns}	3,0 ^{ns}
2019									
Plantas de cobertura PC	CS	63,9	63,2	55,9b	43,8b	31,6b	23,3b	15,4b	11,4b
	FP	71,9	73,0	53,4b	52,2b	42,0b	33,2b	26,6b	24,0a
	GA	83,1	82,9	78,7a	76,0a	72,4a	57,0a	46,8a	28,2a
	LL	73,4	69,8	69,5a	58,3b	48,4b	35,9b	25,3b	24,7a
	MC	75,0	75,8	70,5a	70,7a	67,1a	55,1a	35,2a	31,2a
	MP	76,7	76,0	71,1a	67,1a	59,8a	29,5b	18,4b	15,0b
Adubação Nitrogenada N	0 N	75,6	72,7	65,9	58,3	52,3	43,1a	30,0	23,3
	180 N	72,6	74,7	67,6	64,4	54,8	34,9b	25,6	21,5
Valor de F	PC	1,9 ^{ns}	1,6 ^{ns}	7,3*	6,5**	11,9**	8,9**	6,6**	4,0*
	N	1,4 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}	5,1*	1,8 ^{ns}	0,2 ^{ns}
	PC*N	3,5 ^{ns}	6,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais nas colunas dentro de cada ano não se diferem pelo teste de Scott-knott ($p > 0.05$). CJ = Crotalaria juncea; CS = Crotalaria spectabilis; FP = Feijão de porco; GA = Guandu anão; LL = Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza; 0N = sem N; 180N = com N.

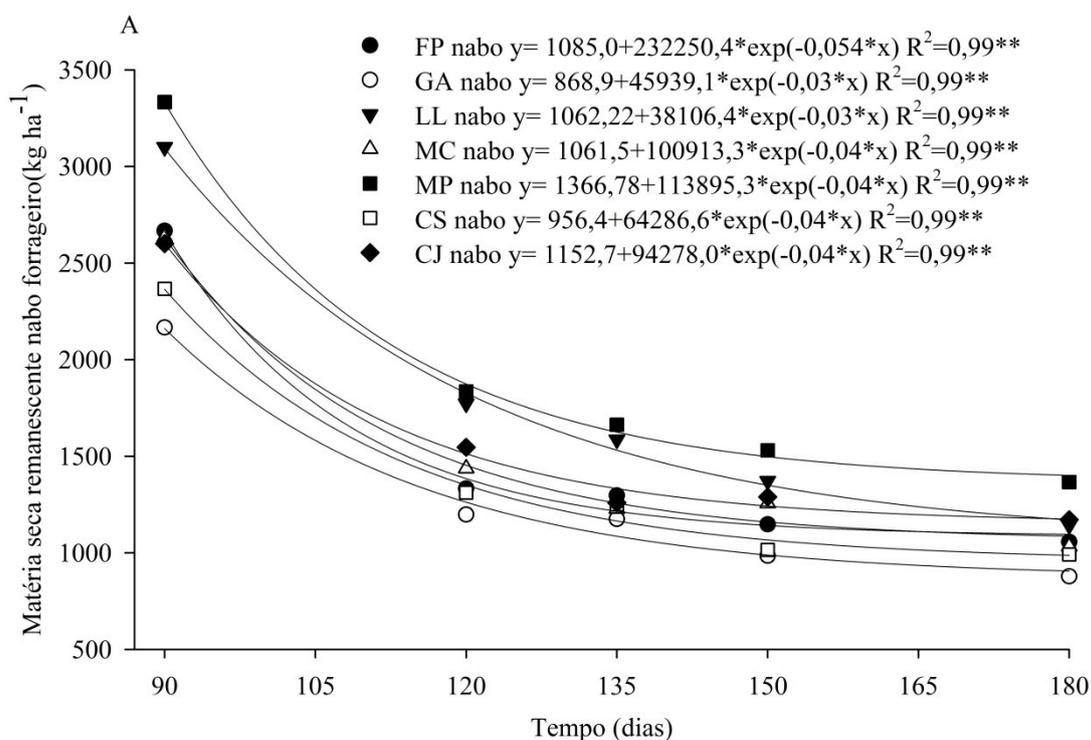
Dinâmica semelhante foi observada na safra de 2019, onde no período de 15 DAA apresentaram os menores valores no RMS. Entretanto, sem a diferenciação significativa entre as espécies neste período (Tabela 3).

Em 2018, ao longo do período de 120 a 180 DAA, as maiores manutenções dos resíduos sobre a superfície do solo foram observadas para as espécies CJ, CS, GA, MC,

MP, exceto para a CS aos 150 DAA, sendo que aos 120 DAA aproximadamente metade da matéria seca inicial ainda permanecia na superfície do solo, restando 51, 48, 55, 51, 52% respectivamente (Tabela 3). No ano seguinte, no mesmo período foi obtida dinâmica semelhante somente para GA e MC, aos 120 DAA aproximadamente metade dos resíduos permanecia sobre o solo, restando 57 e 55% respectivamente (Tabela 3).

2.3.3. Curva de decomposição e matéria seca remanescente do NF

O NF apresentou quantidades de matéria seca similares sobre as culturas de cobertura de verão nos dois anos de avaliação (Tabela 2), o mesmo fato ocorreu na dinâmica de RMS sobre as plantas de cobertura de verão em 2018 (Fig. 5A), expressando uma redução rápida dos resíduos seguida de um período mais lento.



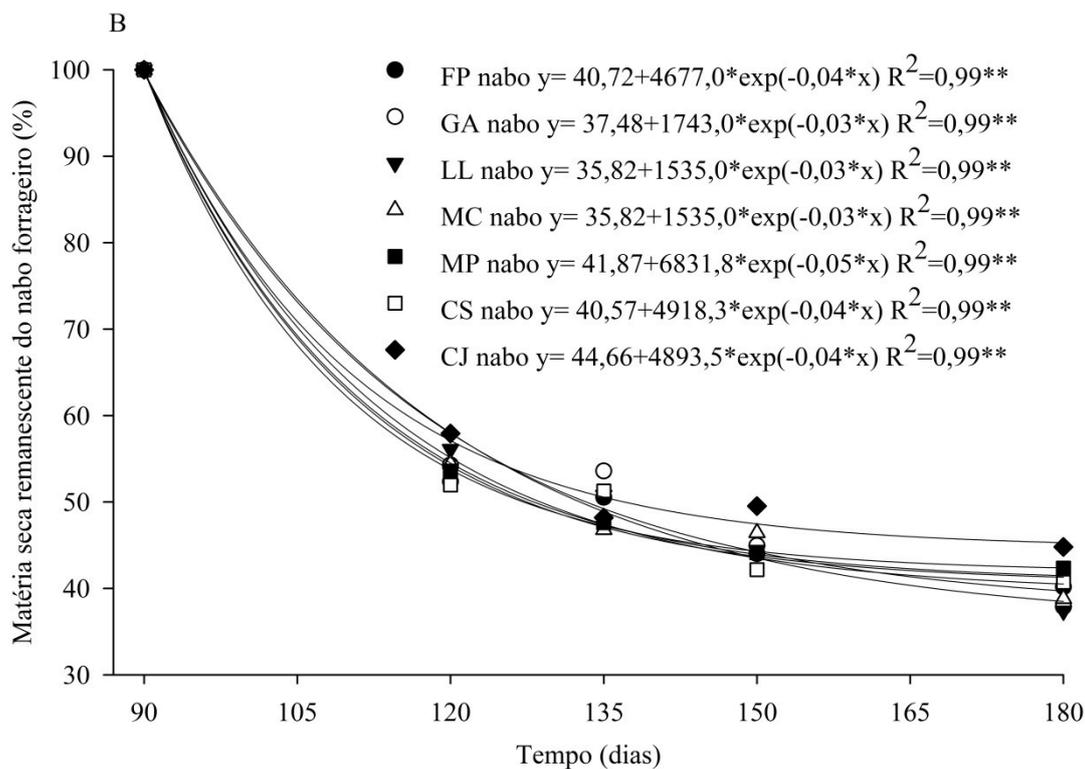


Figura 5 - Matéria seca remanescente do nabo forrageiro sobre as plantas de cobertura estivais (kg ha^{-1} e %) ao longo de 90 dias de decomposição, para a safra agrícola de 2018(A, B). CJ nabo= Crotalária juncea antecessor ao nabo; CS nabo = Crotalária spectabilis antecessor ao nabo; FP nabo = Feijão de porco antecessor ao nabo; GA nabo= Guandu anão antecessor ao nabo; LL nabo= Lab lab antecessor ao nabo; MP nabo = Mucuna preta antecessor ao nabo; MC nabo= Mucuna cinza antecessor ao nabo.

Aos 30 DAA de alocação dos litteres de NF, e aos 120 DAA de alocação dos litteres das plantas de cobertura. Praticamente metade dos resíduos de NF permaneciam na superfície do solo (Tabela 4), sendo que a variação em porcentagem foi de 51 a 58% para os resíduos de NF sobre as culturas de CJ e CS, respectivamente (Fig. 5B).

Tabela 4- Valores médios da matéria seca remanescente do NF sobre as plantas de cobertura em (%) ao longo dos 90 aos 180 dias de alocação dos litters a campo, para as safras 2018.

Causas da Variação	Dias após a alocação dos litters a campo				
	120	135	150	180	
	2018				
Plantas de cobertura PC	NF/CJ	58,0	48,3	47,3	45,1
	NF/CS	51,8	51,2	42,2	40,8
	NF/FP	52,3	50,5	43,8	40,1
	NF/GA	54,3	53,7	45,0	37,8
	NF/LL	56,2	50,5	44,5	37,3
	NF/MC	54,7	46,6	45,0	38,6
	NF/MP	53,7	47,7	44,1	42,3
Adubação Nitrogenada N	0 N	53,9	51,3	45,5	40,1
	180 N	54,9	48,3	44,5	40,5
Valor de F	PC	0,70 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,18 ^{ns}	1,14 ^{ns}
	N	0,14 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,04 ^{ns}
	PC*N	0,77 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,28 ^{ns}

Médias seguidas de letras iguais na coluna dentro do mesmo ano não se diferem pelo teste de Scott-knott ($p > 0,05$). NF/CJ = Nabo forrageiro sobre Crotalaria juncea; NF/CS = Nabo forrageiro sobre Crotalaria spectabilis; NF/FP = Nabo forrageiro sobre Feijão de porco; NF/GA= Nabo forrageiro sobre Guandu anão; NF/LL= Nabo forrageiro sobre Lab lab; NF/MP = Nabo forrageiro sobre Mucuna preta; NF/MC = Nabo forrageiro sobre Mucuna cinza; 0N = sem N; 180N = com N.

2.3.4. Dinâmica de liberação de N acumulado pelas plantas de cobertura

A taxa de liberação de N acumulado nas duas safras ao longo de 180 DAA (Fig. 6 A e B) apresentou desempenho proporcional à quantidade de matéria seca MS produzida e descomposta ao longo do tempo (Fig. 4 A e B). Ou seja, ocorreu uma rápida liberação inicial de N, seguida de uma fase mais lenta de liberação do nutriente dos tecidos das plantas de cobertura. Nos primeiros 15 DAA as plantas de cobertura proporcionaram liberação de N variando de 12 (CJ) a 38 (FP) kg ha⁻¹ em 2018 e de 8 (LL) a 70 (FP) kg ha⁻¹ em 2019 (Fig. 6 A e B).

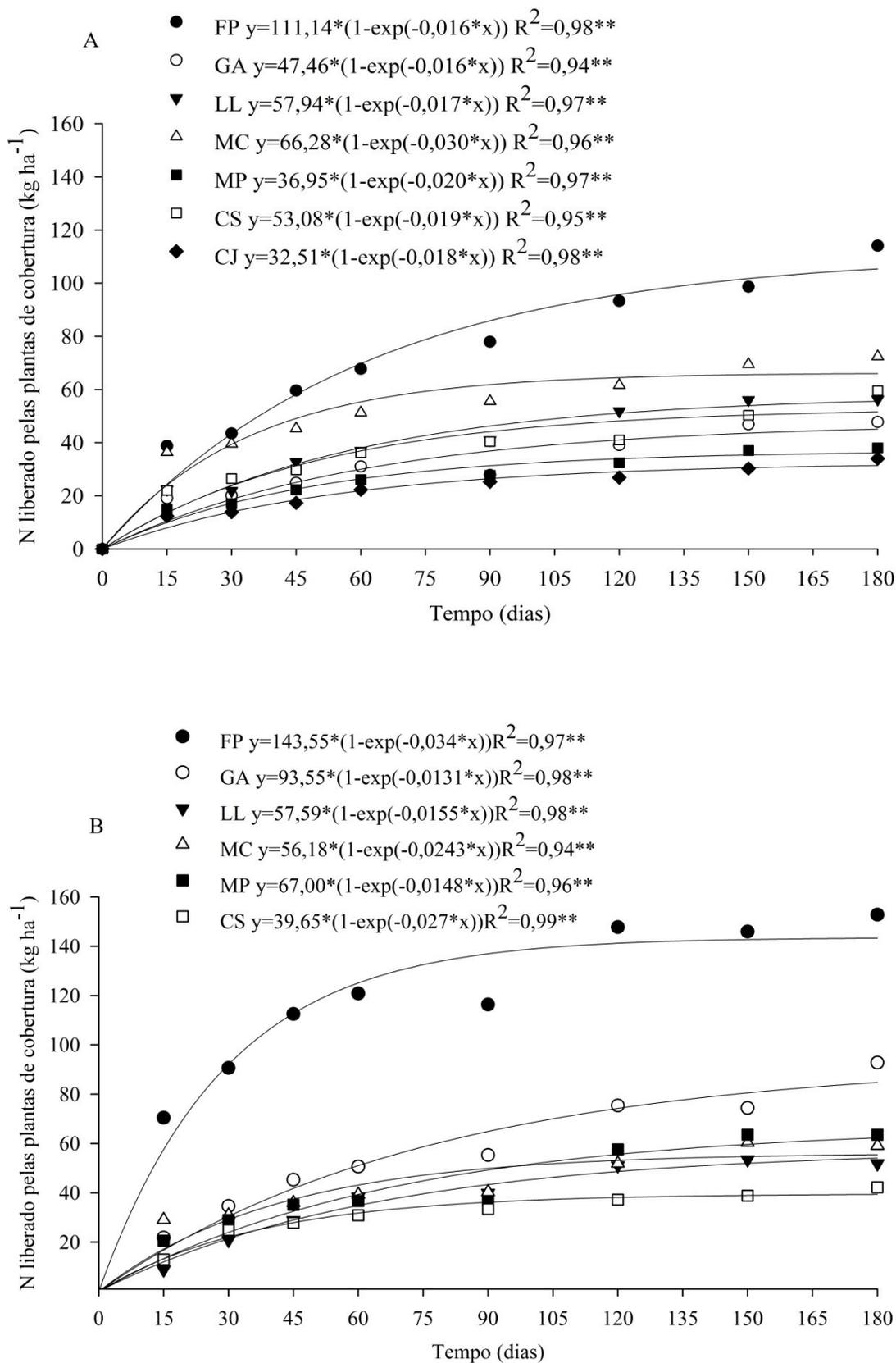


Figura 6 - Liberação acumulada de N (kg ha^{-1}), pelas plantas de cobertura estivais ao longo de 180 dias de decomposição, para o ano de 2018 (A) e 2019 (B). CJ = Crotalaria juncea; CS = Crotalaria spectabilis; FP = Feijão de porco; GA= Guandu anão; LL= Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza.

Os maiores teores de N liberado foram obtidos pelo FP nas duas safras avaliadas, e este resultado ocorre ao longo dos 180 DAA de avaliação. Em nosso estudo constatamos que, a maior taxa de extração de N pela cultura do milho esteve associada com a liberação de N aos 120 a 150 DAA, período em que é definido o número grãos por fileiras e espigas, bem como o potencial de produção da cultura. Momento em que o FP obteve médias de liberação acumulada de N de 93 e 147 Kg ha⁻¹ aos 120 DAA, e de 98 e 149 Kg ha⁻¹ aos 150 DAA, respectivamente para as safras 2018 e 2019 (Fig. 6 A e B).

2.3.5. Dinâmica de liberação de N acumulado pelo NF sobre as plantas de cobertura

A ciclagem de N pela cultura do NF em 2018 demonstrou-se bastante acelerada no início da decomposição, ou seja, ocorreu uma rápida liberação inicial de N, seguida de uma fase mais lenta de liberação do nutriente dos tecidos do NF. Nos primeiros 30 DAA, após o manejo a cultura e aos 120 DAA das plantas de cobertura, proporcionou liberação de N variando de 35 e 60 kg ha⁻¹ sobre as culturas de CJ e LL (Fig. 7).

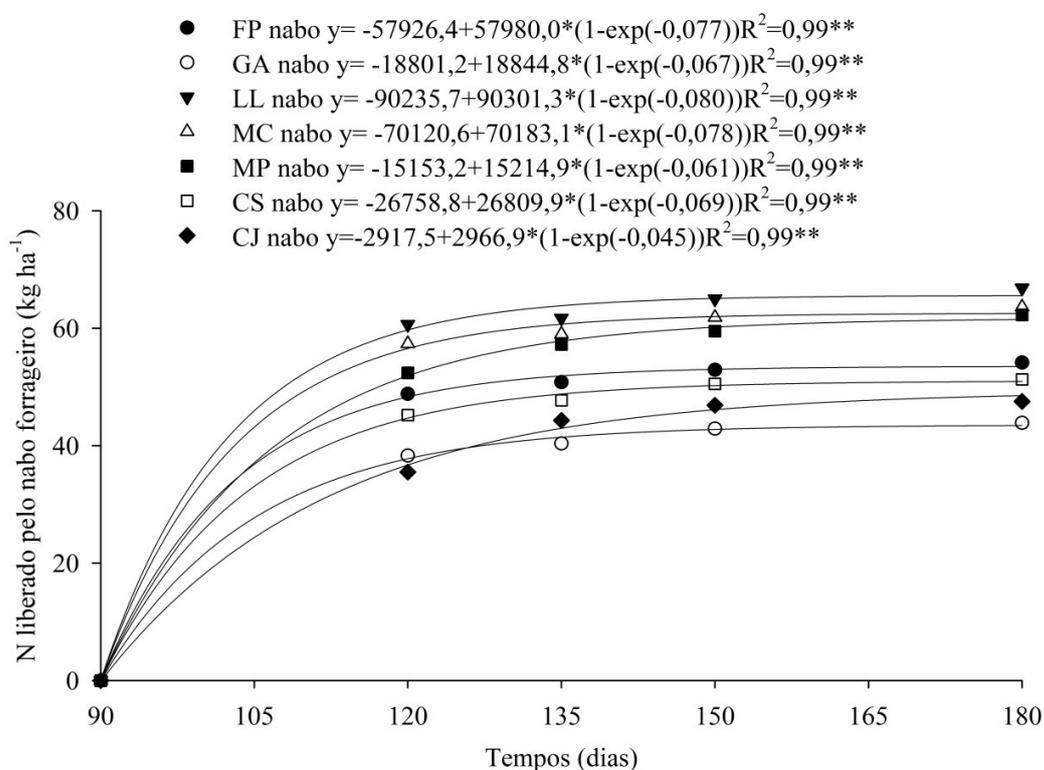
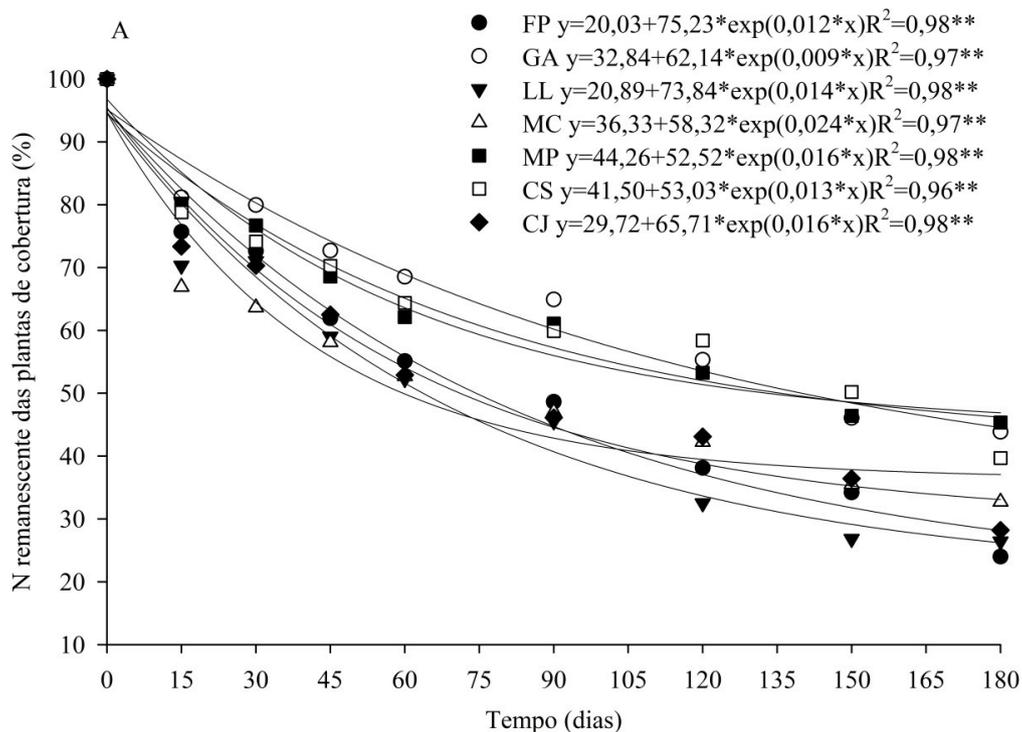


Figura 7 - Liberação acumulada de N (kg ha⁻¹), pela cultura do nabo ao longo de 90 dias de decomposição, para o ano de 2018. CJ nabo= Crotalária juncea antecessora ao nabo; CS nabo = Crotalária spectabilis antecessora ao nabo; FP nabo = Feijão de porco antecessor ao nabo; GA nabo= Guandu anão antecessor ao nabo; LL nabo= Lab lab antecessor ao nabo; MP nabo = Mucuna preta antecessora ao nabo; MC nabo= Mucuna cinza antecessora ao nabo.

2.3.6. Quantidade de N remanescente pelas plantas de cobertura

A dinâmica de N remanescente (%) ao longo do tempo foi variada para cada sistema com as diferentes plantas de cobertura, e seguiu a mesma tendência observada na RMS e liberação de N, onde no período de 15 DAA ocorreu a maior liberação de N após o manejo das culturas. O N remanescente (%) aos 15 DAA em 2018 variou 66% no MC a 81% no GA (Fig. 8 A). No mesmo período em 2019 o N remanescente variou de 68% no FP a 87% no LL (Fig. 8 B). No período seguinte ao longo de 120 a 150 DAA à variação do N remanescente em 2018 foi de 32 a 26% no LL e de 58 a 50% no CS (Fig. 8 A), enquanto que em 2019 a variação no mesmo período foi de 24 a 20% no CS e de 50 a 42% na MC (Fig. 8 B). Ao longo do período de 180 DAA, as maiores quantidade de N remanescente (%) foram obtidas para as culturas GA, CS, MP, MC em 2018 e para GA, MC, LL em 2019 (Fig. 8 A e B).



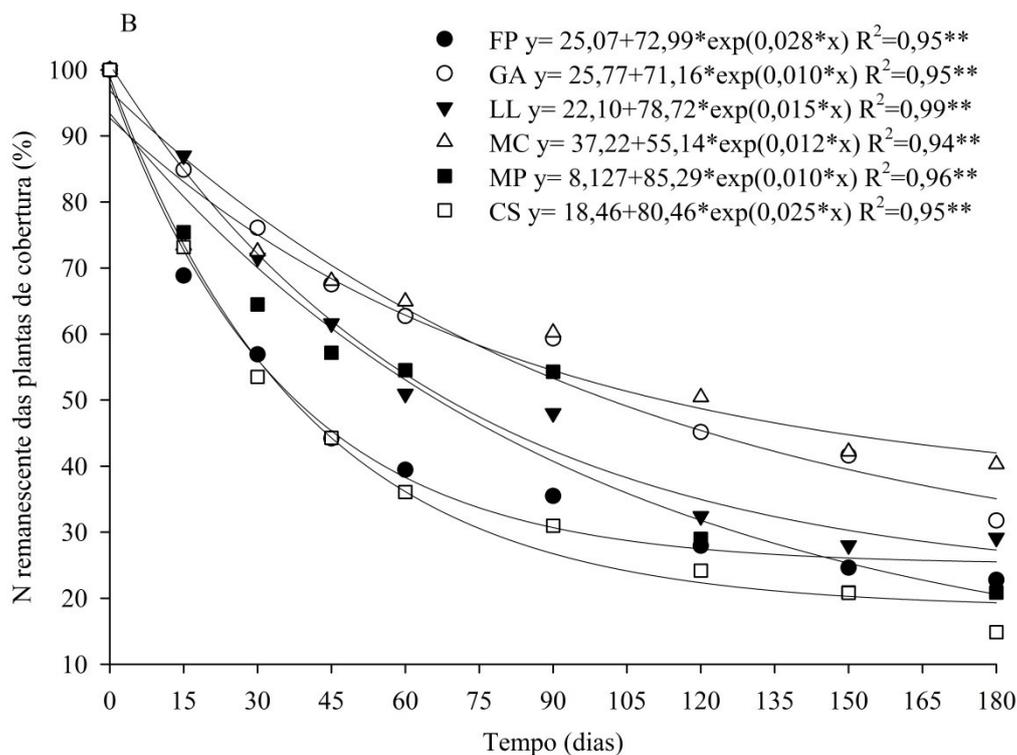


Figura 8 - Quantidade de N remanescente (%), pelas plantas de cobertura estivais ao longo de 180 dias de decomposição, para o ano de 2018 (A) e 2019 (B). CJ = Crotalária juncea; CS = Crotalária spectabilis; FP = Feijão de porco; GA= Guandu anão; LL= Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza.

2.3.7. Quantidade de N remanescente pelo NF sobre as plantas de cobertura

Da mesma forma a quantidade de N remanescente (%) seguiu a mesma tendência observada na RMS e liberação de N, onde aos 30 DAA mais da metade de N remanescente já havia sido liberado pelo NF. Neste período a quantidade de N remanescente obteve a variação de 21 e 38% sobre MC e CJ, demonstrando que após o manejo do NF praticamente 70% do N é liberado nos primeiros dias de decomposição (Fig. 9).

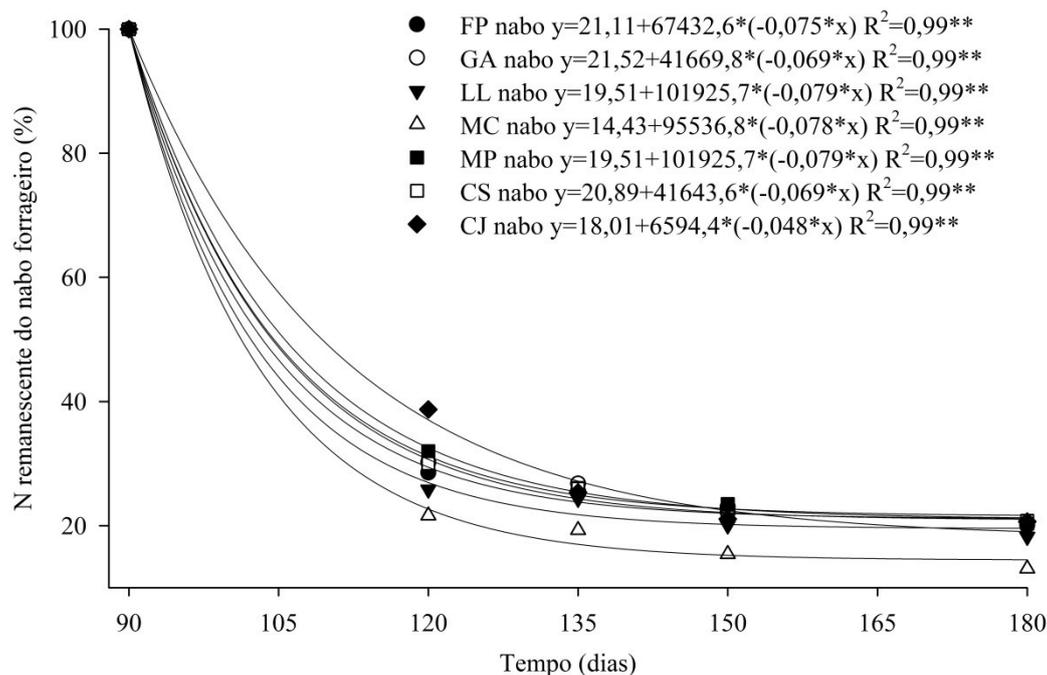


Figura 9 - Quantidade de N remanescente (%), do nabo forrageiro sobre as plantas de cobertura estivais ao longo de 90 dias de decomposição, para o ano de 2018. CJ nabo= Crotalária juncea antecessora ao nabo; CS nabo = Crotalária spectabilis antecessora ao nabo; FP nabo = Feijão de porco antecessora ao nabo; GA nabo= Guandu anão antecessora ao nabo; LL nabo= Lab lab antecessora ao nabo; MP nabo = Mucuna preta antecessora ao nabo; MC nabo= Mucuna cinza antecessora ao nabo.

2.4. DISCUSSÃO

A maior eficiência na produção de MS das plantas de cobertura em 2019 pode ser explicada pela antecipação da semeadura, além da pluviosidade (Fig. 1). No período de condução e desenvolvimento das plantas de cobertura (26/02/2018 a 19/06/2018 e 08/02/2019 a 19/06/2019) ocorreu respectivamente precipitação de 428 e 585 mm. De acordo com (WEILER et al., 2018), as plantas de cobertura são espécies rústicas com grande potencial de crescimento em um período curto de tempo, e a antecipação de semeadura proporciona uma maior taxa de desenvolvimento. Além disso, as diferentes espécies apresentam potenciais distintos de produção de matéria seca (AITA; GIACOMINI; CERETTA, 2014; WEILER et al., 2019), devido a vários fatores do meio as quais são introduzidas, como condições ambientais, potencial genético, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, entre outras.

Estes fatores resultaram em maiores produtividades na MS da CS em 2018, FP e GA em 2019 (Fig. 3), possivelmente devido ao maior acúmulo de matéria orgânica ao longo do tempo nestes sistemas, proveniente das palhadas das plantas de cobertura e

safras de milho anteriormente cultivado, possibilitando à ciclagem de nutrientes, principalmente o N, uma vez que as plantas de cobertura possuem melhor capacidade de uso do N disponível (CALEGARI et al., 2013; TIECHER et al., 2017). Além disso, por se tratar de leguminosas possibilitam adições de N por meio da fixação biológica de N_2 (DE NOTARIS et al., 2018), além do maior teor dos compostos nitrogenados como proteínas em sua fitomassa contribuindo para elevação no teor de N no sistema (MACARENHAS; WUTKE, 2014). Da mesma forma, mesmo sem diferença observada na MS do NF sobre as culturas de cobertura (Tabela 2), foram obtidos valores em 2018 semelhantes aos obtidos por (ZIECH et al., 2015), a qual obteve valores médios de 2200 kg ha⁻¹ de MS de NF. As menores produtividades de MS obtidos em 2019 estão relacionados aos problemas com geadas e mínimas pluviosidade na semeadura, uma vez que o rendimento de fitomassa da cultura é dependente de condições climáticas, edáficas e fitossanitárias (ZIECH et al., 2015).

O acúmulo de C pelas plantas de cobertura de verão e NF de inverno possui intrínseca relação com a produção de MS. Ou seja, quanto maior a quantidade de MS produzida pelas diferentes plantas de cobertura maior é o acúmulo de C (Kg ha⁻¹) nos seus tecidos (Tabelas 1 e 2). Vários autores (BAYER et al., 2009; TIECHER et al., 2017; WEILER et al., 2019) relacionam a produção de matéria seca com o acúmulo de C, e descrevem que apesar do curto período de tempo de condução das plantas de cobertura resultam em alta produção de biomassa, conseqüentemente apresentando características de potenciais sumidouros de C Atmosférico (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019).

Como averiguado neste estudo, a menor quantidade de RMS das plantas de cobertura de verão nos primeiros 15 DAA (Fig. 3 C e D) e (Tabela 3) e aos 30 DAA da cultura do NF (Fig. 5 B) e (Tabela 4), são atribuídas possivelmente a diferentes graus de labilidade do material, logo após o manejo das plantas de cobertura, ou seja, a matéria seca que apresenta uma maior facilidade de decomposição pela microbiota do solo. Diversos estudos têm comprovados os mesmos parâmetros na decomposição das culturas, os quais são atribuídos os diferentes níveis de labilidade do material orgânico (AITA; GIACOMINI, 2003; REDIN et al., 2014; WEILER et al., 2019).

De acordo com Doneda et al. (2012), a variação da taxa de decomposição é devido à quantidade de matéria seca no compartimento lábil, à medida que o processo de decomposição das culturas avança, o acúmulo de polímeros estruturais (lignina, celulose e hemicelulose) aumenta nos tecidos das plantas, conseqüentemente reduzindo a taxa de decomposição (JAHANZAD et al., 2016). Além disso, cada espécie possui

características diferentes na constituição dos seus resíduos, com concentrações distintas de polímeros estruturais, assim influenciando a taxa de decomposição (Fig. 4 A e B) e (Fig. 5 A).

Mesmo com condições climáticas adequadas ao longo do período de 90 a 180 DAA (Fig. 2). A RMS das plantas de cobertura de verão não apresentou influências climáticas, fato que possivelmente pode ser atribuído ao tempo decorrido após o manejo das plantas a campo, assim materiais com maior labilidade são decompostos rapidamente, restando somente aqueles com menor labilidade, além do aumento das concentrações de polímeros estruturais, resultando na diminuição na taxa de decomposição. Estruturas polimerizadas no tecido vegetal protegem os constituintes celulares das ações dos microorganismos decompositores (AITA; GIACOMINI, 2003; REDIN et al., 2014), assim constituindo uma relação inversa entre as fibras do tecido vegetal e a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais. Esta explicação também está de acordo com a RMS do NF uma vez que, sob condições climáticas ideais aos 30 DAA após seu manejo, os materiais com maiores labilidades são decompostos rapidamente, restando somente resíduos com maiores estruturas polimerizadas (Fig. 5 A e B).

2.4.1. Dinâmica de liberação de N acumulado pelas plantas de cobertura

A dinâmica de liberação de N pelas plantas de cobertura leguminosas de verão está associada com as características intrínsecas e funcionais dos resíduos culturais. Isso significa que a taxa de decomposição do material se deve a fatores como, a quantidade de matéria seca MS produzida, relação C/N (AITA; GIACOMINI; CERETTA, 2014), estruturas polimerizadas do tecido vegetal (WEILER et al., 2019), bem como o teor de N contido na matéria seca de cada espécie.

Fato que fica evidente ao relacionarmos a menor disponibilidade de N da CJ ao longo de 180 DAA (Fig. 6 A), com valor de C/N acima de 31/1 (Tabela suplementar 1). Também, ao considerarmos as maiores disponibilidade de N ao longo dos 180 DAA para o FP (Fig. 6 A e B), relação C/N abaixo de 25/1 ao longo dos 180 dias, percebe-se que isso propiciou o processo de mineralização em 2018 (Tabela suplementar 1), além da maior quantidade de matéria seca nos dois anos de avaliação (Tabela 1). A mesma argumentação é válida para a liberação de N pelo NF em 2018, onde aos 30 DAA liberou a maior parte do N contido em seus resíduos (Fig. 7), fato também que pode estar relacionado com a baixa relação C/N dos resíduos (Tabela 2).

Assim a disponibilidade de nutrientes, ou liberação de N está intrínseca com a funcionalidade das estruturas vegetais, isto é, as maiores taxas de mineralização de N ocorrem possivelmente em estruturas como folhas e brotações (REDIN et al., 2014), devido suas composições serem facilmente decomponível, estruturas com menor teor de lignina, e com maior teor de N. De acordo com esse estudo, estes fatores são conclusivos uma vez que as maiores taxas de liberação de N foram obtidas 15 DAA nas plantas de cobertura e aos 30 DAA no NF, possivelmente devido à decomposição destas estruturas como folhas e brotações (Fig. 6 A e B) e (Fig.7).

No período de 120 DAA foram observadas as maiores exportação de N pela cultura do milho, momento também que se obteve maior liberação de N pela cultura do NF (Fig. 7). Neste período o FP atingiu liberação acumulada de 93 e 147 kg ha⁻¹ de N entre os anos de avaliações (Fig. 6 A e B), e o NF sobre a cultura do FP apresentou liberação de 48 kg ha⁻¹ de N em 2018 (Fig.7).

Ao relacionarmos a adubação de cobertura de 180 kg ha⁻¹ de N, que coincidiu com os 120 DAA, verificou-se que, no ano de 2018 a soma do N liberado pelo FP e NF foi de 141 kg ha⁻¹, hipoteticamente podemos estimar que em 2019 o NF sobre o FP também liberou cerca de 71% do N disponível em seus tecidos (Fig. 9), porcentagem semelhante foi obtida por Aita e Giacomini et al. (2003) aos 30 dias de decomposição com 77% do N liberado. Ao associamos as quantidades de N disponíveis entre os anos (Tabela 2), podemos dizer que neste momento foram liberados 18 kg ha⁻¹ de N pelo NF, ou seja, a soma entre a liberação do FP e NF é de 165 kg ha⁻¹ em 2019, o que demonstra patamares próximos à adubação de cobertura no segundo ano de avaliação para a cultura.

Supostamente as maiores liberações de N obtidas pelo FP estão relacionadas com as suas maiores produções de matéria seca e potencial em fixação biológica de N dessa espécie (Tabela 1). Este fato evidencia que uso de leguminosas ao longo dos anos pode diminuir ou mesmo substituir o uso de adubação nitrogenada de cobertura para as culturas subseqüentes. Além disso, culturas de inverno de ciclo curto (catch crop) como NF possuem características de ciclagem de N. Neste estudo a liberação de N pelo NF coincidiu com o momento de maior demanda da cultura do milho sucessor, uma vez que o NF possui rápida liberação nos primeiros 30 DAA, disponibilizando o nutriente no momentos de maior extração da cultura milho. Vários estudos (ABDALLA et al., 2019; AITA; GIACOMINI, 2003; PITTELKOW et al., 2015) constataram que as culturas de cobertura, principalmente leguminosas possuem característica de fixação biológica de N, além de aumentar o teor de matéria orgânica do solo, sendo usadas como adubo verdes para culturas subseqüentes, além disso, não se limitado apenas na ciclagem de

nutrientes (TIECHER et al., 2017; VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019). O uso de plantas de cobertura ao longo do tempo são alternativas importantes para promover melhoria dos atributos físicos e biológicos, conferindo uma maior qualidade do solo.

2.4.2. Quantidade de N remanescente pelas plantas de cobertura

De maneira semelhante, o N remanescente está intrínseco com o processo de decomposição. Durante este processo os materiais orgânicos dependem da biomassa microbiana do solo, a qual assimila C através de reações catabólicas e anabólicas para a síntese celular, simultaneamente ocorre à assimilação de N. Entretanto, a síntese de N depende do fluxo de C e relação C/N dos resíduos e da biomassa microbiana, isso evidência que a estreita dinâmica de N remanescente é dependente das estruturas polimerizadas dos resíduos.

Desta forma, as maiores disponibilidades de N obtida aos 15 DAA para as plantas de cobertura de verão nos dois anos de avaliação, e aos 30 DAA para o NF de inverno em 2018, é devido possivelmente às maiores taxas de decomposição das estruturas foliares das plantas de cobertura, uma vez que, as composições destes tecidos são mais facilmente decomponíveis, por não apresentar estruturas polimerizadas (Tabela 3), (Fig. 8 A e B) (REDIN et al., 2014).

Assim a dinâmica de N remanescente ao longo do período de 180 DAA de avaliação obtida para o GA, CS, MP e CJ em 2018 e MC, GA e MP em 2019, deve - se possivelmente a maiores teores de lignina nos seus resíduos. Além disso, cada espécie apresenta diferentes relações C/N (Tabela suplementar 1), bem como estruturas polimerizadas, possibilitando períodos de imobilização do N pelos microrganismos decompositores, afetando desta forma o processo de decomposição, conseqüentemente elevando o período de manutenção de N no sistema (Fig. 6 A e B). De acordo com Carvalho et al., (2015a), o feijão guandu e a mucuna-preta apresentam grande teor de N em sua composição, entretanto devido ao maior teor de lignina apresenta decomposição e liberação de nutrientes lentamente. O NF apresenta relação C/N abaixo de 25, caracterizando uma rápida mineralização dos resíduos (AITA; GIACOMINI, 2003; ZIECH et al., 2015), este fato está de acordo com nosso estudo, onde nos dois anos de avaliação foram obtidos valores de relação C/N inferiores a 22 (Tabela 2).

2.5. CONCLUSÕES

A dinâmica de decomposição e disponibilidade de N das plantas de cobertura foi rápida nos primeiros 15 dias, seguida de uma fase mais lenta ao longo do período. Da mesma forma, o NF cultivado após as plantas de cobertura obteve maior liberação de N nos primeiros 30 dias, seguida de uma fase mais lenta no decorrer do período.

As espécies de plantas de cobertura apresentaram distintas dinâmicas de manutenção dos resíduos, bem como liberação de N, sendo que a mais eficiente em termos de adição de matéria seca, C e liberação de N foi atribuída ao FP, o qual junto ao NF subsequente pode fornecer N a patamares próximos à adubação de cobertura aplicadas no milho. Demonstrando que o uso de plantas de cobertura antecedentes ao cultivo de interesse econômico pode diminuir o uso de adubações de nitrogenada de cobertura.

3. ASSUNTO 2 - RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO SOBRE PLANTAS DE COBERTURA E ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

3.1. INTRODUÇÃO

O milho é considerado o cereal mais produzido no mundo, possui grande importância mundial, representando em torno de 21% da nutrição humana. Apresenta grande diversidade em sua utilização, sendo seus grãos destinados à alimentação humana e animal até o desenvolvimento de produtos industriais, além de ser base de matéria prima na fabricação de produtos e insumos (OKUMURA et al., 2011).

Uma das variáveis decisivas para o aumento da produtividade da cultura é o fornecimento adequado de nutrientes, principalmente de N, uma vez que o nutriente participa dos compostos de aminoácidos, proteínas, clorofila e enzimas essenciais no seu desenvolvimento (TAIZ et al., 2017).

A principal forma de disponibilização de N a cultura do milho é através da adubação nitrogenada mineral de cobertura (GALINDO et al., 2019), na maioria das vezes mediante o uso da fonte nitrogenada. Entretanto, essa fonte nitrogenada apresenta grande suscetibilidade de perdas de N para o ambiente, através do processo de volatilização da amônia (FRAZÃO et al., 2014), o que torna a quantificação da dose adequada e os momentos técnicos de adubação um desafio. Assim, melhores práticas no manejo de N, com diferentes formas de fornecimento de N devem ser estabelecidas, com o propósito de menores perdas para o ambiente, bem como fornecimento em quantidade satisfatória.

Desta forma, estratégias como adoção do uso de plantas de coberturas antecessoras ao cultivo milho são consideradas benéficas, por apresentarem características baseadas em uma maior manutenção da quantidade e qualidade da palhada, a qual ao longo do tempo pode possibilitar a entrada de C e N no solo (WEILER et al., 2019), menor fluxo de processos erosivos, fixação biológica de N, ciclagem de nutrientes (TIECHER et al., 2017). Beneficiando as características físicas, químicas e biológicas do solo, podendo ser considerada como um indicador de qualidade do solo (LAL, 2015; STOCKMANN et al., 2015).

Além disso, as plantas de coberturas leguminosas são de extrema relevância, proporcionando acúmulo de N através da fixação biológica das espécies (DE NOTARIS et al., 2018), o que possibilita a liberação de N para a cultura em sucessão.

Portanto, o plantio direto com emprego de plantas de cobertura, ou mesmo espécies de ciclo curto (catch crops) podem ser considerado uma ótima abordagem econômica, de manutenção de palhada e qualidade do solo (GABRIEL et al., 2016). Tal técnica substituem as áreas mantidas em pousio na entressafra, possibilitando maior agregação e aeração do solo (TUZZIN DE MORAES et al., 2016), além do aporte nutricional, pela maior ciclagem de nutrientes e fixação biológica de N.

Diante do exposto, e considerando a importância e benefícios das culturas de cobertura desempenhar um papel socioeconômico ambiental em plantio direto, realizou-se esta pesquisa com o objetivo de avaliar o efeito de espécies de plantas de cobertura na ausência ou presença da adubação nitrogenada mineral em cobertura no milho, quanto aos componentes de produção e o acúmulo de N na cultura do milho nas safras 2018-2019 e 2019-2020.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Localização da área experimental e caracterização do local

Conforme item 2.2.1

3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

Conforme item 2.2.2

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em parcelas subdivididas em esquema fatorial (8x2), com três repetições, ou seja, com as mesmas sete espécies de plantas de cobertura nas parcelas principais, além da inclusão das parcelas de Pousio (constituído apenas de espécies espontâneas de verão) sem e com a adubação de nitrogenada de cobertura nas subparcelas.

3.2.3. Instalação e condução do experimento

Conforme item 2.2.3

3.2.4. Avaliações na cultura do milho

No estágio de florescimento pleno, característico pela emissão de estigmas do milho, foram coletadas 10 folhas diagnose (primeira abaixo dos estigmas) na área útil de cada subparcela, submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, posteriormente moídas.

A determinação de produção de MS da planta inteira foi realizada nas datas 10/12/2018 e 28/11/2019. Foram coletadas cinco plantas em cada área útil das subparcela, posteriormente, moídas em triturador de forragem, pesadas e subamostradas em quantidades de 0,4 kg por subparcela, submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, até sua massa constante. Com os valores corrigidos da umidade determinou-se a produção de MS ha⁻¹.

Para a mensuração dos componentes de produtividade da cultura do milho, o mesmo foi colhido manualmente nas datas de 29/01/2019 e 20/01/2020, em área útil total de 2,7m² em cada subparcela, sendo os componentes de produtividade avaliados em dez espigas ao acaso. Foram determinados o número de grãos por fileira (NGF), número de grãos linha (NGL), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), massa de 100 grãos (MG) e produtividade dos grãos (PG), os dados da MG e PG foram corrigidos a umidade de 13%, e a PG foi transformados em kg ha⁻¹.

Os materiais (matéria seca, folha diagnose e grãos) de milho foram submetidos então às determinações dos teores de C e N, realizado através da digestão e destilação semi-micro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) para N total e o conteúdo de C orgânico (YEOMANS; BREMNER, 1988).

3.2.5. Componentes de cálculos

Para a quantificação do acúmulo de N na matéria seca, acúmulo de C e N na produtividade de grãos, as seguintes equações foram propostas (MAHAMA et al., 2016).

$$ACNMS = MS \times \frac{[N]MS}{1000} \quad (1)$$

Onde: ACNMS = acúmulo de N na matéria seca do milho (kg ha^{-1})

MS = produção da matéria seca do milho (kg ha^{-1})

[N] MS = concentração de N na matéria seca do milho (g kg^{-1})

$$ACCPG = PG \times \frac{[C]PG}{1000} \quad (2)$$

Onde: ACCPG = acúmulo de C na produtividade de grãos do milho (kg ha^{-1})

PG = produtividade de grãos (kg ha^{-1})

[C] PG = concentração de C na produtividade de grãos (g kg^{-1})

$$ACNPG = PG \times \frac{[N]PG}{1000} \quad (3)$$

Onde: ACNPG = acúmulo de N na produtividade de grãos do milho (kg ha^{-1})

PG = produtividade de grãos (kg ha^{-1})

[N] PG = concentração de N na produtividade de grãos (g kg^{-1})

3.2.6. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos aos testes conforme item 2.2.3

O efeito das plantas de coberturas e adubação nitrogenada sobre os componentes de produção do milho, bem como os efeitos sobre o acúmulo de C e N no milho foram comparados pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$). A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para sintetizar o conjunto de variáveis obtidas pelos componentes de

produção do milho em um conjunto menor de variáveis ortogonais (não correlacionadas). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R; CORE; TEAM, 2020). Para construção das figuras foram utilizados os softwares Sigmaplot (SYSTAT, 2008) e software R (R; CORE; TEAM, 2020).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Teor de N na folha diagnose, relação c/n e acúmulo de N na matéria seca do milho.

A adubação de cobertura com N mineral resultou em maiores teores de N, na folha diagnose NFD do milho em 2018-2019, para todos os tratamentos com plantas de cobertura e pousio. No ano seguinte 2019-2020 os sistemas com FP, MP, MC não apresentaram diferença no teor de N na NFD na ausência ou presença da adubação nitrogenada de cobertura (Tabela 5).

Tabela 5- Desdobramento entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada na cultura do milho, para as variáveis: teor de N na folha diagnose NFD, relação C/N e acúmulo de N na matéria seca do milho CNMS, ACNMS, para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020.

Tratamento	NFD		CNMS		ACNMS	
	g Kg ⁻¹				Kg ha ⁻¹	
	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N
2018 - 2019						
CJ	16,12aB	19,69aA	70,08aA	44,12aB	52,45aB	81,97aA
CS	15,86aB	19,27aA	58,87aA	34,31aB	59,26aB	132,22aA
FP	16,26aB	20,11aA	48,11aA	42,54aA	96,46aA	109,59aA
GA	16,42aB	18,71aA	66,66aA	29,20aB	45,95aB	115,05aA
LL	16,94aB	19,62aA	58,87aA	27,22aB	71,08aB	213,74aA
MP	18,08aB	19,90aA	55,44aA	25,82aB	43,04aB	166,80aA
MC	17,38aB	19,50aA	55,85aA	30,09aB	80,47aA	152,35aA
P	12,62bB	18,94aA	77,70aA	33,50aB	34,60aB	96,70aA
2019 - 2020						
CJ	20,62aB	22,91aA	27,33aA	34,05aA	118,54aA	177,48aA
CS	21,36aB	23,17aA	29,24aA	32,77aA	136,76aA	144,26aA
FP	21,74aA	23,26aA	31,13aA	28,00aA	201,16aA	192,77aA
GA	19,96aB	23,4aA	24,11aB	34,50aA	150,25aB	235,28aA
LL	20,43aB	23,45aA	28,46aA	33,03aA	148,33aA	203,88aA
MP	21,92aA	23,03aA	29,55aA	34,62aA	194,16aA	176,12aA
MC	22,51aA	22,26aA	28,08aA	35,3aA	184,17aA	233,33aA
P	17,00bB	22,21aA	24,31aB	44,07aA	80,08aB	195,99aA

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas no mesmo ano não se diferem pelo Scott knott ($p > 0,05$). *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio; *0N* sem adubação nitrogenada; *180N* com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

A relação C/N na matéria seca (CNMS) do milho em 2018-2019 obteve diferença, com os maiores valores médios na ausência da adubação de cobertura. Contudo somente o sistema com FP não expressou diferença com ou sem o uso do N em cobertura. Em 2019-2020, os sistemas com plantas de cobertura não obtiveram diferença na ausência ou presença de adubação de cobertura, com exceção dos sistemas com GA e P (Tabela 5).

A resposta do milho sobre os sistemas FP e MC antecessores não apresentou diferenças na presença ou ausência da adubação mineral de cobertura, comprovando que o acúmulo de N na matéria seca do milho ACNMS após o oitavo ano de condução pode ser obtida em patamares equivalentes mesmo sem a adubação mineral de cobertura (Tabela 5).

3.3.2. Componentes de produção da cultura do milho

Os sistemas constituídos pelas plantas de cobertura FP, MC e MP não diferiram quanto a presença ou ausência da adubação nitrogenada para a maioria dos componentes de produção, nas duas safras avaliadas (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6– Desdobramento da matéria seca MS, número de grãos por linha NGL e comprimento da espiga CE da cultura do milho sucessor a plantas de cobertura e adubação nitrogenada nas safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2020.

Tratamento	MS		NGL		CE	
	Kg ha ⁻¹		n ^o		cm	
	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N
2018 - 2019						
CJ	8953,1aA	8407,7aA	18,6aB	35,6aA	15,1aA	18,1aA
CS	8596,7aB	10626,7aA	26,3aB	35,6aA	14,8aB	19,0aA
FP	11476,0aA	10162,6aA	31,0aA	36,0aA	16,5aA	18,8aA
GA	6477,0aA	8193,3aA	29,3aB	36,3aA	15,6aB	19,1aA
LL	9875,6aB	14612,6aA	28,3aB	35,3aA	15,3aB	19,6aA
MP	5620,6aB	10235,9aA	30,6aA	35,0aA	16,0aA	19,0aA
MC	10394,2aA	10765,3aA	28,6aA	35,0aA	15,6aA	18,0aA
P	6737,89aA	8043,7aA	18,6aB	33,6aA	8,03bB	17,1aA
2019 - 2020						
CJ	9087,7aA	11656,8aA	33,0aA	32,6aA	15,6aA	15,6aA
CS	10381,4aA	9920,4aA	31,6aA	31,6aA	16,0aA	15,0aA
FP	12936,6aA	14001,3aA	30,6aA	30,0aA	15,8aA	13,6aA
GA	13434,8aA	15390,6aA	33,3aA	35,0aA	15,6aB	19,0aA
LL	11025,6aA	13494,3aA	27,6aA	29,6aA	15,1aA	14,6aA
MP	14789,9aA	12261,2aA	34,0aA	36,6aA	17,1aA	16,6aA
MC	15154,4aA	14302,1aA	26,6aB	33,3aA	15,0aA	16,3aA
P	7066,7aA	11171,2aA	24,3aB	33,3aA	12,5aB	16,8aA

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha no mesmo ano não se diferem pelo teste de Scott-knot ($p > 0,05$). *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio; *0N* sem adubação nitrogenada; *180N* com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

Em relação à produção de matéria seca do milho em 2018-2019, os sistemas compostos pelas plantas de cobertura, CJ, FP, GA, MC, não distinguiram quanto ao uso de N em cobertura. Para o ano seguinte os mesmos resultados foram obtidos para todos os sistemas entre plantas de cobertura e adubação nitrogenada. Assim, ao compararmos os anos de avaliação a maioria dos tratamentos apresentou maiores produtividades de matéria seca do milho em 2019-2020.

Os sistemas compostos pelas plantas de cobertura FP, MP e MC em 2018-2019 não apresentaram diferença significativa quanto à adubação nitrogenada para o NGL, resultado semelhante ocorreu em 2019-2020, exceto nos sistemas com P e MC (Tabela 6).

Em relação ao CE, para os dois anos de avaliação os menores valores foram obtidos no P sem o uso da adubação nitrogenada de cobertura, além disso, os sistemas CJ, FP, MP e MC em 2018-2019, e CJ, CS, FP, LL, MP e MC em 2019-2020, não apresentaram diferenças na ausência ou presença da adubação nitrogenada de cobertura (Tabela 6).

A adubação nitrogenada de cobertura não obteve efeito no diâmetro médio da espiga em 2018-2019, ou seja, todos os sistemas apresentaram médias equivalentes mesmo sem o uso da adubação mineral. Da mesma forma no ano seguinte 2019-2020 todos os sistemas apresentaram equivalência no diâmetro da espiga, exceto os sistemas constituídos por GA e P (Tabela 7). Em relação a MG, adubação nitrogenada apresentou efeito no ano de 2018-2019, obtendo as maiores médias. No entanto no ano seguinte as maiores médias foram observadas por todos os sistemas exceto para o LL e MC (Tabela 7).

Ao observarmos os sistemas na ausência de N mineral, a resposta da produtividade de grãos de milho em sucessão as plantas de cobertura leguminosas de verão e NF de inverno, variou de 2,3 a 3,5 vezes ao relacionamos o P ($2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) com a CJ ($5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) e FP ($8,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) em 2018-2019. No ano seguinte a variação foi de 1,5 e 1,7 vezes, sendo o P ($4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) relacionado com a LL ($6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) e MC ($7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) em 2019-2020 (Tabela 7).

Após o sétimo e oitavo anos de condução das culturas de cobertura leguminosas de verão em sucessão com a cultura do milho os sistemas FP, MP e MC em 2018-2019 e CS, FP, MP, MC em 2019-2020, apresentaram resposta equivalente na produtividade de grãos de milho na presença ou ausência da adubação de N mineral, assim como no proposto pela hipótese do trabalho em questão. Ou seja, que ao longo do tempo o uso de

plantas de cobertura com capacidade de fixação biológica de N pode suprimir a necessidade da adubação de N mineral (Tabela 7).

Tabela 7- Desdobramento do diâmetro da espiga DE massa e produtividade de grãos MG, PG da cultura do milho sucessor a plantas de cobertura e adubação nitrogenada nas safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020. UTFPR, Dois Vizinhos-PR, 2020.

Tratamento	DE		MG		PG	
	cm		g		kg ha ⁻¹	
	0 N	180 N	0 N	180 N	0 N	180 N
	2018 - 2019					
CJ	4,8aA	5,1aA	26,4aB	32,4aA	5788,4aB	9295,5aA
CS	4,7aA	5,2aA	28,1aB	34,9aA	6982,7aB	10158,7aA
FP	5,1aA	5,0aA	30,3aB	34,4aA	8759,4aA	8933,37aA
GA	4,9aA	5,1aA	27,6aB	33,3aA	7577,5aB	10548,7aA
LL	4,8aA	5,2aA	30,1aB	35,8aA	8345,2aB	11591,5aA
MP	4,8aA	5,2aA	30,1aB	33,8aA	7559,7aA	9961,3aA
MC	5,0aA	5,1aA	28,0aB	32,8aA	8695,9aA	10074,1aA
P	4,6aA	5,0aA	22,9aB	28,9aA	2526,5bB	9112,9aA
	2019 - 2020					
CJ	4,9aA	5,1aA	33,5aA	36,8aA	5489,9bB	7825,1aA
CS	4,9aA	4,9aA	38,0aA	37,4aA	6823,6aA	7937,2aA
FP	4,9aA	4,6aA	36,2aA	39,3aA	6874,4aA	8257,7aA
GA	4,8aB	5,2aA	37,0aA	36,8aA	7081,0aB	8961,1aA
LL	4,9aA	4,8aA	31,4aB	38,2aA	6708,2aB	8339,5aA
MP	4,9aA	5,2aA	32,6aA	38,8aA	7688,1aA	8721,7aA
MC	4,9aA	5,0aA	32,1aB	40,7aA	7886,1aA	8682,0aA
P	4,5aB	5,0aA	32,6aA	37,5aA	4474,8bB	9300,6aA

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha no mesmo ano não se diferem pelo teste de Scott-knot ($p > 0,05$). *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio; *0N* sem adubação nitrogenada; *180N* com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

3.3.3. Acúmulo de C e N nos grãos do milho.

O acúmulo de C nos grãos ACCPG expressou os maiores valores com uso do N em cobertura nos sistemas com CJ, LL, P em 2018-2019, e CJ, GA, P em 2019-2020. Em relação ao acúmulo de N nos grãos, com a adubação de cobertura verificou-se os maiores acumulados nos dois anos avaliados.

Contudo, os sistemas compostos pelo FP e MP em 2018-2019 não expressaram diferenças na ausência ou presença da adubação de cobertura (Tabela 8).

Tabela 8 - Desdobramento entre as plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada, para o acúmulo de C e N na produção de grãos do milho, ACCPG, ACNPG para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020.

Tratamento	ACCPG		ACNPG	
	Kg ha ⁻¹		Kg ha ⁻¹	
	0 N	180 N	0 N	180 N
2018-2019				
CJ	2407.01aB	4009.51aA	47.17aB	92.53aA
CS	3261.03aA	4241.82aA	46.03aB	101.42aA
FP	3721.91aA	3901.08aA	71.57aA	94.33aA
GA	3269.58aA	4601.92aA	53.25aB	111.52aA
LL	3336.17aB	4995.95aA	64.32aB	128.31aA
MP	3225.14aA	4253.45aA	62.29aA	90.75aA
MC	3966.65aA	4274.11aA	78.16aB	108.51aA
P	1089.87aB	4039.64aA	19.45aB	88.82aA
2019-2020				
CJ	2537.07aB	3539.68aA	52.82aB	95.92aA
CS	3292.44aA	3705.16aA	67.39aB	95.55aA
FP	3009.56aA	3758.4aA	65.9aB	99.88aA
GA	3127.14aB	4214.67aA	64.94aB	107.83aA
LL	3173.59aA	3924.24aA	65.55aB	107.00aA
MP	3504.11aA	4028.18aA	80.76aB	114.86aA
MC	3699.19aA	3985.85aA	76.34aB	102.74aA
P	1960.57aB	4183.82aA	36.87aB	104.37aA

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas no mesmo ano não se diferem pelo Scott knott ($p > 0,05$). *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio; *0N* sem adubação nitrogenada; *180N* com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

3.3.4. Análise de componentes principais

Com a análise de componentes principais, foram criados os biplot (Fig. 10 e 11). Nota-se a formação de dois grupos distintos: Grupo I a direita do gráfico caracterizado por uma coordenada fortemente positiva, e o Grupo II a esquerda do gráfico caracterizado por uma coordenada fortemente negativa.

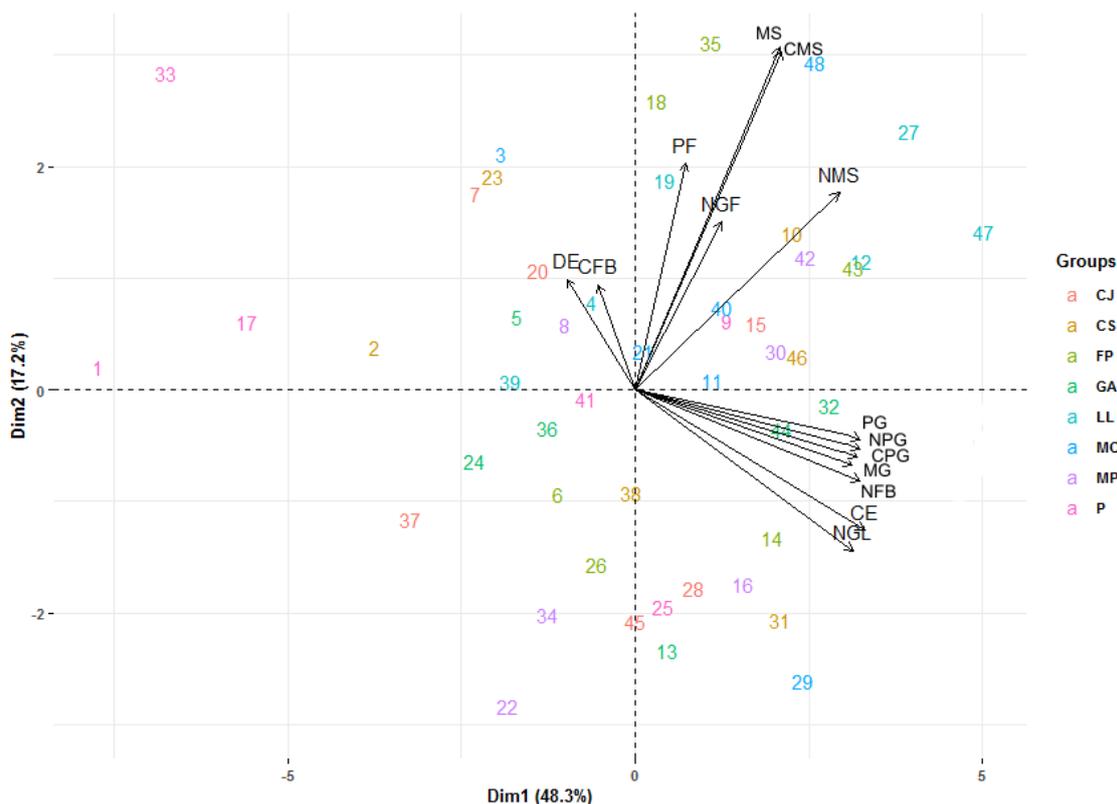


Figura 10 - Biplot dos componentes principais PC1 e PC2 da cultura do milho 2018-2019, sendo as variáveis: população final PF, número de grãos por linha NGL, número de grãos por fileira NGF, comprimento da espiga CE, diâmetro da espiga DE, matéria seca MS, massa de grãos MG, produtividade de grãos PG, teor de C e N na folha diagnose CBF; NFB, acúmulo de C e N na matéria seca CMS; NMS e acúmulo de C e N na produtividade dos grãos CPG; NPG sobre os grupos de plantas de cobertura: *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio

O conjunto de dados consistiu de quatorze variáveis correspondentes aos componentes principais PC1 e PC2. A PC1, em 2018-2019 explicou (48.3%) das variáveis sobre os componentes do milho, enquanto que a PC2 explicou (17.2%) das variações. A ordem de significância com os componentes que melhor se correlacionam com a PC1 foram PG (12,13), NPG (11,93), MG (11,70), CPG (10,98), NFB (10,62), CE (10,45), NGL (9,71), NMS (8,47), CMS (4,32), NGF (1,43), DE (0,83), PF (0,41), CFB (0,33). Em 2019-2020, as variáveis referentes aos componentes de produção do milho obtiveram explicação de (38,4%) de acordo com a PC1 (Fig. 11), com ordem de significância de PG (15,26), CPG (14,63), NPG (13,25), NMS (10,83), CMS (8,77), NFB (8,62), CE (4,56), PF (4,66), MG (4,32), NGL (2,45), NGF (2,06), DE (0,64) e CFB (0,02). Enquanto que a PC2 obteve (17,4%) das variações e ordem de significância de PF (13,94), CMS (12,62), MG (11,33), NGL (8,53), CE (7,10) e DE (6,35). Em 2018-2019, no Grupo I situado no lado direito do gráfico, compartilhando altos valores para as variáveis: PF, MS, CMS, NGF, NMS, PG, NPG, CPG, MG, NFB, CE, NGL, já

As exigências de N pelo milho variam conforme o desenvolvimento da cultura, com um pico de absorção durante o florescimento até o início da formação de grãos. Deste modo, podemos considerar que a avaliação da folha diagnose reflete melhor o estado nutricional do solo, com maiores fornecimento de nutrientes, diferenciando a fertilidade do solo e conseqüentemente refletindo na maior produtividade da cultura (MALAVOLTA, 1997). Com isso, em 2019-2020 a ausência de diferença dos teores de NDF nos sistemas compostos por FP, MP e MC está associada com a disponibilidade do nutriente em quantidades equivalentes a adubação de cobertura (Tabela 5).

Logo, estes sistemas ao longo do tempo têm proporcionado maiores acúmulos de matéria orgânica do solo. Este fato pode ser averiguado ao relacionarmos os teores de MO (40 g kg^{-1}) da caracterização inicial do solo (ZIECH et al., 2015) com valores de MO ao longo do período de condução do experimento. Onde a MO apresenta os maiores teores nos sistemas de FP, MC, MP em 2015 e 2017, em relação à caracterização inicial, exceto nos sistemas MC e MP que receberam adubação mineral em 2017 (Tabela suplementar 3). Importante considerarmos a mineralização da matéria orgânica nos sistemas com MC e MP que receberam a adubação mineral, fator que possa ter contribuído com a equivalência nutricional nos sistemas MC e MP não adubados. O maior teor de MO desempenha um papel crítico no armazenamento e fonte de N disponível, considerada uma fonte ativa de N (JILLING et al., 2020). Além disso, possivelmente foram atribuídos aos sistemas FP, MC, MP, menores labilidades do material, disponibilizando maiores teores de N em sincronia com a demanda do milho.

De maneira semelhante, a relação C/N do milho é influenciada pela disponibilidade de N no solo, constituído pela fixação biológica, ciclagem de N e produção de matéria seca de cada espécie de cobertura (WEILER et al., 2019), fato que pode ser observado no sistema FP em 2018-2019, e todos os outros sistemas exceto GA e P em 2019-2020 (Tabela 5). De modo que a maior disponibilidade do nutriente resultará em menor relação C/N no milho.

Assim, as menores médias na relação C/N obtida em 2019-2020 no milho são atribuídas as maiores quantidades de matéria seca produzida pelas plantas de cobertura, além da maior quantidade de matéria seca produzida no milho (Tabela 6 e Fig. suplementar 1), uma vez que, a matéria seca das plantas de cobertura está diretamente relacionada com a disponibilidade de N, possibilitando uma maior ciclagem (TIECHER, 2016b) e disponibilidade de N no solo (RESTOVICH et al., 2019).

Em nosso estudo, o acúmulo de N na matéria seca do milho, foi influenciado pela produção de matéria seca das plantas de cobertura, bem como a dinâmica de decomposição conferida as espécies FP e MC em 2018-2019 (Tabela 5 e Fig. 6A), com isso disponibilizando N equivalente à presença da adubação de cobertura, e em sincronia com a demanda do milho.

No período seguinte o mesmo ocorreu para todas as espécies exceto para o GA e P. De modo que, a dinâmica de acúmulo de N pela cultura do milho está associada a uma maior disponibilidade do nutriente no momento de maior demanda. Ou seja, em sincronia com a disponibilidade de N dos resíduos das plantas de cobertura e nabo forrageiro (MAHAMA et al., 2016). Assim, mesmo com considerável produção de matéria seca no GA, em razão de seus elevados teores de lignina apresenta liberação mais lenta dos nutrientes (DE CARVALHO et al., 2015b).

A variação no acúmulo de N encontrados na matéria seca do milho entre os anos de avaliação pode ser esclarecida em função das maiores produção de matéria seca das plantas de cobertura em 2019-2020, uma vez que as leguminosas propostas neste estudo têm teores de N similares em seus tecidos. Assim, a maior produção de matéria seca atribuídas aos sistemas (Tabela 5 e Fig. suplementar 1), proporciona maiores acúmulos e liberação de N ao longo do tempo.

3.4.2. Componentes de Produtividade da cultura do milho.

De forma geral, as maiores médias das matérias secas na cultura do milho obtida em 2019-2020, estão relacionadas a uma maior disponibilidade de nutrientes em ciclagem pelas plantas de cobertura, uma vez que neste ano ocorreram maiores produções de matéria seca para maior parte das plantas de cobertura (Fig. suplementar 1).

A ausência de diferenciação quanto à adubação nitrogenada nos sistemas em 2019-2020, supostamente está associada com maiores ciclagem de nutrientes, como o N (TIECHER et al., 2017), bem como a fixação biológica das plantas de cobertura (WEILER et al., 2019), assim contribuindo com quantidades semelhantes de N entre os sistemas adubados ou não com este importante nutriente.

Da mesma forma, a definição dos componentes de produção do milho como NGL, CE e DE ocorre nos estádios fenológicos três e quatro, com quatro a seis semanas após a semeadura do milho, aproximadamente aos 120 e 150 DAA. Em nosso estudo, a

semelhança nestes componentes entre os sistemas FP, MC, MP, em 2018-2019 (Tabelas 6 e 7), estão atribuídos à taxa de liberação de N das plantas de cobertura aos 120 e 150 DAA.

Resultado que também está correlacionado com a labilidade do material decomposto em relação aos outros tratamentos, ou seja, a matéria seca atribuída à presença de frações orgânicas com maior facilidade de decomposição pela microbiota do solo (REDIN et al., 2014). Além disso, a disponibilidade de N absorvido pelas plantas de cobertura somente ocorrerá por meio da mineralização dos resíduos em sincronia com a demanda da cultura (GABRIEL; QUEMADA, 2011).

Portanto, mesmo com maior disponibilidade de N pelas plantas de cobertura, a assimilação de N pelos microrganismos do solo pode levar a períodos de imobilização com um decréscimo de N disponível no solo. Assim, mesmo com as maiores liberações acumuladas de N para CS, GA, LL em 2018-2019, em relação a MP (Fig.6 A), os maiores valores da relação C/N observados aos 120 DAA para CS (27) sem N, GA (30), LL (28) com N (Tabela suplementar 2), supostamente possam ter ocasionado períodos de imobilização do N orgânico do solo, em momento de maior exigência de N pela cultura do milho.

Deste modo, os resíduos com alta relação C/N, apresentam as menores labilidades do material, devido ao acúmulo de polímeros estruturais como lignina, celulose e hemicelulose, resultando em uma menor taxa de decomposição (DONEDA et al., 2012), apresentando mineralização do material em um longo espaço de tempo (RÜHLEMANN; SCHMIDTKE, 2016).

De maneira semelhante no ano seguinte, a diferenciação no componente NGL para o sistema com MC, é atribuída a maior relação C/N do material sem o uso da adubação de cobertura aos 120 DAA (Tabela suplementar 2), bem como a menor taxa de pluviosidade neste período aos 120 DAA (Fig. 2). A combinação de condições climáticas e a composição química do material vegetal como sua relação C/N regula a taxa de decomposição liberação de nutrientes (MEDRADO et al., 2011; WEILER et al., 2019).

Este fato, também pode ser atribuído aos componentes CE, DE no sistema GA em 2019-2020, mesmo com maiores disponibilidade de N em relação aos sistemas MC e MP (Fig. 6B), a maior relação C/N do material aos 120 DAA (Tabela suplementar 2) contribuiu pela menor disponibilização do N ao milho, neste período, ocasionando intervalo de imobilização. Além disso, os resíduos culturais do GA apresentam elevados

teores de lignina, retratando a liberação mais lenta de nutrientes, demandando um maior tempo de ciclagem de nutrientes (DE CARVALHO et al., 2015a).

As maiores massas de grãos obtidas com adubação de cobertura em todos os sistemas em 2018-2019, bem como nos sistemas LL e MC em 2019-2020, foram influenciadas pelas condições climáticas, como também pelas disponibilidades de nutrientes no período de enchimento de grãos (GALINDO et al., 2019). Em nosso estudo, a definição deste componente foi averiguada nos meses de dezembro aos 180 DAA, momento em que a menor disponibilidade hídrica em 2018 (Fig.1), tenha favorecido os sistemas adubados. Justificado pela maior concentração de N e possibilidade de maior translocação do nutriente na definição deste componente. No ano seguinte a maior pluviosidade neste período, resultou em uma disponibilidade de nutriente equivalente entre os sistemas, sendo que a alteração neste constituinte de produtividade é dependente da disponibilidade de água e translocação de N pela cultura, com seu pico máximo durante o florescimento e formação dos grãos (MELLO et al., 2017).

A produtividade de grãos está relacionada com a disponibilidade de nutrientes em sincronia com a demanda da cultura sucessora, bem como as condições climáticas durante o desenvolvimento da cultura, além do manejo adotado ao longo de vários anos nos sistemas proposto com as leguminosas de verão. Este fato se torna claro ao relacionarmos os dados obtidos por (CIESLIK, 2014), trabalhando na mesma área em 2012 e 2013, onde o autor obteve maiores médias na produtividade de grãos sobre os sistemas com FP e MP em 2012-2013 e LL, FP e MP em 2013-2014.

Em nosso estudo os sistemas constituídos por FP, MC, MP, em 2018-2019 e CS, FP, MC, MP em 2019-2020, apresentaram equivalência na produção de grãos se comparada a ausência ou presença de adubação nitrogenada de cobertura no milho (Tabela 7). Isto significa que ao longo do período de condução do experimento, a resposta na produção de grãos de milho sobre estes sistemas, confirma o fato de que o uso de adubação nitrogenada, após o oitavo ano de condução não seria necessária para os mesmos patamares de produtividade.

Este fato está vinculado à combinação de fatores como a quantidade (acúmulo de matéria seca ao longo dos anos de cultivo), bem como a qualidade do material, relacionados à composição química e estruturais (lignina, celulose, hemicelulose, relação C/N) de cada espécie de cobertura (DONEDA et al., 2012).

Deste modo, considerando que a matéria orgânica do solo (MO) exerce papel fundamental como reservatório e fonte de N, onde 95% do N no solo estão na forma

orgânica (JILLING et al., 2020). Os diferentes sistemas desempenham um papel crítico na capacidade do solo em fornecer N para culturas sucessoras. De modo que, cada espécie apresenta diferentes características de acúmulo e disponibilidade nutricional. Além disso, a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos é diretamente proporcional aos teores de N, e inversamente proporcional a razão lignina / N (AITA; GIACOMINI, 2003).

Assim, o FP merece destaque entre as culturas, devido ao potencial de produção de biomassa, menor tempo de ciclagem, baixos teores de lignina, além de elevado conteúdo de N em suas estruturas (DE CARVALHO et al., 2015b). A MP e MC possui alta capacidade de acúmulo de N nas suas estruturas, no entanto sua decomposição dos resíduos é mais lenta, por apresentar teores mais elevados de lignina em relação ao FP (CARVALHO et al., 2008; DE CARVALHO et al., 2015a).

3.4.3. Acúmulo de C e N nos grãos do milho.

A diferenciação no acúmulo de C nos grãos do milho (Tabela 8) está relacionada com as maiores disponibilidades de N nos diferentes sistemas. Uma vez que aproximadamente 98% do N no solo encontram - se na forma orgânica. A entrada de N nos sistemas deve ser através da adubação química nitrogenada, ciclagem de N ou mesmo fixação biológica. Neste caso, os sistemas com P e CJ na ausência de adubação nos dois períodos avaliados obtiveram quantidades mínimas de resíduos sobre a superfície do solo (Tabela 8 e Fig. suplementar 1), afetando o restabelecimento nutricional. Em relação ao LL em 2018-2019 e GA em 2019-2020, as maiores produção de material vegetal em superfície pelas plantas de cobertura aliado a adubação química nitrogenada (Tabela 8 e Fig. suplementar 1), possibilitou maiores acúmulos de C nos grãos do milho, uma vez que maiores teores de N no solo possibilita maior constituintes de compostos orgânicos (DIEKOW et al., 2005), como a clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos.

Da mesma forma, as maiores disponibilidade de N atribuída pela adubação mineral nitrogenada de cobertura no milho pode definir a concentração de N nos grãos em 2019-2020, possibilitando a translocação do N de folhas e colmos para a espiga e grãos, além disso, foi obtido quantidades equivalentes de N nos sistemas FP e MP em 2018-2019 (Tabela 8).

A variação no acúmulo de N nos grãos foram de 19 a 128 e de 36 a 114 kg ha⁻¹ nos anos de 2018-2019 e 2019-2020 respectivamente, variação na qual está vinculada com a disponibilidade do nutriente no solo. De acordo com Malavolta et al.(1997) a quantidade de N exportado pelos grãos é de 13 kg de N a cada tonelada de grãos produzidos. Ao relacionarmos a variação na produtividade dos grãos de 2,5 a 11,5 kg ha⁻¹ em 2018-2019 e de 4,4 a 9,3 kg ha⁻¹ em 2019-2020 (Tabela 7), e calculamos os valores de N exportado nos grãos segundo Malavolta et al.(1997), obtemos valores acumulados de N nos grãos de 33 a 154 kg ha⁻¹ em 2018-2019, e de 60 a 116 kg ha⁻¹ em 2019-2020, valores bem próximo relacionados às maiores produção de grãos, no entanto distantes nos menores produtividades dos grãos (Tabela 8).

3.4.4. Análises de componentes principais (pca).

Os maiores incrementos nos componentes de produção do milho obtidos nos dois anos de avaliação pelo grupo I se devem a diferentes espécies de plantas de cobertura antecessora ao cultivo do milho ao longo do tempo possivelmente pelas inúmeras características benéficas com uso das culturas (Fig. 10 e 11).

As principais vantagens na adoção de plantas de cobertura são a manutenção da biomassa (CONSTANTIN et al., 2010; DE NOTARIS et al., 2018), possibilitando o maior acúmulo de C na superfície do solo (CHRISTOPHER POEPLAU, 2015), menores variações na temperatura superficial, maior aeração e agregação do solo, atuando nas propriedades físicas diminuindo a compactação (CALONEGO et al., 2017; TIECHER et al., 2018). Além disso, a inclusão de plantas de cobertura leguminosas promove o aumento na ciclagem de nutrientes através da fixação biológica de N ao solo, como também a supressão de daninhas (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019; WEILER et al., 2019). Também atua no acúmulo de matéria orgânica ao longo do tempo, constituindo assim a melhoria na qualidade do solo (LAL, 2015).

Por outro lado, a constituição do Grupo 2 caracterizado pelos menores valores para os componentes de produção de milho nos dois anos avaliando é fortemente influenciada pela ausência de plantas de cobertura (Fig. 10 e 11). Onde se encontram os indivíduos (33, 17, 1) em sistemas de Pousio (P). Deste modo, verifica que a manutenção da sustentabilidade em um sistema de produção é necessária, com uso de

técnicas adequadas, bem como métodos conservacionistas, que minimizem impactos de recursos naturais (PORTUGAL et al., 2017b).

Assim, o uso de espécies de plantas de cobertura continuamente, principalmente culturas leguminosas, é um método a ser considerado, por proporcionarem acréscimos no conteúdo de N no solo (COOMBS et al., 2017). Deste modo ocorrerá maior capacidade do solo em promover serviços com maiores seguranças hídricas, energéticas e de biodiversidade (BREVIK et al., 2015).

4. CONCLUSÕES

O sistema com Feijão de porco exerceu efeitos positivos sobre a maior parte dos componentes de produtividade do milho, com valores equivalentes nos sistemas que receberam ou não adubação mineral de cobertura.

A resposta na produtividade de grãos do milho sobre os sistemas compostos pelo Feijão de porco, Mucuna preta e Mucuna cinza foi equivalente na ausência ou presença da adubação de cobertura nas duas safras avaliadas.

A adoção de plantas de cobertura proporciona valores positivos aos componentes de produção do milho nos dois anos de avaliação, o sistema de pousio apresentou os menores valores, atribuído pela menor qualidade do solo.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A dinâmica de decomposição e disponibilidade de N das plantas de cobertura foi rápida nos primeiros 15 dias, seguida de uma fase mais lenta ao longo do período. Da mesma forma, o NF sobre as plantas de cobertura obteve maior liberação de N nos primeiros 30 dias, seguida de uma fase mais lenta no decorrer do período.

As espécies de plantas de cobertura apresentaram distintas dinâmicas de manutenção dos resíduos, sendo as mais eficientes atribuídas ao GA, MP e MC, sendo que a mais eficiente em termos de adição de matéria seca, C e liberação de N, foi atribuída ao FP, o qual junto ao NF sucessor pode proporcionar patamares próximos à adubação de cobertura aplicada no estudo.

O NF possui característica de rápida liberação de N, fato que coincidiu com a maior a necessidade de N pela cultura do milho, demonstrando que o uso de FP e NF antecedentes ao cultivo de interesse econômico pode diminuir o uso de adubações nitrogenada de cobertura.

O sistema com FP exerceu efeitos positivos sobre a maior parte dos componentes de produção do milho. Além disso, o FP, MP e MC apresentaram as maiores respostas na produtividade de grãos de milho, sendo que a produtividade de grãos é equivalente na ausência ou presença da adubação nitrogenada de cobertura para estes sistemas nas duas safras avaliadas.

A análise de componentes principais indicou que a adoção de plantas de cobertura proporcionou valores positivos aos componentes de produção do milho nos dois anos de avaliação, e que o sistema de pousio apresentou os menores valores, atribuído pela menor qualidade do solo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo atual apresenta resultados em plantio direto após oito e nove anos de condução. Momento no qual alguns sistemas encontram-se em fase de transição, onde ocorre um equilíbrio das transformações e reestruturação dos processos microbiológicos no solo.

As plantas de cobertura em sistema plantio direto adicionam resíduos culturais na superfície do solo. Contribuindo para a adição e acúmulo de matéria orgânica, estimulando a atividade microbiológica. Ao longo do período o acúmulo de matéria orgânica constitui o principal reservatório de N no solo. Possibilitando que os processos de imobilização e mineralização de N se tornam equivalentes.

No presente estudo ao longo do período de condução do experimento foi possível determinar as diferentes características de cada espécie das culturas de cobertura. Deste modo, caracterizando sua produção de matéria seca, acúmulo de C e N na matéria seca, bem como a decomposição e liberação de N ao longo do tempo.

Tais características distinguiram entre as espécies, e pode-se determinar que as espécies de Feijão de porco, Mucuna cinza e Mucuna preta apresentaram as melhores contribuições para a cultura do milho em sucessão, possibilitando produtividades de grãos equivalentes a obtida com a adubação nitrogenada de cobertura.

Acredita-se que a condução do estudo ao longo do tempo, em maior período (anos), obterá o equilíbrio para todas as espécies.

Em relação à sustentabilidade do sistema a adoção de plantas de cobertura deve ser considerada, devido aos inúmeros benefícios para a qualidade do solo.

7. REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. et al. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. **Global Change Biology**, v. 25, n. 8, p. 2530–2543, 13 ago. 2019.

ABDOLLAHI, L. et al. Overall assessment of soil quality on humid sandy loams: Effects of location, rotation and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 29–36, jan. 2015.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BAYER, C. et al. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 9–10, p. 1499–1511, 2009.

BOCOCK, K. L.; GILBERT, O. J. W. The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. **Plant and Soil**, v. 9, n. 2, p. 179–185, 1957.

BREVIK, E. C. et al. The interdisciplinary nature of SOIL. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 117–129, 2015.

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 and Environment**, v. 256, n. August 2017, p. 92–104, 2018.

CALEGARI, A. **Diversificação de sistemas produtivos através do uso adequado de plantas de cobertura , rotação de culturas no sistema plantio direto** Londrina, BR, 2010.

CALEGARI, A. et al. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32–39, out. 2013.

CALONEGO, J. C. et al. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31–37, 2017.

CARVALHO, A. M. DE et al. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo

sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2831–2838, dez. 2008.

CHRISTOPHER POEPLAU, A. D. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 25 fev. 2015.

CIESLIK, L. F. **LEGUMINOSAS DE VERÃO COMO COBERTURA DO SOLO PARA PRODUÇÃO DE MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v. 129, p. 40–47, 2013.

CONSTANTIN, J. et al. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 135, n. 4, p. 268–278, fev. 2010.

COOMBS, C. et al. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Field Crops Research**, v. 201, p. 75–85, 2017.

DE CARVALHO, A. M. et al. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 551–561, 2015a.

DE CARVALHO, A. M. et al. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 551–561, 2015b.

DE NOTARIS, C. et al. Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 255, n. December 2017, p. 1–11, 2018.

DERPSCH, R. et al. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 16–22, 2014.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1, p. 319–328, jan. 2005.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714–1723, 2012.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ERENSTEIN, O. et al. Conservation Agriculture in Maize- and Wheat-Based Systems in the (Sub)tropics: Lessons from Adaptation Initiatives in South Asia, Mexico, and Southern Africa. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 36, n. 2, p. 180–206, 2012.

FAO. The importance of Soil Organic Matter. In: **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION**. Rome: FAO, 2005. p. 80.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1262–1267, 2014.

GABRIEL, J. L. et al. Nitrogen use efficiency and fertiliser fate in a long-term experiment with winter cover crops. **European Journal of Agronomy**, v. 79, p. 14–22, set. 2016.

GABRIEL, J. L.; QUEMADA, M. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertiliser fate. **European Journal of Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 133–143, 2011.

GALINDO, F. S. et al. Maize Yield Response to Nitrogen Rates and Sources Associated with *Azospirillum brasilense*. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1985, 2019.

JAHANZAD, E. et al. Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residues. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1735–1741, 2016.

JILLING, A. et al. Rapid and distinct responses of particulate and mineral-associated organic nitrogen to conservation tillage and cover crops. **Geoderma**, v. 359, n. November 2019, p. 114001, 2020.

KAHLON, M. S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 151–158, 2013.

KAYE, J. P.; QUEMADA, M. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 1, p. 4, 19 fev. 2017.

KIRCHMANN, H.; THORVALDSSON, G. Challenging targets for future agriculture. **European Journal of Agronomy**, v. 12, n. 3–4, p. 145–161, 2000.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 6, p. 329–339, 2015.

LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 1–

12, 2007.

LIENHARD, P. et al. No-till and cover crops shift soil microbial abundance and diversity in Laos tropical grasslands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 2, p. 375–384, 2013.

MACARENHAS, H. A. A.; WUTKE, E. B. Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes. In: **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e práticas**. 1 Edição ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 191–224.

MAHAMA, G. Y. et al. Response of maize to cover crops, fertilizer nitrogen rates, and economic return. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 17–31, 2016.

MALAVOLTA, E. **AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS princípios e aplicações**. 2 Edição ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MBUTHIA, L. W. et al. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 24–34, 2015.

MEDRADO, R. D. et al. Decomposição de Resíduos Culturais e Liberação de Nitrogênio para a Cultura do Milho. **Scientia Agraria**, v. 12, p. 97–107, 2011.

MELLO, T. F. et al. RESIDUAL EFFECTS OF NITROGEN FERTILIZER WITH POLYMER - COATED UREA IN A CORN CROP 1. **Revista Caatinga**, v. 2125, p. 586–594, 2017.

OKUMURA, R. S. et al. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho : uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 6325, p. 226–235, 2011.

PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 187, p. 87–105, 2014.

PITTELKOW, C. M. et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, v. 517, n. 7534, p. 365–368, 22 jan. 2015.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 4, p. 639–649, 2017a.

PORTUGAL, J. R. et al. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 4, p. 639–649, 2017b.

R; CORE; TEAM. **R: a Language and Environment for Statistical Computing**. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Áustria, 2020.

Disponível em: <<https://www.r-project.org>>

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 65–75, 2014.

RESTOVICH, S. B. et al. Combining cover crops and low nitrogen fertilization improves soil supporting functions. **Plant and Soil**, v. 442, n. 1–2, p. 401–417, 2019.

RÜHLEMANN, L.; SCHMIDTKE, K. The suitability of non-legume cover crops for inorganic soil nitrogen immobilisation in the transition period to an organic no-till system. **Plant Production Science**, v. 19, n. 1, p. 105–124, 2 jan. 2016.

SADEGHI, S. H. R. et al. Scale effect on runoff and soil loss control using rice straw mulch under laboratory conditions. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2015.

SAPKOTA, T. B. et al. Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 4, p. 853–863, 2012.

SOANE, B. D. et al. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil and Tillage Research**, v. 118, p. 66–87, 2012.

STOCKMANN, U. et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **“Agriculture, Ecosystems and Environment”**, v. 164, n. 2013, p. 80–99, 2015.

SYSTAT, S. INC.-S. **Sigmaplot for Windows, Version 11.0**, 2008.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, Rs: Artmed, 2017.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, Plantas e Outros Materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Rs: UFRGS, 1995.

TEJADA, M.; BENÍTEZ, C. Effects of crushed maize straw residues on soil biological properties and soil restoration. **Land Degradation and Development**, v. 25, n. 5, p. 501–509, 2014.

TELES, A. P. B. et al. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, v. 33, n. 1, p. 34–44, 2017.

TIECHER, T. **Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, Rs: UFRGS, 2016a.

TIECHER, T. Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e

da água. p. 187, 2016b.

TIECHER, T. et al. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. **Geoderma**, v. 308, n. August, p. 78–85, 2017.

TIECHER, T. et al. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, p. 1–17, 2018.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. v. 108, n. 50, 2011.

TUZZIN DE MORAES, M. et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351–362, 2016.

USDA. Keys to Soil Taxonomy, 2010. **Change**, p. 327–328, 2010.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, v. 190, n. October 2017, p. 139–146, 2019.

WEILER, D. A. et al. Trade-off between C and N recycling and N₂O emissions of soils with summer cover crops in subtropical agrosystems. p. 213–225, 2018.

WEILER, D. A. et al. Summer Cover Crops Shoot Decomposition and Nitrogen Release in a No-Tilled Sandy Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. 1–12, 2019.

YEOMANS, J. C. .; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil 1. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. May 2013, p. 1467–1476, 1988.

ZIECH, A. R. D. et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374–382, 2015.

ZOTARELLI, L. et al. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012.

ANEXOS

Tabela suplementar 1 - Relação C/N das plantas de cobertura ao longo do período de alocação do litter a campo nas safras 2018 e 2019.

DAA	CJ	CS	FP	GA	LL	MC	MP	CS	FP	GA	LL	MC	MP
2018							2019						
0	31	17	16	20	18	14	17	17	19	20	20	19	22
15	39	18	17	23	22	18	19	17	19	20	20	20	22
30	39	18	16	22	21	18	19	21	23	20	24	22	24
45	39	16	16	23	20	17	18	23	20	24	26	22	23
60	45	18	22	27	24	20	21	22	21	25	24	19	23
90	55	18	19	25	24	21	20	20	21	21	23	18	18
120	52	20	21	27	25	24	22	23	29	33	33	23	25
150	42	15	16	26	21	19	18	21	26	28	25	22	24
180	58	21	24	27	25	22	22	18	22	24	18	14	16

CJ = Crotalaria juncea; CS = Crotalaria spectabilis; FP = Feijão de porco; GA= Guandu anão; LL= Lab lab; MP = Mucuna preta; MC = Mucuna cinza; DAA= Dias após a alocação dos litter a campo.

Tabela suplementar 2 - Relação C/N aos 120 e 150 Dias após a alocação dos litter bag a campo das plantas de cobertura estivais e adubação nitrogenada para as safras agrícolas 2018-2019 e 2019-2020.

Tratamento	120		150	
	0 N	180 N	0 N	180 N
	2018-2019			
CJ	53	51	40	44
CS	27	20	14	16
FP	21	22	17	15
GA	24	30	25	28
LL	24	28	23	19
MP	25	20	18	19
MC	22	22	19	19
	2019-2020			
CS	26	21	24	18
FP	29	20	28	24
GA	36	30	20	36
LL	37	29	37	29
MP	24	26	25	24
MC	25	22	21	23

CJ Crotalaria juncea; CS Crotalaria spectabilis; FP Feijão de porco; GA Guandu anão; LL Lab lab; MP Mucuna preta; MC Mucuna cinza; P Pousio; 0N sem adubação nitrogenada; 180N com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

Tabela suplementar 3 - Valores médios da matéria orgânica do solo MO em função das plantas de cobertura estivais e adubação de cobertura, com amostragens realizadas nas safras agrícolas de 2015 e 2017.

Profundidade	Tratamento	MO 2015		MO 2017	
		g kg ⁻³		g kg ⁻³	
		0 N	180 N	0 N	180 N
0.0-0.20	CJ	41,00	43,33	42,14	58,45
	CS	37,33	42,33	66,85	48,23
	FP	45,00	42,33	60,01	47,95
	GA	44,00	39,67	52,55	57,34
	LL	42,33	41,00	45,40	45,44
	MC	43,67	43,00	43,73	39,72
	MP	43,67	45,67	59,05	38,74
	P	41,33	38,67	45,70	48,03

CJ Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza; *P* Pousio; *0N* sem adubação nitrogenada; *180N* com adubação nitrogenada de 180 kg ha⁻¹.

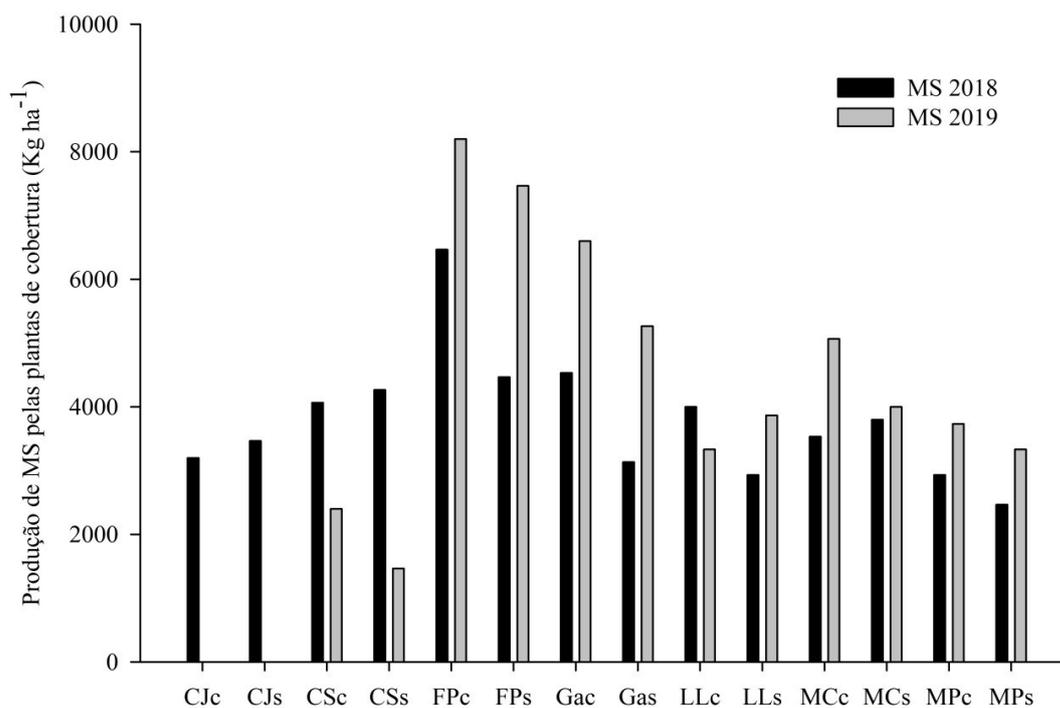


Figura Suplementar 1 - Produção de matéria seca das plantas de cobertura em 2018 e 2019. *CJ* Crotalaria juncea; *CS* Crotalaria spectabilis; *FP* Feijão de porco; *GA* Guandu anão; *LL* Lab lab; *MP* Mucuna preta; *MC* Mucuna cinza. A letra “c” junto aos tratamentos significa com uso da adubação nitrogenada de 180 Kg ha⁻¹, a Letra “s” significa sem a adubação nitrogenada de cobertura.