

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN - RS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E AMBIENTAIS
CURSO DE AGRONOMIA**

ÉVERTON DA SILVEIRA MANFIO

**POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO A PARTIR DA
INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA NO RS**

Frederico Westphalen, RS

2022

Éverton da Silveira Manfio

**POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO A PARTIR DA INTENSIFICAÇÃO
AGRÍCOLA NO RS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Frederico Westphalen – RS, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo.**

Orientador Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Frederico Westphalen, RS

2022

Éverton da Silveira Manfio

**POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO A PARTIR DA INTENSIFICAÇÃO
AGRÍCOLA NO RS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus Frederico Westphalen – RS, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo.**

Aprovado em 22 de agosto de 2022:

Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM)

(Orientador)

Gilvan Moisés Bertollo, Dr. (UFSM)

(Comissão examinadora TCC)

Ezequiel Zibetti Fornari, Eng. Agrônomo (UFSM)

(Comissão examinadora TCC)

Frederico Westphalen, RS

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois nos momentos de circunstâncias mais difíceis era por meio das orações que eu ganhava motivação e tranquilidade para seguir realizando minhas tarefas, que eram necessárias para meu desenvolvimento pessoal. À minha família, especialmente meus pais, que sempre demonstraram confiança e deram apoio nas minhas decisões. Aos amigos que fiz na faculdade, especialmente ao grupo simbólico da Agro PPO, com quem pude dividir várias vivências e se ajudar durante todo o percurso da faculdade, amigos estes, que fizeram esta jornada se tornar mais tranquila e descontraída. Ao Grupo PET Ciências Agrárias/FW, que fez com que durante um momento da graduação eu saísse da zona de conforto em busca de mais desenvolvimento. Agradeço também ao grupo LAPSUL de Frederico Westphalen, grupo que fiz parte desde o início da minha graduação, onde pude fazer boas amizades e aprender muitos ensinamentos práticos da agronomia durante a condução dos experimentos. Aos colegas que conheci durante o meu estágio, que me deram conselhos para a condução deste trabalho. Por fim, fica o agradecimento geral a UFSM campus de Frederico Westphalen, foi por meio de minha entrada no curso de agronomia, que pude fazer grandes amizades e mudar minha forma de pensar, se tornando uma pessoa melhor, seja na parte técnica, com mais conhecimentos, assim como na parte humana.

*Toda adversidade traz consigo a semente de
uma vantagem equivalente.*

(Napoleon Hill)

RESUMO

POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO A PARTIR DA INTENSIFICAÇÃO AGRÍCOLA NO RS

AUTOR: Éverton da Silveira Manfio

ORIENTADOR: Antônio Luis Santi

A grande missão atual da agricultura brasileira é seguir produzindo mais alimentos, mas de forma cada vez mais sustentável. Levando isso em consideração, o solo demonstra ser uma importantíssima ferramenta no sequestro de Carbono (C) da atmosfera, atuando na mitigação desse gás do efeito estufa. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre o potencial de sequestro de carbono em áreas de plantio direto no estado do Rio Grande do Sul e, estimar quantos hectares ficam sobre pousio no outono/inverno anualmente além de verificar quais são as culturas com maior potencial de aportar e sequestrar carbono ao solo. Para saber quantos hectares são deixados anualmente sob pousio, foi utilizado os dados disponibilizados pela plataforma do IBGE. Para encontrar quais culturas possuem maior potencial de aportar e sequestrar carbono ao solo foi realizada uma revisão de trabalhos científicos que calcularam a produção de biomassa seca pelas culturas e os teores de C presentes nesta biomassa. Nos últimos 10 anos, ficaram sob pousio no inverno em média anualmente 5,11 milhões de hectares. Teve pouca variação nos teores de C na biomassa, já para os dados de biomassa seca total produzida, pode-se observar que há uma maior variação, isso se deve principalmente pois cada pesquisa foi analisada sob condições diferentes de solo, clima e região. O consórcio entre aveia-preta + nabo-forrageiro se demonstrou o melhor sistema pensando em aporte de C ao solo, principalmente pelo seu alto potencial de produzir massa seca 7,61 Mg.ha⁻¹. De todo o C adicionado ao solo pela biomassa seca das culturas de inverno, entre 20,22% e 23,97% deste C com o passar do tempo fica estocado no solo. Se nas áreas que ficam sob pousio anualmente fossem utilizados no inverno o consórcio aveia + nabo, poderiam ser sequestrados aproximadamente 3,22 milhões de Mg de C.

Palavras-chaves: Adição de Carbono, Agricultura sustentável, Pousio, Plantas de cobertura

ABSTRACT

POTENTIAL FOR CARBON SEQUESTRATION FROM AGRICULTURAL INTENSIFICATION IN RS

AUTHOR: Éverton da Silveira Manfio

ADVISOR: Antônio Luis Santi

The great current mission of Brazilian agriculture is to continue producing more food, but in an increasingly sustainable way. Taking this into account, the soil proves to be a very important tool in the sequestration of Carbon (C) from the atmosphere, acting in the mitigation of this greenhouse gas. The objective of this work was to carry out a bibliographic review on the potential for carbon sequestration in no-tillage areas in the state of Rio Grande do Sul and to estimate how many hectares are fallow in autumn/winter annually, in addition to verifying which are the crops with the highest potential to provide and sequester carbon to the soil. To find out how many hectares are left fallow annually, data provided by the IBGE platform was used. To find which crops have the greatest potential to provide and sequester carbon to the soil, a review of scientific works was carried out that calculated the production of dry biomass by the crops and the C contents present in this biomass. In the last 10 years, an average of 5.11 million hectares have been fallowed in winter annually. There was little variation in the C contents in the biomass, as for the data of total dry biomass produced, it can be observed that there is a greater variation, this is mainly due to the fact that each experiment was analyzed under different conditions of soil, climate and region. The consortium between black oat + forage radish proved to be the best system considering the contribution of C to the soil, mainly due to its high potential to produce dry mass $7.61 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Of all the C added to the soil by the dry biomass of winter crops, between 20.22% and 23.97% of this C over time is stored in the soil. If, in the areas that fallow annually, the oat + turnip consortium were used in winter, approximately 3.22 million Mg of C.

Keywords: Addition of carbon, Sustainable agriculture, Fallow, Cover plants

1- INTRODUÇÃO	9
2- REFERENCIAL TEÓRICO	11
3- PERCURSO METODOLÓGICO	15
3.1 TIPO DE PESQUISA	15
3.2 COLETA DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DEIXADA SOB POUSIO NO RS	15
3.3 COLETA DE DADOS PARA IDENTIFICAR QUAIS CULTURAS TEM MAIOR POTENCIAL DE SEQUESTRAR CARBONO	15
3.4 CÁLCULO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO AO SE UTILIZAR DETERMINADAS CULTURAS EM ÁREAS DE POUSIO	16
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1 DADOS DA ÁREA DO RS SOBRE POUSIO NO OUTONO/INVERNO	17
4.2 DADOS DE TEORES DE C NA MASSA SECA DAS CULTURAS	18
4.3 DADOS DE MASSA SECA DAS CULTURAS	20
4.4 CULTURAS COM MAIOR POTENCIAL EM SEQUESTRAR CARBONO ...	23
4.5 POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO PELO USO DE CULTURAS DE OUTONO/INVERNO EM ÁREAS DE POUSIO	24
5- CONSIDERAÇÕES FINAIS	26

1- INTRODUÇÃO

Segundo Ferreira (2021), a produção de grãos no Sul do Brasil iniciou-se a partir do ano de 1900. Neste período, a atividade agrícola era, principalmente, a de subsistência. O manejo agrícola era precário, com uso de tração animal e algumas práticas degradantes ao solo, como às queimadas, em que reduzia parte da matéria orgânica do solo. A principal atividade econômica era focada no setor agropecuário, com a pecuária, e nas culturas do milho, trigo, feijão e lentilha.

A mudança de campo nativo, que era muito presente no RS, para adoção de práticas agrícolas, afetou significativamente os teores de carbono (C) no perfil do solo, devido ao uso intensivo de maquinário, o que ocasionavam em grandes perdas de C do sistema (Ferreira, 2014). O que fez com que a expansão do agronegócio se tornasse um dos fatores que faz com que a agricultura brasileira seja considerada uma emissora de gases de efeito estufa. Segundo Boddey, (2012) o setor do agronegócio foi responsável por mais de 20% das emissões totais de gases do país.

Com o passar dos anos e a chegada de novas tecnologias, a agricultura passou a ser mais mecanizada, com indicações de novas formas de manejos mais sustentáveis e rentáveis ao longo do prazo. Um exemplo conhecido foi a chegada do plantio direto, o uso da calagem, e a implementação de culturas de cobertura no inverno.

É de conhecimento geral, que a população mundial está tendo um aumento anualmente, e a produção de alimentos deve acompanhar esse ritmo para que se possa ter alimento para toda a população. Porém, tão importante quanto produzir mais, é também, produzir de forma sustentável. A sociedade está cada vez mais crítica quanto a forma de se produzir alimentos. E a frequência que se tem ocorrido mudanças climáticas a nível mundial está se intensificando a cada ano, sendo que a principal causa apontada para esses acontecimentos, segundo Santi (2007), é justamente a ação do homem sobre o ambiente, o que vem contribuindo para aumento nas emissões de gases de efeito estufa.

Por isso, conforme Denardin (2012) também apontou, o principal desafio atual da agricultura brasileira, é seguir estimulando o crescimento, produzindo mais e sendo cada vez mais rentável, e ao mesmo tempo produzir alimentos de forma sustentável, e aliado a isso reduzir as taxas de emissões de gases do efeito estufa.

O solo é dado como uma importantíssima ferramenta na dinâmica do C no ambiente, e tem potencial de sequestrar o principal gás responsável pelo efeito estufa, que é o gás carbônico (CO₂). Sendo que feito um manejo correto do solo do qual é utilizado

para a agricultura, pode contribuir na mitigação desses gases, principalmente pelo potencial de sequestro de carbono pelas culturas (Santi, 2007).

E dentro do setor agropecuário existe uma área ainda pouco explorada, mas com potenciais de se tornar mais relevante, que são os créditos de carbono, sendo que é possível visualizar uma enorme possibilidade de a agricultura ser uma grande fonte para geração destes créditos. Onde que, os produtores podem estar sequestrando o carbono da atmosfera e podem ser remunerados por isso. Conforme Inácio Filho (2022), os créditos de carbono podem ser gerados a partir da não emissão de uma tonelada de carbono na atmosfera, feito a partir da comparação entre um cenário base e o atual conforme mudanças que sejam feitas em um sistema, podendo ser a mudança de manejo de uma área a partir de uma intensificação sustentável. Sendo o estoque de carbono no solo uma das possibilidades para se gerar esses créditos.

Uma prática que tem potencial em adicionar mais resíduos ao solo e consequentemente sequestrar mais C é o uso de plantas de coberturas de outono/inverno em áreas de pousio, onde se tem mínimos acréscimos de resíduos. Sabe-se que anualmente ainda são deixados milhares de hectares sobre pousio no inverno no Rio Grande do Sul. Para comprovar que a agricultura tem capacidade em sequestrar C, é necessário saber quais são as culturas com maiores teores do elemento em sua palhada, e que consequentemente possuem maior capacidade em sequestrar o C da atmosfera. Para a partir disso definir quais arranjos de culturas podem ter maior capacidade de sequestrar C, produzir mais, e com um possível cenário futuro em que exista uma metodologia definida e um mercado regulado poder definir manejos mais eficientes para geração de créditos de carbono.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre o potencial de sequestro de carbono em áreas de plantio direto no estado do Rio Grande do Sul (RS) e, estimar quantos hectares ficam sobre pousio no outono/inverno anualmente além de verificar quais são as culturas com maior potencial de aportar e sequestrar carbono ao solo.

2- REFERENCIAL TEÓRICO

Em ecossistemas naturais sem interferência antrópica, como por exemplo áreas florestais ou áreas de reserva legal presentes nas propriedades rurais, Dávila (2016) afirma que os estoques de C no solo se mantem em equilíbrio nestes ambientes, por um longo período. Porém, quando se tem interferência antrópica, principalmente quando for para expansão agrícola, ou seja, aberturas de novas áreas, a tendencia é que os estoques de C no solo tenham uma diminuição nos primeiros anos de uso agrícola.

E para que se recupere esses estoques perdidos, é necessário que haja uma estabilização no sistema, o que seria um processo contínuo de intensificação sustentável. Conforme Ruedell (2019), isso é possível principalmente pelo aporte anual de biomassa ao solo, sendo mais eficiente quando se tem uso de rotação de culturas, ou pelo menos, o uso de mais de uma cultura no sistema.

Segundo o que foi constatado por Denardin (2012), há diferença entre plantio direto, que já é amplamente praticado no Brasil, do sistema plantio direto (SPD). Sendo que o SPD não é simplesmente realizar a semeadura direto na palha, mas também, ampliar a biodiversidade, com a diversificação de espécies no sistema, colher e em seguida semear, não deixar o solo descoberto por muito tempo, aportar material orgânico ao solo, usar insumos de forma precisa, controlar o tráfego de maquinário, adoção de manejos integrados no controle de pragas e doenças, entre outros fatores. Sendo que atualmente, a maioria das áreas utilizadas para agricultura não adotam o SPD por completo.

Lima (2014) relatou algo semelhante. O SPD é uma forma de manejo conservacionista, fundamentado principalmente pelo não revolvimento do solo e a realizar a semeadura direto na palha da cultura antecessora. Porém, segundo o mesmo autor, existem outros parâmetros dentro do SPD, como a rotação de culturas e a presença permanente de palha sobre o solo, não podendo existir vazios em determinadas estações. Sendo que a ausência de movimentação do solo, ou seja, o uso de plantio direto, aliado com o uso de rotação de culturas com práticas mais conservacionistas e sustentáveis potencializam o acúmulo de C nos solos agrícolas (Jantalia, 2003).

A importância de se praticar sistemas que levam em consideração todos os parâmetros do SPD são importantes para potencializar o sequestro de C. Sendo que, conforme dito por Campos (2006), a principal fonte de C para o solo é através dos resíduos vegetais que ficam das culturas, que é obtido pela transformação do CO₂ atmosférico pelo processo de fotossíntese em substâncias orgânicas que ficam no solo

pela palhada das culturas. Redin (2010) explica que esses resíduos vegetais ficam no solo tanto pela parte aérea das culturas como também pelas raízes, sendo que, durante a decomposição destes resíduos, algumas moléculas e nutrientes são mineralizados, com destaque principalmente para o nitrogênio (N) e o (C). Deste modo, a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha papel relevante na qualidade do solo e pode atuar como dreno de CO₂ atmosférico em solos sob sistemas de manejo conservacionista (Campos, 2011). Por isso avaliar quais culturas e sistemas de manejo propiciam maior aporte de resíduos ao solo é também descobrir quais sistemas tem mais capacidade em sequestrar C da atmosfera.

O solo é o maior reservatório de C que se pode ter, porém, historicamente a expansão da agricultura em áreas até então de vegetação nativa, provocou perdas de C no solo. Mas ao mesmo tempo, sistemas de manejo agrícola mais conservacionistas conseguem manter o equilíbrio de C no solo, e com uma intensificação sustentável podem até recuperar estoques de C de áreas degradadas (Dávila 2016)

A produtividade de um sistema agrícola está diretamente relacionada com o estoque de C no solo, pois a palhada que é a principal fonte de C, segundo Lima (2014), é um dos componentes principais do sistema plantio direto, e propicia um ambiente mais favorável ao longo do tempo para as culturas se desenvolverem, trazendo melhorias nas condições químicas, físicas e biológicas do solo. O uso de diferentes espécies de plantas de cobertura contribui nas melhorias dos atributos do solo, como por exemplo a ciclagem de nutrientes, controle de daninhas, e entre esses fatores, o acréscimo de C nos sistemas.

Como por exemplo, quando comparado o plantio direto ao plantio convencional, os estoques de C no plantio direto são maiores, isso já foi constatado por Bayer (2002). Ruedell (2019) explica que isso é devido ao aumento no aporte de C e N em sistemas agrícolas, devido ao aumento da intensificação sustentável com o uso de rotação de culturas afeta positivamente os estoques tanto de C como de N do solo.

Como encontrado por Campos (2011), quando se tem uma diversificação nos sistemas de cultivos, ou seja, o uso de diferentes espécies ao longo dos anos agrícolas, conseqüentemente há um maior aporte de C em comparação a sistemas de monocultura ou baixa intensificação de rotação, como por exemplo sistemas de sucessão com apenas uma cultura no verão e outra no inverno, sendo as mesmas praticamente todos os anos.

Segundo Viero (2016), um sistema utilizando as mesmas culturas e manejos de rotação, quando cultivado em plantio direto e em convencional, o SPD tem capacidade maior em estocar C ao solo, cerca de 19% a mais, e isso se deve principalmente pelo não

revolvimento do solo que permite a conservação da matéria orgânica. E quando há uma maior rotação de culturas no plantio direto, principalmente o consórcio entre gramíneas e leguminosas, com o passar do tempo é visível o aumento na qualidade do solo. O mesmo potencial do plantio direto em sequestrar C em comparação ao sistema convencional foi comprovado por Campos (2006), que evidenciou que o plantio direto foi capaz de fornecer 27% a mais de C ao solo, demonstrando a importância de sistemas sustentáveis de produção que mantenham a palhada sobre o solo.

Os dados obtidos por Campos (2006) foram que o sistema convencional adicionou $3,43 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de C e o plantio direto $4,34 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o que equivale a $+0,91 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ganhos apenas pela mudança do sistema de preparo do solo. Sendo que, quando se compara dois extremos, um SPD com um nível elevado de rotação, com um sistema convencional sem rotação nenhuma, a diferença em aporte de C ao solo é ainda mais significativa, sendo 109% a mais de C adicionado ao solo anualmente.

Nicoloso (2019) após analisar 22 anos de experimentos, evidenciou que um sistema de cultura com rotação, tendo no sistema culturas como soja, milho, trigo, aveia, nabo e ervilhaca, aportou 55% mais C em comparação a um sistema que apenas se praticava a sucessão entre soja e trigo, e ao mesmo tempo que adicionou mais C, o sistema com mais culturas disponibilizou mais nutrientes ao solo, devido a fixação biológica de N e ciclagem de nutrientes, o que acarretou também em maiores produtividades, confirmando que sistemas que proporcionam mais aporte de C ao solo também estão relacionados com mais produtividade.

Um trabalho semelhante foi realizado por Amado (2001), onde comparou a adição anual de C entre dois sistemas, onde se utilizava milho no verão, com pousio no inverno, em comparação a um sistema onde se usaram diferentes plantas de cobertura no inverno não deixando a área em pousio, sendo que, em média, apenas em se utilizar uma cultura no inverno, pode-se adicionar anualmente $0,36 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a de C. Ao fim do estudo, ele também calculou quando desse C adicionado anualmente interferiu realmente no estoque de C do solo, ou seja, quanto do C adicionado sobre o solo ficou estocado. O resultado foi que ao usar uma cultura no inverno ao invés de deixar a área em pousio, pode-se estocar, ao decorrer de 8 anos, $2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a mais de C ao solo.

Campos (2006) também encontrou resultados semelhantes aos dois trabalhos anteriores, mesmo sendo feitos em regiões e em condições diferentes. Segundo esse autor, quando se tem uma intensificação sustentável agrícola, neste caso, um SPD com alta rotação de culturas, tanto no inverno como no verão, variando entre gramíneas e

leguminosas, em comparação com um sistema de manejo com baixa rotação, com monocultura no verão e no inverno, o primeiro em comparação ao segundo consegue adicionar anualmente $2,12 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a mais de C. Comprova-se então, que de modo geral, um SPD, com maior acréscimo de palha ao solo, tem maior potencial de sequestrar C em comparação a sistemas convencionais, ou SPD com pouca rotação de culturas, resta saber quais culturas, que se implementadas em sistemas agrícolas sem rotação, teriam maior potencial de sequestro de C.

Ferreira (2021) por exemplo, selecionou diferentes áreas agrícolas situadas RS, sobre agricultura conservacionista, e experimentos de longa duração com SPD, tendo como objetivo quantificar os estoques de C no solo nessas áreas, e principalmente o potencial do nabo forrageiro em aumentar os estoques de C do solo, uma planta de cobertura bastante usada no RS. Ferreira (2021) pôde verificar, que nas áreas de fazenda onde se praticava uma agricultura conservacionista e se tinha maior uso do nabo forrageiro no sistema, seja solteiro ou em consórcio com a aveia-preta, em comparação com as áreas experimentais, onde se teve menor uso do nabo no sistema, no longo prazo se teve maiores níveis de C no solo nas áreas onde o nabo forrageiro esteve mais presente, sendo concluído que isso se deve pelo maior acréscimo de biomassa vegetal que o nabo forrageiro proporcionou ao sistema, levando em consideração que parte da palhada deixada é C.

3- PERCURSO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa realizada neste trabalho foi feita a partir de dados secundários, sejam dados disponibilizados em sites governamentais, neste caso, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou dados de artigos já publicados que fossem referentes ao tema estudado.

3.2 COLETA DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DEIXADA SOB POUSSIO NO RS

Para encontrar a primeira variável do estudo, onde se buscava saber quantas hectares são deixadas anualmente sob poussio no RS, foi utilizado os dados disponibilizados pela plataforma do IBGE, no banco de tabelas estatísticas, que é o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Dentro do banco de tabelas estatísticas foi selecionado o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, focando nos dados do estado do RS. Neste banco de dados do SIDRA, é possível buscar qual foi a produção anual de cada cultura no estado, e quantas hectares foram semeadas de cada cultura.

Foi selecionado quais eram as principais culturas de verão e de inverno semeadas no estado anualmente, levando em consideração os últimos 10 anos. E para descobrir quantas hectares eram deixadas sobre poussio anualmente nestes últimos 10 anos, foi calculado quantas hectares foram semeadas no verão, e quantas hectares foram semeadas no inverno, sendo que a diferença, considerou-se áreas que foram deixadas sobre poussio no inverno.

3.3 COLETA DE DADOS PARA IDENTIFICAR QUAIS CULTURAS TEM MAIOR POTENCIAL DE SEQUESTRAR CARBONO

O segundo passo foi analisar quais são as culturas utilizadas no outono e inverno no RS que tem maior potencial em sequestrar C da atmosfera. Para isso, foi feita uma revisão de trabalhos científicos que calcularam os teores de C presentes na biomassa seca que é deixada sobre o solo, pelas principais culturas de outono e inverno cultivadas no

estado do RS, esses dados foram tabelados, e foi calculado a média e o desvio padrão, a fim de definir quais culturas possuem maiores porcentagens de C em sua biomassa seca. Sendo que foram selecionados artigos que fizeram seus estudos sob plantio direto.

Em seguida, foi analisado quais culturas utilizadas no outono e inverno no RS tem maior potencial em produzir biomassa seca ao final do seu ciclo. Para isso, semelhante a análise anterior, foi selecionado trabalhos científicos que calcularam a produção de biomassa seca das culturas. Esses dados foram tabelados e calculado a média e desvio padrão. Para a busca dos trabalhos também foi selecionado artigos que fizeram seus experimentos sob plantio direto.

Todos os trabalhos utilizados para o levantamento dos dados foram encontrados a partir de pesquisa em sites de produção científica, como google acadêmico, periódicos capes, e mananciais de universidades. Utilizando para a pesquisa palavras-chaves relacionadas com o trabalho, como por exemplo: Carbono, Sequestro de Carbono, Plantio-direto, Plantas de cobertura, Biomassa seca, Teores de C.

3.4 CÁLCULO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO AO SE UTILIZAR DETERMINADAS CULTURAS EM ÁREAS DE POUSSO

Por fim, foi discutido o potencial de sequestro de C se fossem usadas nas áreas deixadas sobre pouso no inverno as culturas de cobertura que possuem maior potencial em sequestrar o elemento da atmosfera. Sendo que foi considerado que parte da biomassa seca deixada no solo pelas culturas é composta por C, e este foi sequestrado da atmosfera e deixado sobre o solo, porém, apenas parte deste C ficará estocado no solo com o passar do tempo. Então, por fim, foi buscado dados de pesquisas que fosse possível calcular quanto deste C deixado sobre o solo ao final do ciclo das culturas com o passar do tempo é estocado.

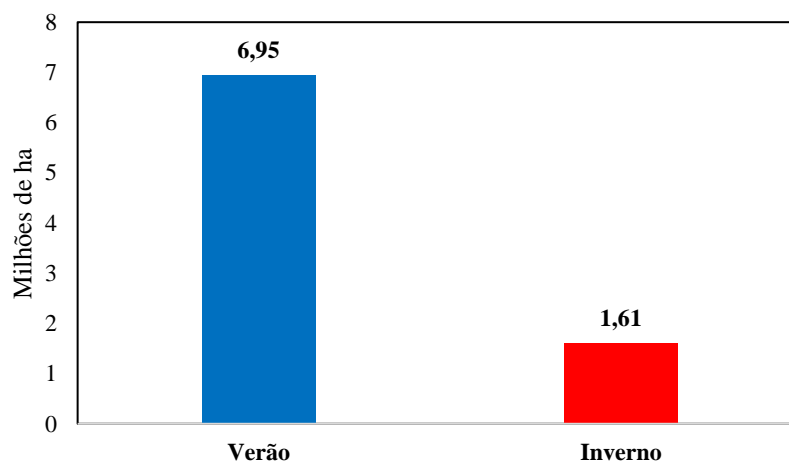
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS DA ÁREA DO RS SOBRE POUSIO NO OUTONO/INVERNO

Foi analisado os dados do IBGE, com relação a área semeada das principais culturas do RS no ano de 2021, tanto do inverno como do verão, levando em consideração que as principais culturas de inverno no RS são o trigo, aveia, cevada, centeio e triticale, e as principais culturas do verão são soja, milho, feijão, girassol e sorgo, não levando em consideração a cultura do arroz, muito utilizada no RS, porém possui peculiaridades em seus sistemas de cultivo, sendo muitas vezes difícil implantar um SPD e sucessão de culturas em sistemas que se tem o arroz como cultura principal.

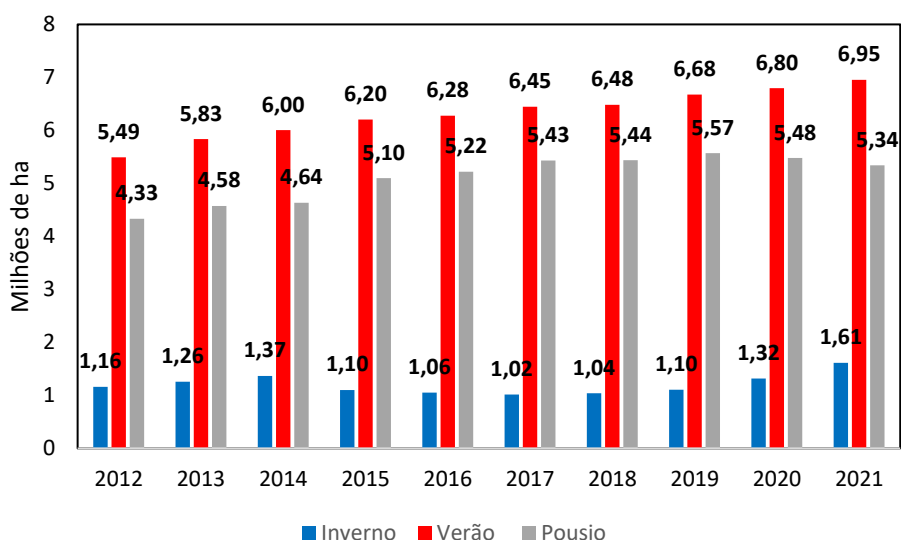
Foram inicialmente analisados os dados do ano 2021. Pode-se avaliar que grande parte da área cultivada no RS está sob PD, e não SPD, pelo fato de que a área utilizada no verão não é na mesma proporção que no inverno, logo, se evidencia que não houve rotação nessas áreas, nem mesmo, um sistema de sucessão de culturas. No verão foram semeadas ao todo 6.951.488 de hectares, sendo que no inverno, este número cai para 1.614.893, uma diferença de 5.336.595 hectares, área esta que poderia ser explorada comercialmente por culturas comerciais como aveia, trigo e triticale, ou incluído plantas de coberturas a fim de melhorias na física e química do solo.

Figura 1: Área semeada no Estado do RS no verão e no inverno no ano de 2021



A fim de verificar esta diferença em anos anteriores, foi analisado não só o ano de 2021, mas os 10 anos anteriores, desde 2012, o montante de área semeada das principais culturas de inverno e verão, seguindo a mesma lógica da análise anterior. Evidenciou-se, levando em consideração os últimos 10 anos, uma diferença entre a área semeada no verão para o inverno de anualmente 5,11 milhões de hectares.

Figura 2: Área semeada no estado do RS no verão e no inverno nos últimos 10 anos



4.2 DADOS DE TEORES DE C NA MASSA SECA DAS CULTURAS

A fim de definir quais culturas potencializam o sequestro de C no solo, a partir de dados secundários de artigos, foi pesquisado valores já encontrados de teores de C na massa seca em g.Kg^{-1} das principais culturas de cobertura e de grãos cultivadas no outono/inverno no RS, e a partir disso, saber qual a porcentagem média de C que cada cultura possui em sua palhada deixada sobre o solo. Na tabela 1 pode ser conferido os dados encontrados, divididos por cultura.

Tabela 1: Dados de C em g.Kg^{-1} para as principais culturas de outono e inverno utilizadas no RS

(continua)

Cultura	Teor de C (g.Kg^{-1})	Porcentagem (%)	Fonte
Aveia-Preta	394	39,4	Ruedell apud Campos (2006)
Aveia-Preta	470	47,0	Gonçalves (1999)
Aveia-Preta	478	47,8	Redin (2014)
Aveia-Preta	422	42,2	Doneda (2013)
Aveia-Preta	410	41,0	Nemirscki (2019)
Aveia-Preta	420	42,0	Ziech (2015)
Aveia-Preta	400	40,0	Ziech (2015)
Média	427,71		
Desvio Padrão	33,23		
Nabo-forrageiro	340	34,0	Bianchi apud Campos (2006)
Nabo-forrageiro	459	45,9	Redin (2014)
Nabo-forrageiro	395	39,5	Doneda (2013)
Nabo-forrageiro	397	39,7	Nemirscki (2019)

Nabo-forrageiro	389	38,9	Ziech (2015)
Nabo-forrageiro	353	35,3	Ziech (2015)
Nabo-forrageiro	485	48,5	Carneiro (2008)
Média	402,57		
Desvio Padrão	52,63		
Tremoço-azul	460	46,0	Gonçalves (1999)
Tremoço-azul	476	47,6	Redin (2014)
Média	468		
Desvio Padrão	11,31		
Ervilhaca-forrageira	388	38,8	Gonçalves (1999)
Ervilhaca-forrageira	480	48,0	Redin (2014)
Ervilhaca-forrageira	420	42,0	Doneda (2013)
Ervilhaca-forrageira	394	39,4	Nemirscki (2019)
Média	420,5		
Desvio Padrão	42,02		
Azevém	464	46,4	Redin (2014)
Azevém	418	41,8	Nemirscki (2019)
Média	441		
Desvio Padrão	32,52		
Centeio	420	42,0	Doneda (2013)
Centeio	474	47,4	Redin (2014)
Centeio	415	41,5	Ziech (2015)
Centeio	392	39,2	Ziech (2015)
Média	425,25		
Desvio Padrão	34,71		
AP + EF	412	41,2	Doneda (2013)
AP + EF	412	41,2	Nemirscki (2019)
AP + EF	405	40,5	Ziech (2015)
AP + EF	392	39,2	Ziech (2015)
Média	405,25		
Desvio Padrão	9,42		
AP + EF + N	399	39,9	Ziech (2015)
AP + EF + N	394	39,4	Ziech (2015)
Média	396,5		
Desvio Padrão	3,53		

AP + EF= Aveia-preta + Ervilhaca forrageira. AP + EF + N= Aveia-preta + Ervilhaca forrageira + Nabo forrageiro.

Redin (2014) também calculou a porcentagem de C no tecido da cultura do trigo, encontrando um teor de C de 466 g.Kg⁻¹, o que equivale a uma porcentagem de 46,6 de C na massa seca. Doneda (2013) também fez o mesmo cálculo para o consórcio entre aveia-preta + nabo-forrageiro, encontrando um teor de 400 g.Kg⁻¹ na massa seca, o que equivale a 40% de C.

Ao analisar os dados, pode-se ver que se tem pouca variação nos teores de C na biomassa obtidos, sendo que independentemente das condições em que foi cultivada determinada cultura, os teores de C no tecido permanecerão com poucas variações, ficando entre 34 a 48,5 g.Kg⁻¹ Sendo o tremoço-azul a cultura com maiores teores de C

na biomassa seca, 46,8 g.Kg⁻¹, demonstrando ser uma cultura com potencial para sequestrar C ao solo.

Isso serve também para a cultura do trigo, segundo Redin (2014), possui uma porcentagem de C na massa seca equivalente a 46,6%, sendo uma cultura que pode sequestrar C ao solo, e ao mesmo tempo pode ser usada como uma cultura comercial no inverno, gerando renda pela comercialização do seu grão.

4.3 DADOS DE MASSA SECA DAS CULTURAS

A porcentagem de C presente na biomassa da cultura é importante para determinarmos quais tem maior potencial de acrescentar C ao solo, mas também aliado a isso, é saber o potencial da cultura em produzir palhada, ou seja, massa seca. Pois, conseqüentemente, quanto mais palhada ao solo, mais C sequestrado e mais C será estocado ao solo.

Na tabela 2, seguem os dados encontrados a partir de análise em artigos e trabalhos científicos da massa seca produzida das principais culturas de outono e inverno utilizadas no estado, e consórcios entre culturas, encontrados por diferentes autores. A fim de visualizar quais culturas tem maior potencial de produzir palhada, e conseqüentemente, maior aporte de C ao solo.

Tabela 2: Dados de massa seca (Mg.ha⁻¹) para das principais culturas de outono/inverno utilizadas no RS.

(continua)

Cultura	Massa seca (Mg.ha⁻¹)	Fonte
Aveia-Preta	5,76	Ruedell apud Campos (2006)
Aveia-Preta	3,29	Gonçalves (1999)
Aveia-Preta	2,42	Doneda (2013)
Aveia-Preta	8,41	Nemirscki (2019)
Aveia-Preta	2,74	Koefender (2016)
Aveia-Preta	6,49	Nemirscki (2018)
Aveia-Preta	3,48	Nemirscki (2018)
Aveia-Preta	5,30	Nemirscki (2018)
Aveia-Preta	6,27	Carneiro (2008)
Aveia-Preta	3,00	Ziech (2015)
Aveia-Preta	4,70	Ziech (2015)
Média	4,71	
Desvio Padrão	1,91	
Nabo-forageiro	3,42	Bianchi apud Campos (2006)
Nabo-forageiro	8,71	Doneda (2013)
Nabo-forageiro	7,61	Nemirscki (2019)

Nabo-fORAGEIRO	2,74	Koefender (2016)
Nabo-fORAGEIRO	3,44	Nemirscki (2018)
Nabo-fORAGEIRO	6,68	Nemirscki (2018)
Nabo-fORAGEIRO	7,33	Nemirscki (2018)
Nabo-fORAGEIRO	5,29	Carneiro (2008)
Nabo-fORAGEIRO	2,20	Ziech (2015)
Nabo-fORAGEIRO	2,66	Ziech (2015)
Média	5,01	
Desvio Padrão	2,41	
Tremoço-azul	5,02	Gonçalves (1999) Nemirscki (2019)
Tremoço-azul	5,54	(conclusão)
Tremoço-azul	6,45	Nemirscki (2019)
Média	5,67	
Desvio Padrão	0,72	
Ervilhaca-fORAGEIRA	1,59	Gonçalves (1999)
Ervilhaca-fORAGEIRA	5,54	Doneda (2013)
Ervilhaca-fORAGEIRA	5,89	Nemirscki (2019)
Ervilhaca-fORAGEIRA	2,10	Koefender (2016)
Ervilhaca-fORAGEIRA	6,26	Nemirscki (2018)
Ervilhaca-fORAGEIRA	4,04	Nemirscki (2018)
Ervilhaca-fORAGEIRA	5,36	Nemirscki (2018)
Média	4,40	
Desvio Padrão	1,88	
Azevém	6,74	Nemirscki (2019)
Azevém	5,49	Nemirscki (2018)
Azevém	2,58	Nemirscki (2018)
Azevém	3,90	Nemirscki (2018)
Média	4,68	
Desvio Padrão	1,82	
Centeio	3,56	Doneda (2013)
Centeio	4,07	Ziech (2015)
Centeio	4,56	Ziech (2015)
Média	4,06	
Desvio Padrão	0,50	
Trigo	3,35	Nicoloso (2019)
Trigo	5,00	Nicoloso (2019)
Trigo	3,95	Nicoloso (2019)
Trigo	5,79	Nemirscki (2018)
Trigo	3,81	Nemirscki (2018)
Trigo	5,13	Nemirscki (2018)
Média	4,51	
Desvio Padrão	0,94	
AP + N	8,12	Doneda (2013)
AP + N	7,90	Nemirscki (2018)
AP + N	6,94	Nemirscki (2018)
AP + N	7,47	Nemirscki (2018)
Média	7,61	
Desvio Padrão	0,52	
AP + EF	5,71	Ruedell apud Campos (2006)

AP + EF	3,74	Doneda (2013)
AP + EF	8,09	Nemirscki (2019)
AP + EF	2,91	Koefender (2016)
AP + EF	4,00	Ziech (2015)
AP + EF	4,45	Ziech (2015)
Média	4,82	
Desvio Padrão	1,85	
AP + EF + N	2,60	Ziech (2015)
AP + EF + N	4,51	Ziech (2015)
Média	3,56	
Desvio Padrão	1,35	

AP + EF= Aveia-preta + Ervilhaca forrageira. AP + EF + N= Aveia-preta + Ervilhaca forrageira + Nabo forrageiro.

Pode-se observar que há uma maior variação de um autor para o outro em relação ao valor de massa seca produzida por determinada cultura, isso se deve principalmente pois cada experimento foi analisado sob condições diferentes de solo, clima e região. Sendo que, a produção de biomassa de uma cultura vai depender das condições em que ela está instalada.

Isso pode ser visível ao analisar os dados obtidos por Nemirscki (2018), que avaliou a produção de massa seca de algumas culturas em três anos seguidos, e, sobre as mesmas condições de solo de um ano para o outro houve variações.

A mesma lógica pode ser vista nos dados de massa seca produzidas pelo trigo, encontrados por Nicoloso (2019), ele avaliou a produção da massa seca no trigo sendo posicionado em diferentes sistemas de manejo. Apenas em sucessão da soja, em sistema de rotação com soja, trigo e milho, e por último em sistema de rotação mais completa, no verão entre soja e milho, e no inverno entre trigo, aveia-preta + ervilhaca e nabo. Sendo que, em cada manejo houve variações na produção de massa seca do trigo, comprovando que o sistema de rotação ou sucessão utilizado influencia na produção de massa seca de uma determinada cultura.

Podemos ver também que Doneda (2013) encontrou valores altos de massa seca para o nabo forrageiro (8,71 Mg.ha⁻¹), muito devido o nabo ter sido implantado após uma cultura leguminosa, que no caso era a soja. Pôr o nabo ter uma capacidade maior em assimilar o N disponível no solo, deste modo, quando implantado após uma cultura leguminosa, ele consegue produzir maior quantidade de massa seca. Ao contrário do que encontrou Ziech (2015), em seu estudo, o nabo forrageiro produziu bem menos massa seca (2,2 Mg.ha⁻¹), neste caso, o nabo foi implantado em um sistema onde tinha anteriormente milho, ou seja, teve menos disponibilidade de N por não ser uma cultura leguminosa antecessora, e, segundo o próprio autor, a cultura sofreu por condições

adversas durante o desenvolvimento (época de semeadura e precipitação), o que explica a menor produção de massa seca.

Sabe-se então, que uma cultura dependendo o sistema em que ela é manejada possui potenciais diferentes em sequestrar C, Campos (2006) visualizou isso ao estudar a adição de C por culturas em diferentes formas de manejo, sejam em sistemas de sucessão com apenas duas culturas ou rotação com diversas. Por exemplo, a cultura do trigo quando posicionada em sucessão a soja, em média, ao longo de 19 anos adicionou anualmente $1,41 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de C, porém, quando posicionado em um sistema onde havia uma rotação de culturas no inverno, intercalando o trigo com aveia-preta, o acúmulo anual de C ao solo pelo trigo foi de $2,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$.

Mas, de modo geral, independentemente das variações que tenham devido as circunstâncias onde foram efetuadas as pesquisas, pode-se ver o potencial das culturas de inverno na produção de massa seca, e conseqüentemente, sua capacidade em acrescentar e sequestrar C ao solo.

4.4 CULTURAS COM MAIOR POTENCIAL EM SEQUESTRAR CARBONO

O consórcio entre aveia-preta + nabo-forrageiro se demonstrou o melhor sistema pensando em aporte de C ao solo, principalmente pelo seu alto potencial de produzir massa seca $7,61 \text{ Mg.ha}^{-1}$, o que equivale a $3,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$ de C.

Outra cultura que merece destaque e que ainda é pouco explorada a nível de estado é o tremoço-azul, é a cultura com maiores porcentagens de C presentes na massa seca (46,8%), e com bom potencial de produção de biomassa se bem manejado, o que garante altos aportes de C ao solo.

Os consórcios com a presença de ervilhaca-forrageira, ou a própria cultura sozinha, em comparação as outras culturas não demonstraram ter o mesmo potencial de disponibilizar C ao solo, muito provavelmente pela sua alta relação C/N, mas que traz outros benefícios pensando no sistema agrícola como um todo, principalmente fixação de N no solo.

4.5 POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO PELO USO DE CULTURAS DE OUTONO/INVERNO EM ÁREAS DE POUSIO

Segundo os dados obtidos do IBGE, ficam sob pousio no inverno em média anualmente 5,11 milhões de hectares. Levando em consideração hoje as culturas que são utilizadas em maior escala no inverno, que são trigo e aveia-preta, ao usar estas culturas nessas áreas de pousio, quanto poderia ser adicionado de C ao solo em apenas um ano.

O trigo em média é capaz de produzir $4,51 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de massa seca, com uma porcentagem de C de 46,6%, isso equivale a $2,10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de C que podem ser sequestrados e deixados sobre o solo, estendendo para as 5,11 milhões de hectares, seriam 10,73 milhões de Mg de C sequestrados. O mesmo cálculo pode ser feito para a aveia-preta, sua produção média de massa seca é de 5,04, com uma porcentagem de 42,8% de C, isso equivale a $2,16 \text{ Mg}$ de C sequestrados e deixados sobre o solo, com seu uso nessas áreas de pousio, seriam 11,03 milhões de Mg que seriam deixados de C sobre o solo.

Porém, sabe-se que nem todo o C adicionado sobre o solo através da palhada ficará acumulado e estocado no solo, mas para que se tenha um maior acúmulo, dependerá da quantidade de C adicionado ao sistema pelos resíduos de cultura, onde que, quanto mais C adicionado ao solo mais será acumulado, por isso, a escolha das culturas que irão compor o sistema de rotação é fundamental (Gonçalves 1999).

Sabe-se então, que nem todo o C sequestrado da atmosfera e adicionado ao solo por meio da biomassa das culturas será realmente estocado ao solo, parte dele se perde no processo de mineralização da palhada, então, se considera realmente sequestrado aquela parte em que com o passar do tempo fica estocado no solo.

Por exemplo, ao analisar os dados obtidos por Secretti (2017), ele avaliou diferentes sistemas de monocultura, sucessão e rotações de cultura no que se diz respeito ao potencial destes sistemas em estocar C ao solo. Ao comparar dois sistemas, um de monocultura de soja e pousio no inverno, com um sistema de sucessão onde se tinha soja no verão, e o uso de ervilhaca, aveia, e aveia + ervilhaca no outono/inverno, ao decorrer de três anos, o sistema com uso de culturas no outono/inverno foi capaz de estocar $+1,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de C em comparação ao sistema de monocultura apenas de soja que teve um decréscimo nos níveis de C de $-0,10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Mas outra questão interessante que pode ser avaliada nos dados de Secretti (2017), é que no sistema de soja com uso de plantas de cobertura (aveia e ervilhaca) no inverno, no decorrer dos três anos, ao todo, foi aportado $12,96 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de massa seca,

levando em consideração que a porcentagem de C presente no tecido da aveia e da ervilhaca fica entorno de 42%, pode-se dizer que foi adicionado ao solo 5,44 Mg.ha⁻¹ de C, mas destes, 1,10 Mg.ha⁻¹ por hectare realmente com o decorrer do tempo foram estocados no solo e sequestrado, o equivale a um aproveitamento de 20,22%.

O mesmo pode ser observado no trabalho desenvolvido por Gonçalves (1999), semelhante a pesquisa feita por Secretti (2017), ele avaliou a influência de plantas de cobertura de inverno aos estoques de C do solo, em comparação a um sistema de pousio onde não foi aportado nada de biomassa no inverno. Foi avaliado o efeito ao decorrer de seis anos, a aveia-preta, no sexto ano (único ano em que foi avaliado a biomassa) produziu 3,29 Mg.ha⁻¹ de massa seca, tendo a hipótese que ela tenha produzido valores semelhantes de massa seca nos anos anteriores, ao decorrer de seis anos ao todo foi produzido 19,74 Mg.ha⁻¹, levando em conta que a aveia-preta possui em média 42,8 % de C na massa seca, pode-se dizer que foi aportado ao solo durante os seis anos cerca de 8,44 Mg.ha⁻¹ de C, sendo que destes, 1,81 Mg.ha⁻¹ realmente foram estocados no solo no passar dos seis anos, ou seja, um aproveitamento de 21,44%.

Com a cultura do tremoço-azul também foi semelhante, no decorrer de seis anos, foi deixado no solo cerca de 30,12 Mg.ha⁻¹ de massa seca, com uma porcentagem média de 46,8% de C no tecido, isso equivale a 14,1 Mg.ha⁻¹ de C deixados no solo, sendo que, 3,38 Mg.ha⁻¹ foram realmente estocados no solo, o que representa 23,97% dos 14,1 Mg.ha⁻¹ que forma aportados ao solo pela palhada.

Deste modo, pode-se ver que o processo de estocagem de C no solo não é algo tão simples, e que o C adicionado através da biomassa das culturas em um sistema agrícola, apenas parte dele será realmente sequestrado e estocado no solo. Mesmo assim, a intensificação sustentável agrícola com uso de plantas de cobertura ou culturas de grãos nas áreas de pousio demonstram um grande potencial de sequestrar C da atmosfera. Dos 11,03 milhões de Mg de C que poderiam ser adicionadas no solo com o uso da cultura do trigo nas áreas de pousio, conforme o cálculo realizado anteriormente, se 20% destes sejam estocados no solo no decorrer dos anos, seriam 2,21 milhões de Mg de C sequestrados. Se forem usados sistemas com maior potencial de sequestrar C esse número pode ser ainda maior, como por exemplo, se fosse usado nestas áreas de pousio o consórcio aveia + nabo, seriam 3,22 milhões de Mg de C sequestrado, isso equivale a 2,6 % do total de CO₂e emitido pelo estado do Rio Grande do Sul no ano de 2020 por exemplo, que foi de 84,34 milhões de tCO₂e, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

No ano de 2021 ficou sob pousio na estação do inverno, no Estado do RS, 5,34 milhões de hectares. Nos últimos 10 anos, em média, ficaram anualmente 5,11 milhões de hectares sob as mesmas condições.

O tremoço-azul foi a cultura com maiores teores de C na biomassa seca, 46,8 g.Kg⁻¹, demonstrando ser uma cultura com potencial para sequestrar C ao solo. O consórcio entre aveia-preta + nabo-forrageiro se demonstrou o melhor sistema pensando em aporte de C ao solo, principalmente pelo seu alto potencial de produzir massa seca 7,61 Mg.ha⁻¹, o que equivale a 3,04 Mg.ha⁻¹ de C.

De todo o C adicionado ao solo pela biomassa seca das culturas de inverno, entre 20,22% e 23,97% deste C com o passar do tempo fica estocado no solo.

Em média, anualmente, ficam sob pousio no RS cerca de 5,11 milhões de hectares sob pousio no inverno, se nessas áreas fossem utilizados no inverno o consórcio aveia + nabo, poderiam ser sequestrados aproximadamente 3,22 milhões de Mg de C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUERQUE, Márcio Amaral. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em Latossolo Vermelho sob sistemas de culturas em plantio direto. 2012.

AMADO, Telmo Jorge Carneiro et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista brasileira de ciência do solo, v. 25, p. 189-197, 2001.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.

BAYER, Cimélio et al. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. Ciência Rural, v. 32, p. 401-406, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030) : visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília : MAPA, 2021

CALEGARI, Ademir. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In: . Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil – Fundamentos e Prática. 1. ed. Brasília DF: EMBRAPA, 2014. v. 1, cap. 1, p. 507. ISBN 978-85-7035-313-9. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053840.pdf>.

CAMPOS, Ben-Hur Costa de et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 805-817, 2011.

CAMPOS, Ben-hur Costa de et al. Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. Bragantia, v. 67, p. 455-462, 2008.

CARVALHO, João Luís Nunes; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino; CERRI, Carlos Clemente. SPD aumenta sequestro de carbono pelo solo. Visão agrícola, v. 9, p. 132-5, 2009.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar et al. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. 2014.

COSTA, Falberni de Souza et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 323-332, 2008.

DÁVILA, Giovanni Alexander Jurado. Revisão das estimativas de estoques de carbono do solo em regiões do Rio Grande do Sul. 2016.

DENARDIN, José Eloir et al. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*, v. 15, p. 15, 2012.

DONEDA, Alexandre et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

DOS SANTOS, H. P. et al. Estoques de carbono no solo em tipos de manejo de solo e rotação de culturas para trigo. 2017.

FERREIRA, Ademir Oliveira, Telmo Jorge Carneiro Amado, Charles W. Rice, Daniel Ruiz Potma Gonçalves, and Dorivar A. Ruiz Diaz. "Comparing On-farm and Long-term Research Experiments on Soil Carbon Recovery by Conservation Agriculture in Southern Brazil." *Land Degradation & Development* 32.11 (2021): 3365-376. Web.

FERREIRA, Ademir de Oliveira et al. Estoque de carbono em áreas pioneiras de plantio direto no Rio Grande do Sul. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 307-313, 1999.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasilps://tinyurl.com/yx9re6wc>. Acesso em: 08 jun. 2022.

INÁCIO FILHO, Jean Carlos. Créditos de carbono da agricultura brasileira. *Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia-REIVA*, v. 5, n. 02, p. 4-4, 2022.

JANTALIA, CLAUDIA POZZI et al. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. *Agronomia*, v. 37, n. 2, p. 91-97, 2003.

KOEFENDER, Jana et al. Biomass and nutrient cycling by winter cover crops. *Revista Ceres*, v. 63, p. 816-821, 2016.

KRENCHINSKI, Fábio Henrique et al. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, p. 909-917, 2018.

LIMA, Larissa. Efeito das plantas de cobertura em Sistema de Plantio Direto. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, v. 10, n. 18, 2014.

LIMA, Magda A. et al. Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. 2012.

LOVATO, Thomé et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de ciência do solo*, v. 28, p. 175-187, 2004.

NEMIRSCKI, Jéssica Maiara. Produção, decomposição de matéria seca e comportamento de nutrientes em culturas de cobertura no Sul do Brasil. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NICOLOSO, R. da S. et al. A rotação de culturas aumenta os estoques de carbono e nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE), 2019.

PILLON, Clenio Nailto et al. Monitoramento do conteúdo de carbono orgânico em sistemas de manejo do solo na Serra do Sudeste, RS. Embrapa Clima Temperado, 2007.

REDIN, Marciel et al. Produção de biomassa, composição química e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e raízes no solo. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SANTI, Anderson; DALMAGO, Genei Antonio; DENARDIN, José Eloir. Potencial de seqüestro de Carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. 2007.

SECRETI, Mateus Luiz et al. Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas. 2017.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Emissões totais do estado do Rio Grande do Sul. 2020. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/territories/rio-grande-do-sul/card?year=2020&cities=false>. Acesso em: 26 de ago. de 2022.

VIERO, Fernando; CARNIEL, Eduardo; BAYER, Cimélio. Carbono orgânico e suas frações afetadas por sistemas de manejo de longa duração.

ZIECH, Ana Regina Dahlem et al. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 374-382, 2015.