

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDIVAN JOSÉ POSSAMAI

**QUALIDADE DO PLANTIO DIRETO EM ESTABELECIMENTOS RURAIS DO
SUDOESTE DO PARANÁ**

PATO BRANCO

2022

EDIVAN JOSÉ POSSAMAI

**QUALIDADE DO PLANTIO DIRETO EM ESTABELECIMENTOS RURAIS DO
SUDOESTE DO PARANÁ**

**QUALITY OF NO-TILLAGE IN RURAL ESTABLISHMENTS OF THE SOUTHWEST
PARANÁ**

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição

Coorientadora: Dra. Caroline Amadori

PATO BRANCO

2022



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

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



EDIVAN JOSE POSSAMAI

QUALIDADE DO PLANTIO DIRETO EM ESTABELECIMENTOS RURAIS DO SUDOESTE DO PARANÁ

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: 29 de Julho de 2022

Paulo Cesar Conceicao, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Laercio Ricardo Sartor, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Nilvania Aparecida De Mello, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Rafael Fuentes Llanillo, Doutorado - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (Iapar-Emater)

Dr. Ricardo Ralisch, Doutorado - Universidade Estadual de Londrina (UEL)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 02/08/2022.

Dedico este trabalho aos meus filhos Heitor e
Vicente, esposa Cássia e especialmente ao meus
pais Ilto e Inês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, força invisível e misteriosa, que nos torna mais humanos dentro dos grandes enigmas da vida.

À UTFPR, Campus de Pato Branco, e ao Curso de Agronomia e o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de qualificação profissional científica de qualidade, cuja trajetória teve início em 2000 no antigo CEFET-PR, passando pelo mestrado e hoje com o doutorado. À equipe do Laboratório de Física do Solo, nas pessoas da Professora Rachel Muylaert Locks Guimarães e do colega Flavio Olbermann, por oportunizar a utilização do laboratório. À equipe do Laboratório de Química do Solo da UTFPR, nas pessoas do Professor Luis César Cassol e da laboratorista Andressa Pilonetto, pela realização das análises químicas e troca de conhecimentos. À Professora Betânia Brum de Bortoli, pelas orientações em relação as análises estatísticas.

Ao Grupo de Pesquisa em Ciência do Solo da UTFPR, Campus Dois Vizinhos, pela oportunidade em utilizar a estrutura laboratorial, pelo convívio nos momentos de estudo e atividades de campo. Em especial, a Maiara Karini Haskel pelo apoio nas atividades laboratoriais, e a Dra. Caroline Amadori pela coorientação no trabalho.

À FEBRAPDP, especialmente ao Jeankleber Bortoluzzi, Professora Dra. Marie Louise Caroline Bartz e Professor Dr. Ricardo Ralisch, pelas discussões em torno do IQP e do SPD.

Ao IDR-Paraná, instituição que oportunizou a busca de novos conhecimentos a partir da realidade vivenciada na extensão rural. Aos diretores Natalino Avance de Souza e Richard Golba, pela autorização para participar do doutorado. Ao diretor Nelson Harger pela amizade, incentivo e reflexão sobre a importância da qualificação científica nas ações da extensão rural na área de manejo de solos. Ao gerente estadual Hernani Alves da Silva, pelo apoio e incentivo nos diferentes momentos. Aos gerentes regionais Rosane Dalpiva Bragato e Luiz Francisco Lovato, sempre incentivando e apoiando nas atividades. À equipe do Programa Grãos da região de Pato Branco: Vilmar Natalino Grando, Gustavo Migliorini de Oliveira, Gerson Schiochet, Marco Antônio da Silva Reis, Lari Maroli, Luiz Pasquali, Ronaldo Cesar Woyniak, Odimar de Mello, Cristiano Frigo e

Ivanderson Boreli, os quais auxiliaram na indicação dos agricultores, na coleta de dados e na troca de experiências e conhecimentos no dia a dia. Aos colegas Marcelo Vicensi e Ericson Fagundes Marx, pelas ações em conjunto na área de solos na região Sudoeste-PR. A todos os colegas da regional de Pato Branco, e em especial à amiga Luciana Barbara Barbieri Trentin, pelo apoio nas questões administrativas e principalmente pela amizade e exemplo de força, superação e resiliência humana. Muito obrigado a toda da “família Emater”, hoje IDR-Paraná.

Aos agricultores participantes e colaboradores deste estudo, que por motivos de proteção de dados não nominarei, mas que oportunizaram a realização deste trabalho, mas principalmente oportunizaram a troca de conhecimentos.

Aos familiares, tanto da família Possamai como da família Ribeiro, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência do convívio, dada as atividades deste estudo.

À minha família querida e amada. A minha amada esposa Cassia pelo incentivo, apoio e desdobramento nas atividades de cuidado aos nossos filhos nos momentos de minha ausência, compartilhando das emoções deste desafio que foi estudar e trabalhar ao mesmo tempo. Ao pequeno Heitor, que dentro da sua rotina pueril, ora compreendia minha ausência, mas ora insistentemente me tirava dos estudos para seus momentos de brincadeiras e descontrações. Ao caçula Vicente, que chegou durante a realização deste trabalho e em meio a pandemia de Covid-19, exigindo maior esforço pessoal da paternidade, mas que ao mesmo tempo retornava com sua ternura.

O meu agradecimento especial ao Professor Dr. Paulo Cesar Conceição, que exerceu papel fundamental de amigo, conselheiro e incentivador, não exercendo unicamente as formalidades da sua função de orientador. Desde o seu insistente convite em retornar aos estudos, inicialmente não correspondido, sempre desafiando e apoiando, ao mesmo tempo. Um grande exemplo de profissional, professor e pessoa. Meu muito obrigado!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio para a realização do presente estudo.

A TERRA SERÁ O QUE SÃO OS SEUS HOMENS!
(Provérbio Asteca)

RESUMO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de produção agrícola que promove qualidade ambiental e produtiva aos solos, tendo como premissas o não preparo do solo, sua cobertura permanente e a rotação de culturas. Já o plantio direto (PD) refere-se somente ao não preparo do solo, o qual predomina atualmente nos cultivos de grãos, comprometendo a qualidade dos solos. O índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto (IQP) é uma metodologia de avaliação e gestão da qualidade do SPD, analisando as práticas conservacionistas adotadas. A partir de oito indicadores, o IQP gera uma nota de 0 a 10, com maior valor relacionado à melhor qualidade do SPD. O IQP está na versão IQP 2 e tem-se como proposta o IQP Sudoeste-PR, a qual considera especificidades regionais. O objetivo deste trabalho foi avaliar e validar o uso do IQP nesta região. Ainda, objetivou propor parâmetros que permitam a caracterização do SPD a partir do IQP, diferenciando-o do PD. O estudo foi realizado em 13 talhões de agricultores do Sudoeste-PR com cultivos de grãos, no ano de 2021. Levantou-se informações de manejo dos talhões através de entrevistas com formulário estruturado, com determinação do IQP 2 e IQP Sudoeste-PR, e posterior análise dos resultados. Ainda, foram determinados atributos físicos (densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e índice de qualidade estrutural do solo) e atributos químicos (pH, m, Al, Ca, Mg, K, P, V e MOS), os quais foram comparados com níveis de adequação a produção agrícola. Por fim, os dados do IQP 2 e IQP Sudoeste-PR foram correlacionados com os atributos químicos e físicos. Os valores médios de IQP 2 e IQP Sudoeste-PR dos talhões foram de 7,49 e 7,41, respectivamente, classificados como bons, porém com predomínio da adoção apenas do PD. Ambas as versões indicaram problemas relacionados ao uso da rotação de culturas, produção insuficiente de palhada e adoção do terraceamento. Para os atributos físicos e químicos, não houve níveis restritivos a produção agrícola, destacando-se a formação de gradientes no perfil do solo, diferenciando uma camada superficial (0-8 cm) com maiores teores de nutrientes e menores densidades, de uma subsuperficial (8-20 cm). Tanto o IQP 2 como IQP Sudoeste-PR correlacionaram-se com atributos químicos e físicos, mostrando-se adequados para uso na região, sendo o IQP Sudoeste-PR o mais oportuno devido a melhor identificação da rotação de culturas. A partir do IQP Sudoeste-PR pode-se diferenciar SPD do PD, adotando a definição de SPD como um sistema produtivo sem o preparo do solo por período maior que oito anos, tendo nos últimos três anos o cultivo de quatro ou mais espécies vegetais, o cultivo de quatro ou mais gramíneas, e no máximo oito meses não contínuo sem cultivo de espécies vegetais.

Palavras-chave: conservação do solo; manejo do solo; plantio direto; IQP; SPD.

ABSTRACT

The “Sistema Plantio Direto” (SPD) or “No-Tillage System” (NTS) is an agricultural production system that promotes environmental and productive quality to the soils, having as premises the use of no-tillage practice, permanent soil cover, and crop rotation. “Plantio direto” (PD) or No-Tillage (NT) refers only to the absence of soil tillage, which currently predominates in grain crops, compromising soil quality. The NTS's Participatory Quality Index (IQP) is a methodology for evaluating and managing the quality of the SPD, analyzing the conservation practices adopted. From eight indicators, the IQP generates a score from 0 to 10, with a higher value related to the better quality of the SPD. The IQP is in the IQP 2 version, and the IQP Sudoeste-PR is proposed, which considers regional specificities. The aim of this work was to evaluate and validate the use of the IQP in this region. Still, it aimed to propose parameters that allow the characterization of the SPD from the IQP, differentiating it from the PD. The study was conducted in 13 plots of farmers in the Southwest-PR with grain crops, in the year 2021. Information on the management of the plots was collected through interviews with a structured form, with determination of IQP 2 and IQP Sudoeste-PR, and further analysis of the results. Also, physical attributes (bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity and soil structural quality index) and chemical attributes (pH, m, Al, Ca, Mg, K, P, V and MOS) were determined, which were compared with levels of suitability for agricultural production. Finally, the data from IQP 2 and IQP Sudoeste-PR were correlated with chemical and physical attributes. The average values of IQP 2 and IQP Sudoeste-PR of the stands were 7.49 and 7.41, respectively, classified as good, but with a predominance of the adoption of PD only. Both versions indicated problems related to the use of crop rotation, insufficient straw production and the adoption of terracing. For the physical and chemical attributes, there were no restrictive levels for agricultural production, highlighting the formation of gradients in the soil profile, differentiating a superficial layer (0-8 cm) with higher nutrient contents and lower densities, from a subsurface layer (8-20 cm). Both IQP 2 and IQP Sudoeste-PR were correlated with chemical and physical attributes, proving to be suitable for use in the region, with the IQP Sudoeste-PR being the most opportune due to better identification of crop rotation. From the IQP Sudoeste-PR, SPD can be differentiated from PD, adopting the definition of SPD as a cropping system without soil preparation for a period longer than eight years, having in the last three years the cultivation of four or more plant species, the cultivation of four or more species of Gramineae family, and a maximum of eight non-continuous months without the cultivation of plant species along three years.

Keywords: soil conservation; soil management; no-tillage; IQP; SPD

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Municípios de localização dos 13 estabelecimentos rurais sob plantio direto no Sudoeste do PR.	54
Figura 2 – Cultivos realizados nos anos de 2018, 2019 e 2020 de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.	62
Fotografia 1- Fotografias de amostras de qualidade estrutural do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	102
Gráfico 1 – Percepção sobre o que é Sistema Plantio Direto referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.	63
Gráfico 2 – Percepção sobre a importância do Sistema Plantio Direto, referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.	64
Gráfico 3 – Percepção sobre os problemas ou dificuldades na utilização do Sistema Plantio Direto, referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.	65
Gráfico 4 – Participação em porcentagem das famílias botânicas e espécies cultivadas, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR, referente aos cultivos dos anos de 2018, 2019 e 2020.	70
Gráfico 5 – Distribuição do tempo de adoção do PD, de 13 talhões sob plantio direto da região Sudoeste do PR.	74
Gráfico 6 – Distribuição de casos classificados como nível “crítico” ou “não crítico” dos indicadores do IQP 2, de 13 talhões da região Sudoeste do PR.	75
Gráfico 7 – Análise dos componentes principais dos indicadores ponderados do IQP 2, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	77
Gráfico 8 – Análise de agrupamentos dos talhões em função dos indicadores ponderados do IQP 2, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.	78
Gráfico 9– Distribuição de casos classificados como nível “crítico” ou “não crítico” dos indicadores do IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões da região Sudoeste do PR.	81
Gráfico 10 – Análise dos componentes principais dos indicadores ponderados do IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.	82
Gráfico 11 – Análise de agrupamentos dos talhões em função dos indicadores ponderados do IQP Sudoeste-PR, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	83
Gráfico 12 - Diferença entre a pontuação dos indicadores do IQP Sudoeste-PR para com os indicadores do IQP 2, e dos indicadores ponderados, de 13 talhões sob plantio direto da região Sudoeste do PR.	86
Gráfico 13 – Distribuição dos níveis de interpretação de atributos químicos de solos, na camada de 0-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto na região Sudoeste do PR.	93

Gráfico 14 – Componentes principais dos atributos químicos de solos, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná. 97

Gráfico 15 – Análise dos componentes principais dos atributos físicos de solos, nas camadas de 0-5 (verde), 5-10 (laranja) e 10-20 cm (lilás), em 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR. 106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número e percentual de ocorrência dos termos “plantio direto”, “semeadura direta” e suas variações, em publicações científicas disponíveis em formato digital em periódicos brasileiros, e em específico na Revista Brasileira de Ciência do Solo, a partir da plataforma “Scientific Electronic Library Online - Brasil” (SCIELO-Brasil).....	34
Tabela 2 – Indicadores, dados de entrada, valor base, fórmula de cálculo, situação crítica e fator de ponderação dos componentes do IQP 2.	47
Tabela 3 – Indicadores, dados de entrada e fórmula de cálculo propostos para o IQP Sudoeste-PR.	50
Tabela 4 – Indicadores, situação ideal, situação crítica e fator de ponderação propostos para o IQP Sudoeste-PR.	52
Tabela 5 – Município de origem, código de identificação dos talhões, classe de solo, declividade e teor de argila dos 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR. ..	55
Tabela 6 – Caracterização e principais práticas de manejo de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.	61
Tabela 7 – Notas dos indicadores, Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto (IQP 2) e respectiva classificação, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.....	66
Tabela 8 – Notas dos indicadores, Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto do Sudoeste do PR (IQP Sudoeste-PR) e respectiva classificação, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	80
Tabela 9 - Comparativo das notas e das classificações IQP e PDXSPD, entre IQP2 e IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.....	85
Tabela 10 – Atributos químicos de solos, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	90
Tabela 11 – Atributos químicos de solos na camada de 0-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	92
Tabela 12 – Porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	99
Tabela 13 – Camadas, espessura de camadas, qualidade estrutural da camada de solo (Qec) e índice de qualidade estrutural de amostra do solo (IQES), obtidas pela metodologia DRES, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná. Ano 2021	101
Tabela 14 – Coeficiente de correlação de Spearman entre IQP 2 e seus indicadores com atributos químicos e físicos do solo, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.	107
Tabela 15 – Coeficiente de correlação de Spearman entre IQP Sudoeste-PR e seus indicadores com atributos químicos e físicos do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Agricultura Conservacionista
Cfa	Clima subtropical, com verão quente
Cfb	Clima subtropical, com verão ameno
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DRES	Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo
Ds	Densidade do solo
FEBRAPDP	Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto
GO	Goiás
ha	Hectare
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IDR-Paraná	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Rural – IAPAR/EMATER
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IQES	Índice de Qualidade Estrutural do Solo
IQP	Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto
Ma	Macroporosidade
mca	Metro coluna de água
Mi	Microporosidade
MOS	Matéria orgânica do solo
O	Oeste
PC	Plantio convencional
PD	Plantio direto
PR	Paraná
Pt	Porosidade total
Qec	Qualidade estrutural da camada
RBCS	Revista Brasileira de Ciência do Solo
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SPD	Sistema Plantio Direto
SPDH	Sistema Plantio Direto de Hortaliças
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
µm	Micrômetro
Al	Alumínio trocável
C	Carbono
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
m	Metro
M	Molar
m	Saturação de alumínio
Mg	Magnésio
Mg	Megagrama
mm	Milímetro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
V	Saturação de bases
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	INTRODUÇÃO	29
2.2	CONCEITO DE PLANTIO DIRETO E SISTEMA PLANTIO DIRETO	31
2.2.1	Mínima mobilização do solo	35
2.2.2	Cobertura permanente do solo	37
2.2.3	Rotação de culturas.....	39
2.3	ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO – IQP.....	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL	53
3.2	ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SOLOS.....	55
3.3	DETERMINAÇÃO DO IQP.....	56
3.4	PROPOSTA DE PARÂMETROS TÉCNICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SPD	57
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO - IQP	60
4.1.1	Características e percepções dos agricultores sobre o PD	60
4.1.2	Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto – IQP 2	65
<u>4.1.2.1</u>	<u>Intensidade de rotação - IR</u>	<u>67</u>
<u>4.1.2.2</u>	<u>Diversidade de rotação - DR</u>	<u>67</u>
<u>4.1.2.3</u>	<u>Persistência de resíduo - PR.....</u>	<u>70</u>
<u>4.1.2.4</u>	<u>Frequência de preparo - FP</u>	<u>71</u>
<u>4.1.2.5</u>	<u>Terraceamento correto - TE</u>	<u>72</u>
<u>4.1.2.6</u>	<u>Avaliação da conservação - AC.....</u>	<u>72</u>
<u>4.1.2.7</u>	<u>Fertilização equilibrada - FE.....</u>	<u>73</u>
<u>4.1.2.8</u>	<u>Tempo de adoção - TA.....</u>	<u>73</u>
4.1.3	Análise geral do IQP 2.....	75
4.1.4	Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto do Sudoeste do Paraná – IQP Sudoeste-PR.	79
4.1.5	Comparação entre IQP 2 e IQP Sudoeste-PR	85
4.2	ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS	88

4.2.1	Acidez do solo	88
4.2.2	Bases trocáveis	93
4.2.3	Capacidade de troca de cátions	94
4.2.4	Fósforo extraível.....	94
4.2.5	Matéria orgânica do solo	95
4.2.6	Análise geral dos atributos químicos	95
4.3	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	97
4.3.1	Porosidade do solo.....	97
4.3.2	Densidade do solo.....	100
4.3.3	Índice de qualidade estrutural do solo – IQES	100
4.3.4	Análise geral sobre os atributos físicos	104
4.4	CORRELAÇÃO DO IQP COM ATRIBUTOS DE SOLOS.....	106
4.4.1	Correlação entre IQP 2 e atributos químicos e físicos.....	106
4.4.2	Correlação entre IQP Sudoeste-PR e atributos químicos e físicos	110
5	CONCLUSÕES	113
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
	REFERÊNCIAS.....	117
	APÊNDICE A - Artigo “Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view”.....	128

1 INTRODUÇÃO

Neste ano de 2022, tem-se o cinquentenário da primeira lavoura comercial motomecanizada de grãos semeada no Brasil com plantio direto (PD). O intenso preparo do solo praticado à época e os impactos ambientais e produtivos resultantes do processo erosivo, fez com vários agricultores buscassem alternativas no manejo convencional do solo, com preparo periódico, sendo a semeadura sem o prévio preparo do solo a mudança encontrada pelo agricultor Herbert Bartz, na cidade de Rolândia-PR. Esta iniciativa possibilitou ao Paraná e ao Brasil tornarem-se referências no manejo conservacionista dos solos agrícolas, influenciando mundialmente na forma de fazer agricultura em ambientes tropicais e subtropicais.

Nesta trajetória, a busca pela promoção da qualidade dos solos para além da mitigação da erosão, evidenciou a necessidade de integrar o não preparo do solo com a permanente cobertura do solo e a rotação de culturas, formando o tripé de princípios do Sistema Plantio Direto (SPD). SPD é definido como um sistema produtivo agrícola conservacionista de solo e água alicerçado nestes três princípios, enquanto PD é somente a prática conservacionista de semear sem o preparo do solo. Porém, observa-se o uso indistinto destas duas terminologias, seja no ambiente acadêmico ou técnico, dificultando a avaliação do uso e impactos do SPD. Isto decorre, em partes, devido ao SPD não possuir parâmetros para a sua identificação no nível de campo, decorrente da ausência de critérios que definam as práticas básicas do sistema, especialmente para a rotação de culturas.

O SPD tornou-se uma referência devido a sua capacidade de reduzir os processos erosivos do solo, proteger os mananciais, e aumentar a produtividade dos cultivos com economia de insumos e de tempo. Simultaneamente, promove ganhos ambientais pela preservação da biodiversidade e pelo potencial sequestro de carbono da atmosfera, beneficiando toda a sociedade. Mas nos últimos tempos tem-se observado a adoção parcial dos princípios do SPD nos cultivos de grãos no Paraná, com a adoção apenas do PD, que atrelado as recorrentes observações de erosão dos solos e ausência de práticas complementares de controle da enxurrada,

tem preocupado os diversos segmentos da sociedade para a qualidade dos solos paranaenses¹.

Com o intuito de promover o SPD, a Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FEBRAPDP) e a Itaipu Binacional, desenvolveram uma metodologia de avaliação dos sistemas de produção adotados pelos agricultores, chamada de Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto (IQP). A metodologia permite identificar os principais avanços e problemas no manejo de solo e das culturas adotado, possibilitando fazer ajustes no sistema de produção dentro de um processo de gestão da qualidade do SPD.

O IQP foi concebido a partir da realidade do Oeste do Paraná e atualmente está na sua segunda versão (IQP 2). Visando ampliar o uso do IQP, a FEBRAPDP vem estimulando a sua regionalização, sendo que em 2019 realizou-se na UTFPR, Campus Dois Vizinhos, o V Simpósio de Solos do Sudoeste do Paraná e Fórum IQP Sudoeste do Paraná, com o objetivo de discutir os principais gargalos do SPD e o uso do IQP nesta região. Resultado deste evento, teve-se a proposição de uma versão do IQP para o Sudoeste do Paraná (IQP Sudoeste-PR).

Considerando a importância do SPD para a sustentabilidade da agricultura paranaense e brasileira, e o IQP como uma ferramenta de avaliação e promoção da qualidade do SPD, este trabalho objetivou avaliar e validar o uso do IQP para o contexto do Sudoeste do PR. Para tanto, utilizou-se das ferramentas IQP 2 e IQP Sudoeste-PR, e do levantamento de atributos químicos e físicos de solos de 13 talhões manejados por agricultores para a produção comercial de grãos. Ainda, objetivou propor parâmetros que permitam a caracterização do SPD a partir de critérios contidos no IQP, contribuindo com a sua conceituação e diferenciação do PD.

Tem-se como hipóteses para este trabalho: 1) a ferramenta IQP é adequada para uso no contexto desta região, especialmente a versão IQP Sudoeste-PR; 2) critérios presente na metodologia IQP podem parametrizar a caracterização do SPD e sua distinção do PD, possibilitando avanços na avaliação de seus usos e impactos.

¹ Ver, por exemplo, (GLOBO RURAL, 2014; LANDGRAF, 2018; REVISTA CULTIVAR, 2021; TOSI, 2018)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA²

2.1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola sustentável é um dos desafios do século XXI, dada a crescente importância da agricultura na demanda por alimento e preservação ambiental. A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu objetivos para o desenvolvimento sustentável nas dimensões social, econômica e ambiental neste século. Em particular, destaca-se os seguintes objetivos para a agricultura: “fome zero e agricultura sustentável” visando acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; e “vida terrestre” o qual visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda da biodiversidade (UNITED NATIONS, 2016).

Na perspectiva de que a agricultura deve conciliar crescimento da produção, redução da pobreza e preservação ambiental (OCDE; FAO, 2015), é imprescindível o uso adequado do solo, base dos sistemas agrícolas (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). A agricultura conservacionista, entendida como a agricultura sob os preceitos da ciência da conservação do solo, com uso de tecnologias que promovam a preservação, manutenção e/ou recuperação dos recursos naturais através do manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade, tem importante papel neste caminho (DENARDIN et al., 2014; FAO, 2017)

O conceito de conservação do solo para a agricultura baseia-se na promoção de ganhos na produção agropecuária através da melhoria da sua fertilidade, sem causar danos ambientais, principalmente em relação ao manejo dos solos e das águas (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007), sendo que o Sistema Plantio Direto (SPD) demonstrou-se capaz de conciliar estes dois vieses, o conservacionista e o produtivista, tornando-se referência de manejo conservacionista de solo e água para as condições da agricultura brasileira

² Os capítulos 2.1 e 2.2 foram publicados no artigo “*Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view*” (POSSAMAI et al., 2022), com acesso disponível no Apêndice A.

(FREITAS; LANDERS, 2014; MUZILLI, 2006) e globais (BOLLIGER et al., 2006; DERPSCH et al., 2010).

No Brasil, o conceito de SPD foi construído e consolidado com o tempo, como evolução da prática de semeadura direta sem o preparo do solo originária da Inglaterra e Estados Unidos, chamado de plantio direto (PD) frente as condições edafoclimáticas brasileiras (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). Frequentemente adotados como sinônimos, o PD e SPD possuem conceituações distintas. Enquanto SPD é um sistema de produção agrícola, tendo como princípios básicos a rotação de culturas, cobertura permanente do solo e semeadura sem preparo prévio, PD é considerado somente uma técnica de semeadura sem preparo prévio, ou mínima mobilização do solo, considerando o que propõem Hernani e Salton (1998).

Assim, um aspecto relevante na compreensão do SPD na agricultura brasileira é a existência e uso de diferentes terminologias. “plantio direto”, “Sistema Plantio Direto”, “sistema de plantio direto”, “semeadura direta”, “sistema semeadura direta”, “sistema de semeadura direta”, “sistema de plantio direto na palha”, “plantio na palha”, “semeadura na palha”, “sistema plantio direto na palha” e “semeadura direta na palha” são termos encontrados na bibliográfica brasileira (ARATANI, 2020). A falta de clareza sobre o uso de terminologias e sua devida conceituação, inclusive nos estudos científicos, tem resultado no uso de determinado termo para diferentes práticas ou no uso de vários termos para uma mesma prática, dificultando a compreensão dos resultados e seus impactos (DERPSCH et al., 2014), no âmbito da pesquisa, ensino, extensão e políticas públicas.

Em 2022, completaremos 50 anos da primeira lavoura comercial semeada sem o preparo prévio do solo no Brasil, pelo visionário agricultor paranaense Herbert Bartz (FREITAS; LANDERS, 2014) já preocupado com os impactos ambientais do manejo de solo adotado naquela época, cujo estado tornou-se uma referência na tecnologia que revolucionou a agricultura tropical e subtropical (MOTTER et al., 2015). Contudo, nos últimos tempos tem-se observado a adoção parcial dos princípios do SPD nos cultivos de grãos do Paraná (TELLES et al., 2019) e no Brasil (FUENTES-LLANILLO et al., 2021b), caracterizando-o apenas como PD, e

conseqüentemente, comprometendo a qualidade do solo, o que preocupa diversos segmentos da sociedade.

O objetivo desta revisão, a seguir, é analisar as diferenças conceituais entre o Sistema Plantio Direto (SPD) e o plantio direto (PD), a partir da literatura brasileira.

2.2 CONCEITO DE PLANTIO DIRETO E SISTEMA PLANTIO DIRETO

Com origem na Inglaterra e Estados Unidos, a semeadura direta sem revolvimento do solo, chamada de plantio direto (PD) no Brasil (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007) foi introduzido no final da década de 1960 no Rio Grande do Sul (RS) e no Paraná (PR), para reduzir a erosão dos solos decorrente de intenso revolvimento do solo, em cultivo de grãos (BERTOL et al., 2014; CASÃO; ARAÚJO; LLANILLO, 2012; CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; DERPSCH; SIDIRAS; ROTH, 1986; FUENTES-LLANILLO et al., 2021a; TELLES; DECHEN; GUIMARÃES, 2013), como uma prática conservacionista do solo (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). Com a sua expansão na década de 1980, dada as condições climáticas brasileira, o PD passou a agregar um conjunto de outras tecnologias necessárias a promoção da conservação e qualidade do solo (DENARDIN et al., 2014; FUENTES-LLANILLO et al., 2021a), surgindo a terminologia Sistema Plantio Direto (SPD), tendo como princípios básicos a mínima mobilização e cobertura permanente do solo, bem como a diversificação de cultivos (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; DENARDIN et al., 2014; FEBRAPDP, 2021; FUENTES-LLANILLO et al., 2021a; MUZILLI, 2006).

Um sistema é definido como um conjunto de elementos, que interagem entre si, onde o seu resultado difere da simples análise das partes (BERTALANFFY, 2010). Na perspectiva de sistema, o SPD passou a ser entendido como um sistema de produção agrícola, oriundo da integração de três práticas tidas como essenciais (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007), ocorrendo melhorias na qualidade do solo somente quando estas práticas são integradas.

Ao longo do tempo, observou-se diversos benefícios do SPD para a agricultura brasileira. Inicialmente, o efeito observado foi a redução da erosão do solo e dos problemas ambientais derivados (DERPSCH; SIDIRAS; ROTH, 1986), na seqüência o aumento da produtividade de grãos (DEBIASI et al., 2013), e

posteriormente melhoria nas propriedades do solo (CALEGARI et al., 1995). Estudos de longo prazo e em diferentes regiões, climas e solos brasileiros, mostram que o uso contínuo do SPD é capaz de melhorar as propriedades químicas (RHEINHEIMER et al., 2019; SÁ et al., 2009), físicas (MORAES et al., 2016; PIRES et al., 2017; REICHERT et al., 2016) e biológicas (BALOTA et al., 2014; DEMETRIO et al., 2019), e aumentar o estoque de matéria orgânica do solo (MOS) (FERREIRA et al., 2018; VELOSO et al., 2020), além de suas vantagens econômicas, sociais e ambientais (FREITAS; LANDERS, 2014).

Do ponto de vista ambiental, o SPD reduz o assoreamento dos corpos de águas, a eutrofização das águas superficiais, o carreamento de agroquímicos, além de melhoria na reposição das águas subterrâneas e aquíferos (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011), e sequestra carbono atmosférico via aumento da MOS (CARVALHO; CERRI; CERRI, 2009; CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007; SÁ et al., 2017).

Apesar de usados como sinônimos em muitos casos, os conceitos de PD e SPD são diferentes. Enquanto PD é considerada uma técnica conservacionista de solo com a semeadura ocorrendo diretamente sobre os resíduos do cultivo anterior e sem prévio preparo do solo, o SPD é um conjunto de tecnologias visando a conservação e aumento da produtividade dos solos (HERNANI; SALTON, 1998). SPD é uma terminologia genuína brasileira, resultante das necessidades em promover conservação e qualidade do solo (DENARDIN et al., 2014).

Internacionalmente, o termo “agricultura conservacionista” (AC) é adotado com similaridade ao termo SPD adotado no Brasil (FAO, 2017), tendo na rotação de culturas uma das suas distinções (KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2019). O conceito de AC adotado internacionalmente contempla todos os sistemas de produção conservacionistas que tem como princípios a mínima mobilização do solo, a manutenção do solo coberto e a diversificação dos cultivos, abrangendo por exemplo o SPD, sistema plantio direto de hortaliças (SPDH) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (FUENTES-LLANILLO et al., 2021a). No Brasil, porém, o termo AC é tido como o conjunto de práticas conservacionistas de solo, água e biodiversidade, utilizadas de forma sistêmica quando da prática da agricultura, incluindo, por exemplo, o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas

(CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). Isso traz outra dificuldade conceitual de compreensão das terminologias em uso.

O uso dos termos PD e SPD no Brasil, por outro lado, são tidos como inapropriados, por referirem-se a ação de depositar sementes e não plantas no solo, onde “semeadura” seria o termo correto, da mesma forma que o termo “sistema” é utilizado de forma generalizada sem representar a plenitude da tecnologia (SOUZA et al., 2019b). DENARDIN et al., (2012) enfatizaram que o termo “plantio direto” se origina de uma tradução inadequada dos termos da língua inglesa de origem (*no tillage*, *no-till* e *zero tillage*). Assim a utilização do termo “plantio direto” deve ser tomada a partir do significado do seu conceito, com valores para além da sua significação etimológica. Como resultado, plantio direto e semeadura direta são usados de forma indistintas, referindo-se ao ato de semear em solo sem o preparo prévio (DENARDIN et al., 2014).

Diversas terminologias têm sido usadas no Brasil ao longo dos anos para representar a semeadura sem o preparo prévio do solo e suas variações (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007). Em estudo exploratório em diferentes bases bibliográficas brasileiras, analisando o uso destes termos, Aratani (2020) constatou a presença de 12 diferentes variações, com maior recorrência de uso do “plantio direto” à “semeadura direta”. O uso do termo “sistema” também é recorrente, porém com menor intensidade em publicações científicas mais rigorosas.

Analisando o uso dos termos “plantio direto”, “semeadura direta” e suas variações, em publicações científicas disponíveis no portal “*Scientific Electronic Library Online*” (SCIELO), nos diversos periódicos brasileiros em língua portuguesa (Tabela 1), foram encontradas 2.182 ocorrências, com predomínio da terminologia “plantio direto” e suas variações em 77,6% dos casos, e “semeadura direta” e suas variações representando 22,4% dos casos. Dentre todas as variações, destacou-se o uso de “plantio direto” e “Sistema Plantio Direto” com 34,6% e 27,7% dos casos, respectivamente, sendo que o uso de prefixo “sistema” ocorreu prioritariamente quando do uso do termo “plantio direto”.

Com relação aos termos usados na Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS) (Tabela 1), a maior adoção observada foi do termo “plantio direto” em relação a “semeadura direta”, respectivamente com 75,6% e 24,4% de ocorrências

em português. Ao analisar as variações dos termos, “Sistema Plantio Direto” e “plantio direto” foram os mais frequentes, com 36% e 32%, respectivamente. Destaca-se que após a RBCS tornar-se uma revista exclusivamente em língua inglesa em 2016, as terminologias utilizadas passaram a ser “*no tillage*” (48,3%), “*no tillage system*” (26,4%), “*no-till*” (24,1%) e “*conservation agriculture*”, com apenas uma citação deste último caso (1,2%), demonstrando o predomínio do termo “*no tillage system*” como referência ao termo “Sistema Plantio Direto” nos periódicos brasileiros.

Tabela 1- Número e percentual de ocorrência dos termos “plantio direto”, “semeadura direta” e suas variações, em publicações científicas disponíveis em formato digital em periódicos brasileiros, e em específico na Revista Brasileira de Ciência do Solo, a partir da plataforma “Scientific Electronic Library Online - Brasil” (SCIELO-Brasil).

Terminologia	Geral ¹		RBCS ²	
	Nº de publicações	%	Nº de publicações	%
Em português				
Plantio direto	1694	77,6	437	75,6
Plantio direto	756	34,6	185	32,0
Sistema Plantio Direto	604	27,7	208	36,0
Sistema de plantio direto	311	14,3	40	6,9
Plantio direto na palha	17	0,8	3	0,5
Sistema de plantio direto na palha	6	0,3	1	0,2
Semeadura direta	488	22,4	141	24,4
Semeadura direta	336	15,4	92	15,9
Sistema semeadura direta	14	0,6	7	1,2
Sistema de semeadura direta	138	6,3	42	7,3
Total em português	2182	100	578	100
Em inglês				
No tillage	-	-	65	74,7
<i>No tillage</i>	-	-	42	48,3
<i>No tillage system</i>	-	-	23	26,4
No-till	-	-	21	24,1
Conservation agriculture	-	-	1	1,2
Total em inglês	-	-	87	100

¹ Pesquisa em periódicos brasileiros, sem restrição de período.

² Pesquisa com os termos em português para o período de 1997 a 2015, e pesquisa com termos em inglês nos anos posteriores.

Fonte: (SCIELO, 2021)

Os termos “sistema de plantio direto”, “plantio direto na palha”, “sistema semeadura direta” e “sistema de semeadura direta” também foram observados em ambos os segmentos analisados, embora em menor frequência. Nota-se que o uso dos termos “plantio direto” e “Sistema Plantio Direto” são predominantes nas publicações científicas brasileiras, demonstrando que apesar não serem os mais adequados do ponto de vista etimológico (SOUZA et al., 2019b), possuem uso

popularizado. Por isso, a sua definição de valor a partir de conceitos (DENARDIN et al., 2012) passa a ser de fundamental importância. No entanto, ao consultar artigos nota-se que avaliações de experimentos conduzidos sem rotação de cultura e em curtos espaços de tempo são frequentemente denominados como estudos de SPD (CARVALHO et al., 2008; CERETTA et al., 2002; GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2014), contrariando o conceito de SPD.

Em 2017, o Brasil possuía 33 milhões de hectares sob PD, correspondendo a 61% da área de lavouras anuais (FUENTES-LLANILLO et al., 2021b). No entanto, esse mesmo quantitativo ou mesmo área de PD de levantamentos anteriores são citados em publicações científicas e sites de consulta livre (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2018; SCHEID et al., 2018) como a área de SPD brasileira, o que mostra o contrassenso prático da adoção da terminologia.

Da área sob PD no Brasil, estima-se que entre 10% (MARTINS et al., 2018) e 20% (DENARDIN, 2018) façam uso efetivo do conjunto de princípios do SPD. A não adoção do SPD, mas a adoção somente do PD, pode diminuir a qualidade dos solos, incluindo problemas de compactação de solo e baixa infiltração de água no solo, causando erosão dos solos nos períodos chuvosos e deficiência hídrica nos períodos de estiagem (DENARDIN, 2018). Entretanto, a conceituação do SPD possui de forma intrínseca, a compreensão e a adoção das três práticas conservacionistas que se constituem nos seus pilares. Isto requer uma compreensão dos conceitos destas práticas, visando melhor caracterizar o conceito do SPD.

2.2.1 Mínima mobilização do solo

A semeadura direta ou plantio direto, é uma prática conservacionista do solo onde ocorre a semeadura sem o preparo prévio do solo, com a mobilização restrita ao local de deposição de sementes, e sendo feita diretamente sobre os restos do cultivo anterior (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019).

Visando esclarecer a distinção entre alguns termos comumente usados no manejo mecânico associados ao preparo periódico do solo, também empregados no SPD, propõe-se aqui uma definição destes termos. Preparo do solo refere-se ao processo mecânico de movimentação do solo, objetivando condicioná-lo

previamente ou momentaneamente, utilizando-se de operações de aração, gradagem, subsolagem e/ou escarificação. O preparo do solo objetiva condicionar o solo para semeadura ou plantio, manejo da fitomassa residual, manejo de plantas infestantes e/ou incorporação de fertilizantes ou corretivos, afetando a sua estrutura (SOUZA et al., 2019b). Revolvimento do solo é uma forma de preparo do solo, onde ocorre a movimentação do solo com inversão, mistura ou homogeneização de diferentes camadas do solo em toda a área, realizado com aração e com as demais operações derivadas desta, como gradagens à discos. Já mobilização do solo, refere-se ao processo mecânico de movimentação do solo sem a inversão, mistura ou homogeneização de camadas, realizada preferencialmente com uso de hastes ou discos sem angulação horizontal, afetando de forma localizada a estrutura do solo por não ser realizada em toda a área. Assim, as operações de aração, escarificação, subsolagem e gradagem, usadas isoladamente ou conjugadas, são operações mecânicas de preparo periódico do solo, utilizadas no preparo convencional e preparo reduzido. Já no SPD, não se tem revolvimento do solo, mas apenas a sua mobilização localizada, a qual deve ser com mínima movimentação do solo e objetivando apenas o acondicionamento de sementes, mudas ou outras partes das plantas e demais insumos.

Considerado que o espaçamento médio entre linhas para semeadura das culturas de verão (milho, feijão ou soja) é de 50 cm, e o uso de sistema sulcador tipo haste com profundidade de deposição de sementes e adubos até 10 cm, o volume de solo mobilizado não deve ultrapassar 5%, em comparação com uma aração no preparo convencional. No entanto no preparo convencional (PC) do solo, além de uma aração, torna-se necessário a gradagem (1 ou 2 vezes) e a própria semeadura das culturas comerciais.

Portanto, o não preparo do solo no PD proporciona ao solo uma nova dinâmica quanto aos seus atributos físicos, químicos e biológicos, conferindo a formação de gradientes dos atributos ao longo do perfil. Destaca-se neste processo a reconsolidação da estrutura do solo, caracterizada principalmente pelo aumento da densidade do solo devido ao seu adensamento (e não a sua compactação), na qual o solo reorganiza-se em nova estrutura. Ainda, estudos demonstraram que a produção de grãos em semeadura direta tem uma fase inicial em que a produção

pode ser menor ou igual ao sistema com preparo de solo, conhecida como fase de estabilização do solo (DEBIASI et al., 2013; FRANCHINI et al., 2012), variável em função do tempo, local e dos cultivos praticados.

Comparando sistemas com e sem preparo do solo, sob sucessão soja e trigo, Debiasi et al. (2013) observaram que este período de estabilização durou 12 anos, analisado pelo acúmulo de MOS e os seus efeitos sobre os atributos químicos (aumento da CTC, aumento do P, redução da fitotoxicidade do Al), físicos (melhor agregação, maior retenção de água) e biológicos (fixação biológica de N, diversificação de organismos vivos e da sua atividade). Franchini et al. (2012) definiram um período de seis anos para a estabilização da produtividade dos cultivos, quando adotado sistemas de produção com rotação de culturas e doze anos quando predomina sucessão de culturas. Já Neto et al. (2007) avaliando o desenvolvimento da estrutura do solo, concluíram que a fase de estabilização do PD é superada após nove anos, onde as áreas sob SPD apresentavam estruturas semelhantes a condição de vegetação nativa. Sá et al. (2019b) menciona que o SPD se consolida após 10 anos de implantação, tendo como consequências a estabilização da densidade, acúmulo de palhada sob a superfície, aumento nos teores de carbono, fósforo, capacidade de troca de cátions, armazenamento de água e ciclagem de nutrientes e redução da demanda de nitrogênio devido ao aumento da sua mineralização via palhada.

Em suma, após a adoção da mínima mobilização do solo, é necessário um tempo de estabilização para a reconsolidação da estrutura do solo neste novo sistema. Somente após este período, variável entre seis e 12 anos dependendo dos cultivos praticados e do local, pode ser considerado como SPD.

2.2.2 Cobertura permanente do solo

A cobertura do solo, dentre as práticas conservacionistas vegetativas do solo, é considerada como a cobertura viva ou morta, em que a fitomassa acumulada dos cultivos anteriores atuam como proteção à energia do impacto das gotas das chuvas sobre a superfície do solo e à energia cisalhante do escoamento superficial, sendo uma prática importante para o controle da erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; HECKLER; HERNANI; PITOL, 1998; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH,

2019). Além disso, influencia a temperatura do solo, a evaporação, a infiltração e armazenamento da água e o acúmulo de MOS (HECKLER; HERNANI; PITOL, 1998; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019; SÁ et al., 2017). Ela é dependente da quantidade e qualidade da fitomassa aérea adicionada ao sistema, bem como da velocidade de sua decomposição que varia em função do clima, microbiota e composição do material, garantindo a cobertura total do solo (CANALLI; CONCEIÇÃO; CASSOL, 2019). Como resultado, a manutenção da cobertura permanente do solo influencia a dinâmica da MOS. No entanto, como apontado por Cassol; Denardin; Kochhann (2007), embora a cobertura do solo seja essencial para reduzir a erosão causada pela energia cinética das gotas de chuva, ela não reduz a energia cinética da enxurrada na mesma intensidade, sendo necessária a adoção de práticas conservacionistas complementares de controle da erosão, como terraceamento e cultivo em nível.

Heckler et al. (1998) relataram uma média de 5 Mg ha⁻¹ deve ser mantida na superfície do solo ao longo do tempo para garantir uma cobertura mínima de 80% da superfície no SPD. No entanto, a perda de solo e água é diretamente proporcional ao percentual de cobertura do solo, sendo desejável uma cobertura de solo de 100% (MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019).

Em relação a quantidade necessária de fitomassa para a manutenção ou aumento da MOS, Canalli et al. (2019) citam as necessidades anuais de matéria seca, variando de 6 a 7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para clima subtropical de altitude, 7,5 a 8,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para clima subtropical de baixa altitude e transição entre subtropical e tropical, e 10 a 12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para a clima tropical.

Assim, a cobertura permanente do solo para o SPD é obtida pelo aporte de fitomassa em quantidade suficiente que permita a cobertura de 100% da superfície. Esta quantidade deve persistir ao longo do tempo, sendo importante a sua distribuição ao longo do ano e a sua qualidade, onde materiais de elevada relação carbono/nitrogênio são desejáveis devido sua decomposição mais lenta, como as gramíneas, que se destacam no processo de manutenção da cobertura do solo, devido a maior produção de fitomassa, cobrindo o solo por um período maior (CANALLI; CONCEIÇÃO; CASSOL, 2019; HECKLER; HERNANI; PITOL, 1998).

2.2.3 Rotação de culturas

A rotação de culturas foi o último princípio a ser incluído na caracterização do sistema, pois a mínima mobilização do solo e a cobertura permanente possuem relação direta com o propósito inicial do PD em reduzir os processos erosivos. No entanto, a rotação de culturas tornou-se o princípio de promoção da qualidade do solo no SPD, melhorando a fertilidade química, física e biológica (FRANCHINI et al., 2011; SANTOS; REIS, 2001), para além da simples redução dos processos erosivos, promovidos pelos outros dois princípios.

Apesar de ser uma prática conservacionista do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CONCEIÇÃO, 2019; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019; SOUZA et al., 2019b), inicialmente a rotação de espécies vegetais dentro do PD foi recomendada como prática para o controle biológico-cultural de pragas, doenças e plantas daninhas (CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006; SANTOS; REIS, 2001), devido a manutenção de condições para sobrevivência de pragas e doenças nos restos culturais de solo não revolvido.

A rotação de culturas demonstrou-se importante dentro de um sistema de manejo do solo sem revolvimento ao longo do tempo. Além de permitir o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CANALLI; BORDIN, 2019), essa importância se dá pela exploração de diferentes camadas do solo e a ciclagem de nutrientes (CANALLI; CONCEIÇÃO; CASSOL, 2019; MUZILLI, 2006), fixação biológica de N atmosférico via espécies leguminosas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; CANALLI; BORDIN, 2019), a manutenção da cobertura do solo devido uso de espécies com maior produção de fitomassa e maior relação C/N com introdução de gramíneas (CANALLI; BORDIN, 2019; CANALLI; CONCEIÇÃO; CASSOL, 2019), e aumento da MOS e produtividade dos cultivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019; MEDEIROS; CALEGARI; GAUDÊNCIO, 1994).

Apesar de conhecida a importância da rotação de culturas como prática conservacionista e como princípio do SPD, sua definição conceitual não é apresentada de forma objetiva e clara, quanto as suas variáveis. Geralmente, a rotação de culturas é definida como o cultivo alternado e planejado de diferentes espécies vegetais com diferentes características botânicas (exigências nutricionais,

produção de matéria seca, hábitos de crescimento da parte aérea e radicular, relação C/N, fixação biológica, reação a pragas e doenças, ...), sejam cultivos comerciais ou plantas de cobertura, no mesmo talhão ao longo do tempo. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014; FEBRAPDP, 2020a; GONÇALVES et al., 2007; MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019; MEDEIROS; CALEGARI; GAUDÊNCIO, 2006; PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2018; SOUZA et al., 2019b).

O conceito de rotação de culturas possui três variáveis: espacial, temporal e espécies vegetais. A dimensão espacial é a mais precisa entre as variáveis, pois caracteriza a análise sobre determinado local que apresente um manejo único com o passar do tempo (talhão com manejo homogêneo). Já a dimensão temporal apresenta variações em sua conceituação, como ausência da repetição da mesma espécie num intervalo menor que um a três anos (SANTOS; REIS, 2001), alternância num período mínimo de três anos (CANALLI; BORDIN, 2019), ou alternância de espécies na mesma estação do ano (FRANCHINI et al., 2011). Modelos conceituais de rotações de culturas são propostos, com variação temporal de três a sete anos (GONÇALVES et al., 2007; MEDEIROS; CALEGARI; GAUDÊNCIO, 2006).

Para a variável espécies vegetais, as conceituações não estabelecem um parâmetro quantitativo ou qualitativo de quantas espécies são necessárias para caracterizar uma rotação de culturas, nem sua relação com a variável temporal. Exceções incluem Calegari et al. (1998) e Franchini et al. (2011a), que estabelecem a alternância das espécies dentro de uma mesma estação do ano, e Santos e Reis (2001) que estabelecem a não repetição de determinada espécie em um a três anos. Embora não há uma parametrização de espécies vegetais para caracterizar uma rotação, vários modelos de rotações de culturas tem sido propostos para uso pelos agricultores, a exemplo de Medeiros e Calegari (2006), Gonçalves et al. (2007), Franchini et al. (2011a) e Sá et al. (2019a) para o estado do Paraná. Teoricamente, estas proposições são baseadas em estudos que sustentam principalmente a necessidade de aporte de fitomassa aérea com capacidade de manter o solo coberto e manter ou aumentar os teores de MOS, bem como manejar doenças e pragas.

Na proposta de Gonçalves et al. (2007), os autores consideraram dois cultivos por ano agrícola e um período de rotação de três a sete safras. Vale ressaltar que eles propuseram que a soja, cultivo principal de verão, não se repetisse ao longo dos anos, sugerindo no máximo 66% das safras quando a rotação prevê três safras, e máximo de 75% das safras quando a rotação prevê quatro safras. A justificativa para a inclusão do milho na primeira safra, se baseia no fato da soja contribuir com cerca de 4 Mg ha⁻¹ de matéria seca, aquém do aporte anual necessário de quantidades iguais ou superiores a 10 Mg ha⁻¹ de matéria seca (CANALLI; CONCEIÇÃO; CASSOL, 2019) e por ganhos em produtividade no próprio cultivo da soja resultante da rotação (FRANCHINI et al., 2011).

No entanto, propostas de rotações de culturas sem a alternância do cultivo de milho em primeira safra também são previstos pois Medeiros e Calegari (2006) e Sá et al. (2019a). Por exemplo, propuseram a rotação de culturas sem alternar a soja na mesma estação de cultivo, mas com a inclusão de gramíneas em cultivo solteiro ou consorciado, principalmente milho com braquiária nos cultivos da segunda estação de cultivo do ano agrícola.

Embora não haja uma definição clara do conceito de rotação de culturas, vários pontos convergem. Quanto a escala temporal, há a necessidade de considerar um período mínimo de três anos agrícolas, e dentro destes as diferentes estações de cultivo que podem ser de até três cultivos para os sistemas de produção de grãos. Quanto as espécies vegetais, tem-se a como convergentes: 1) a necessidade de arranjos que promovam o aporte anual de matéria seca suficiente para manter a cobertura do solo e manter ou aumentar o teor de MOS, especialmente com gramíneas devido a maior relação C/N; 2) não utilizar a mesma espécie em cultivos sequenciais no mesmo ano agrícola; 3) a alternância de diferentes espécies e de famílias botânicas, dentro do mesmo ano agrícola e na mesma estação de cultivo ao longo dos vários anos agrícolas, visando o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, a ciclagem de nutrientes e a diversificação de espécies que promovem maior qualidade.

Uma possibilidade de avançar na conceituação da rotação de culturas, dada a subjetividade da variável “espécies”, é a definição de uma escala de intensidade de diversificação de espécies (INSTITUTE RODALE, 2021), variando de intensidade

simples (duas ou três espécies) à intensidade complexa (com 12 ou mais espécies), visto que o aumento do número de espécies promove sistemas de maior qualidade (CONCEIÇÃO et al., 2005). Porém, atualmente, os agricultores usam consórcios de plantas de cobertura, chamados de “blends”, “coquetéis” ou “mix”. Nestes casos, são possíveis misturas de sementes de plantas de cobertura com duas a 12 espécies, dificultando ainda mais a utilização da intensidade de diversificação de espécies como um parâmetro de rotação de culturas.

2.3 ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO – IQP

Avaliando o manejo do solo sob cultivo de grãos e semeadura direta na Bacia do Paraná 3 (margem esquerda do lago da Represa Itaipu) no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, IAPAR, Itaipu Binacional e FEBRAPDP identificaram vários problemas de conservação do solo e água, especialmente a compactação dos solos, ausência de rotação de culturas (SIQUEIRA; CASÃO JUNIOR, 2006), uso frequente do preparo do solo (PASSINI, 2006) e aumento dos problemas de erosão de solo e aporte de sedimentos no lago da represa Itaipu (FRIEDRICH et al., 2006). Dada esta percepção, a FEBRAPDP e a Itaipu Binacional, em 2009 iniciaram o desenvolvimento de uma metodologia chamada de Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto (IQP), com o objetivo de diagnosticar e avaliar a qualidade do SPD³ adotado pelos agricultores frente às tecnologias conservacionistas do solo e água, identificando os avanços e limitações, bem como incentivar melhorias no sistema produtivo dos agricultores (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011). A qualidade do SPD foi entendida como a capacidade de um talhão manejado em manter ou melhorar a produtividade agrícola e pecuária, mantendo ou melhorando a qualidade da água, do ar e do solo (ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a).

A proposição inicial do IQP apresentou alguns condicionantes e objetivos que moldaram o seu formato (ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a). Um deles foi o objetivo de valorar a qualidade do SPD através de um índice de fácil obtenção, sem

³ O IQP propõe-se a avaliar a qualidade do SPD, porém não diferencia o PD do SPD (POSSAMAI et al., 2022). Mesmo com a diferença conceitual entre ambos e a fragilidade da metodologia nesta diferenciação, aqui na revisão bibliográfica adotou-se a terminologia SPD de forma constante e genérica como proposto originalmente pela metodologia, sem preocupação com a sua conceituação.

a necessidade de análises laboratoriais ou conhecimentos específicos para aferição, possibilitando a compreensão e uso por pessoas sem domínio especializado sobre o assunto, a exemplo dos próprios agricultores. Outra proposição foi a possibilidade de avaliar determinado talhão sob uso agrícola, mas também a compreensão da qualidade do SPD em escala geográfica maior, a exemplo da microbacia hidrográfica, município e região. Ainda, a possibilidade de estabelecer um processo de certificação, o qual pudesse ser usado por políticas públicas de incentivo a adoção do SPD pelos agricultores, e políticas de benefícios decorrente dos serviços ambientais promovidos pelo SPD, como sequestro de carbono e suprimento de água em quantidade e qualidade. Por fim, a geração de processos participativos das comunidades locais, especialmente agricultores, visando a apropriação, implantação e avaliação do conhecimento e práticas do SPD.

O IQP foi estabelecido a partir de um conjunto de diferentes práticas conservacionistas de solo e água que promovem conservação e qualidade ao longo do tempo, as quais são referenciadas pelo conhecimento científico e validadas regionalmente. Estas práticas foram analisadas e incorporadas ao IQP após a discussão com agricultores e técnicos de seis microbacias da Bacia do Paraná 3 (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a). A primeira versão do IQP foi lançada em 2011, formando a base conceitual e técnica da metodologia (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a, 2011b). Em 2015 houve uma primeira atualização, com o lançamento da versão IQP 2 (FEBRAPDP, 2020b; MARTINS et al., 2018; NUNES et al., 2020), sendo a versão atualmente em uso.

A metodologia consiste na aplicação de um formulário estruturado com 26 perguntas (FEBRAPDP, 2020b), que pode ser realizada por agricultores ou técnicos, em um talhão de cultivo agrícola, tendo como premissa a análise da adoção das práticas que promovem melhorias no sistema produtivo, e não na avaliação direta de atributos químicos, físicos ou biológicos do solo (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a). De forma resumida, o formulário abrange as seguintes informações (FEBRAPDP, 2020b):

- Informações gerais, como identificação do agricultor, localização e tamanho da área, área sob SPD e tempo de adoção do SPD no talhão avaliado;
- Informações sobre os cultivos dos últimos três anos agrícolas do talhão, com as espécies, finalidades, durações entre semeadura e colheita, e períodos sem cultivos;
- Informações sobre preparo do solo no talhão, com o tempo decorrente desde o último preparo, implemento usado e local de uso (área total, cabeceiras⁴ ou canal do terraço) em caso de preparo do solo;
- Informações sobre presença ou ausência de terraceamento, e a intensidade de transbordamentos nos últimos cinco anos quando da presença de terraços;
- Informações sobre a realização ou não das operações mecanizadas de semeadura e pulverização em nível;
- Informações sobre a presença ou ausência de compactação dos solos, e a sua localização em caso de presença (área total ou cabeceiras);
- Informações sobre presença ou ausência de sinais de erosão do solo, e em caso de presença se ela é decorrente de área adjacente ao talhão;
- Informações sobre a observância da análise química do solo para a realização das operações de calagem e adubação dos cultivos;
- Informações sobre a utilização ou não de dejetos animais como fertilizante do solo, e em caso de uso se faz controle da quantidade aplicada e observância da análise de solo.

As informações obtidas são transformadas em oito indicadores quantitativos, que ponderados e somados atribuem uma nota geral e classificação da qualidade do SPD do talhão. Com base nos indicadores e na nota geral, a metodologia permite identificar os pontos fortes, fracos e possíveis melhorias no sistema de produção.

⁴ Áreas limítrofes do talhão (bordas), onde ocorre maior tráfego de máquinas devido a necessidade de manobras das máquinas.

Os oito indicadores estabelecidos pela metodologia IQP (ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a) são:

- Intensidade da rotação (IR): avalia o tempo em que o solo esteve com cultivos nos últimos 36 meses, dada a importância da cobertura viva para a proteção da superfície do solo e produção de nova palhada, e das raízes vivas na ciclagem de nutrientes, manutenção de adequada porosidade e biodiversidade do solo;
- Diversidade de rotação (DR): avalia a diversidade de espécies cultivadas nos últimos 36 meses, dada a importância da diversificação de espécies vegetais no manejo de pragas e doenças, na exploração de diferentes camadas do solo e subsequente reciclagem de nutrientes, e no aumento da diversidade biológica do solo;
- Persistência de palha (PR): avalia o número de cultivos de gramíneas nos últimos 36 meses, devido a maior persistência da palhada das gramíneas devido a maior relação carbono e nitrogênio, contribuindo para a permanente cobertura da superfície do solo e conseqüente redução dos efeitos erosivos da chuva e da enxurrada, redução da temperatura do solo e melhoria do ambiente para a fauna do solo;
- Frequência de preparo do solo (FP): avalia a frequência de preparo do solo (escarificação, aragem ou gradagem), em área total ou em área parcial, considerando que a ausência ou maior tempo sem preparo promove menores perdas da MOS por oxidação e estabilização da estrutura do solo;
- Terraceamento (TE): avalia a presença ou não de terraço e, quando da presença, avalia a ocorrência de transbordo das águas de enxurradas, dada a necessidade do terraceamento para o manejo do escoamento superficial;
- Avaliação da conservação (AC): avalia a presença de erosão, de compactação e de práticas complementares como o cultivo em nível. O cultivo mecanizado em nível (semeadura e pulverização) são práticas que auxiliam no manejo do escoamento superficial, e a

compactação e sinais de erosão referem-se à identificação de problemas com a infiltração da água nos solos;

- Fertilização equilibrada (FE): avalia o uso de corretivos e fertilizantes de forma adequada, seja de origem sintética (químicos) ou orgânica (dejetos de animais), dada a relação da correta fertilização com a maximização da produção de biomassa e com possíveis perdas por escoamento superficial e contaminação de corpos de água;
- Tempo de adoção (TA): avalia o tempo em que SPD é adotado pelo agricultor, referindo-se ao grau de entendimento e comprometimento ao SPD e dada a relação com aumento da qualidade ao longo dos anos.

Para cada indicador estabeleceu-se uma fórmula de cálculo, situação ideal, nível crítico e fator de ponderação (Tabela 2), os quais foram arbitrados de forma subjetiva a partir das condições regionais, com possibilidade de ser constantemente ajustado (ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a). Somados os valores ponderados, tem-se o IQP do talhão, variando de zero a 10, e classificado em quatro categorias de qualidade, sendo baixa (valor inferior a 4,5), regular (valor entre 4,5 e 6,5), boa (valor entre 6,5 e 8,5) e muito boa (valor maior que 8,5) (MARTINS et al., 2018).

Tabela 2 – Indicadores, dados de entrada, valor base, fórmula de cálculo, situação crítica e fator de ponderação dos componentes do IQP 2.

Indicadores ¹	Dados de entrada	Valor base	Fórmula de cálculo	Situação crítica	Fator de ponderação
IR	NM = Número de meses com cobertura viva em 36 meses (exceto pousio e plantas espontâneas)	36	IR = NM/36	0,75	1,5
DR	FD = Famílias botânicas diferentes cultivadas em 36 meses	3	DR = FD/3	0,67	1,5
PR	GR = Número de gramíneas cultivadas em três anos (exceto gramíneas para fenação ou silagem)	6	PR = GR/6	0,5	1,5
FP	IEP = Intervalo entre preparos (anos)	12	FP = IEP/12	0,5	1,5
TE	ITE = Presença de terraços e frequência do transbordamento em 5 anos, sendo os valores: 1) sem terraço = 0; 2) com terraço e sem transbordo ou 1 vez em 5 anos = 1; 3) com terraço e transbordo de 2 ou 3 vezes em 5 anos = 0,5; 4) com terraço e transbordo maior que 3 vezes em 5 anos = 0;	1	TE = ITE/1	0,5	1,0
AC	ICi = Execução de operações em nível, somando os valores: 1) executa semeadura em nível = 0,7; 2) executa pulverização em nível = 0,3.	1	AC = \sum ICi/4	0,5	1,0
	ICi = Solo compactado, sendo os valores: 1) sem presença de compactação = 2; 2) presença de compactação somente nas cabeceiras = 1; 3) presença de compactação em toda a lavoura = 0.	2			
	ICi = Ausência de sinais visíveis de erosão, sendo os valores: 1) sim = 1; 2) não = 0.	1			
FE	IFEi = Operações realizadas com base em resultados da análise de solo, quando do uso de dejetos orgânicos, sendo os valores: 1) calagem = 0,5; 2) adubação química = 0,5; 3) dejetos orgânicos = 1 ou 0,5 quando não considerado resultado da análise de solo	2	FE = \sum IFEi/2 (com dejetos) ou FE = \sum IFEi/1 (sem dejetos)	0,5	1,0
	IFEi = Operações realizadas com base em resultados da análise de solo, sem uso de dejetos orgânicos, sendo os valores: 1) calagem = 0,5; 2) adubação química = 0,5	1			
TA	T = Tempo de adoção em anos	25	TA = T/25	0,3	1,0

Fonte: (FEBRAPDP, 2020c; ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP, 2011).

¹ IR (intensidade de rotação), DR (diversidade de rotação), PR (persistência de resíduo), FP (frequência de preparo), TE (terraceamento), AC (avaliação da conservação), FE (fertilização equilibrada) e TA (tempo de adoção).

O nível ideal estabelecido para todos os indicadores é igual a 1,0.

Comparando os indicadores do IQP com as práticas conservacionistas do solo e água (MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019; SBCS-NEPAR, 2019), nota-se que o IQP avalia um conjunto de práticas de forma integrada. Das práticas edáficas, tem-se a avaliação do uso da correção e adubação química ou orgânica do solo pelo indicador FE, e a prática de semeadura direta enquanto prática de não mobilização do solo pelo indicador FP. Nas práticas vegetativas, os indicadores IR e DR relacionam-se à prática da rotação de culturas, e os indicadores DR e PR com a prática de produção de fitomassa e cobertura morta do solo. Para as práticas mecânicas, o IQP contempla o indicador TE para a prática de terraceamento e o indicador AC para semeadura em nível. Além das práticas conservacionistas, o IQP agrega a avaliação da compactação e erosão do solo no indicador AC e uma escala temporal que é o indicador TA. Assim, o IQP contempla os três princípios básicos do SPD pelos indicadores FP, DR e PR (POSSAMAI et al., 2022), porém não se restringe somente a estes, passando a fazer uma avaliação mais abrangente da adoção de práticas conservacionistas de solo.

O IQP mostrou-se uma metodologia eficiente na determinação da qualidade do SPD (MARTINS et al., 2018; NUNES et al., 2020; POSSAMAI et al., 2022; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011b; TELLES et al., 2020), correlacionando-se com atributos químicos e físicos indicadores da qualidade dos solos, especialmente com a MOS (NUNES et al., 2020; ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011b), sendo uma promissora ferramenta de monitoramento e gestão do SPD. No entanto, a avaliação e validação do IQP está referenciada em trabalhos na Bacia do Paraná 3, onde a situação ideal definida para cada indicador (Tabela 2) parte de uma realidade edafoclimática e socioeconômica local, principalmente relacionados aos sistemas de cultivos e rotações, o que pode variar para outras realidades.

No intuito de avaliar o uso do IQP em outras situações para além da Bacia do Paraná 3, Martins et al. (2018) avaliaram o seu uso em Paranapanema-SP, Maracaju-MS, Rio Verde-GO, Londrina-PR, Toledo-PR e Passo Fundo-PR. Neste trabalho, apontaram a necessidade de adequação dos componentes dos indicadores, a exemplo do fator de ponderação, situação ideal, situação crítica, dados de entrada e fórmula de cálculo, devido a heterogeneidade de situações encontradas, reforçando a necessidade de validação da ferramenta para diferentes

realidades. Este trabalho resultou na proposição de vários IQP regionalizados, como para a região do Alto Uruguai - RS (MARTINS et al., 2020), para região de Rio Verde – GO (MARTINS et al., 2019) e para áreas sob irrigação com pivô central (OLIVEIRA et al., 2019).

Em agosto de 2019 realizou-se o V Simpósio de Solos do Sudoeste do Paraná e o Fórum IQP Sudoeste/PR na cidade de Dois Vizinhos-PR (FEBRAPDP, 2019), objetivando discutir os principais problemas do SPD, e propor ajustes da metodologia IQP para uso no contexto regional. Como resultado, teve-se a proposição da versão IQP Sudoeste-PR (Tabela 3 e Tabela 4), cuja versão ainda não foi publicada⁵. Nesta versão, destaca-se os ajustes nos fatores de ponderação, com aumento do peso do indicador AC e diminuição do peso do indicador TA. Para o indicador DR, propôs-se a alteração da entrada de dados de famílias botânicas para espécies vegetais. Ainda, quando dos cultivos de consórcios de plantas de cobertura (mix), sugeriu-se que ele fosse considerado uma espécie vegetal distinta das demais e ao mesmo tempo uma gramínea, impactando nos cálculos de DR e PR.

O IQP Sudoeste-PR sugeriu, ainda, ajustes na classificação final das notas, com a seguinte sugestão escala: ótimo (valores de 9 a 10), bom (valores de 7 a 8,99), regular (valores de 3 a 6,99), ruim (valores de 1 a 2,99) e péssimo (valores de 0 a 0,99). Esta proposição aumentou os valores necessários para enquadrar-se na categoria bom ou superior em comparação ao IQP 2, passando a exigir maiores notas para este enquadramento.

⁵ Apesar da proposta do IQP Sudoeste-PR ainda não ter sido publicada em materiais técnicos até a finalização deste trabalho, ajustou-se com a FEBRAPDP a sua inclusão no processo de análise dentro do escopo do trabalho, pois esta versão substituirá o IQP 2. Por isso, não se tem uma referência bibliográfica do IQP Sudoeste-PR, pois trata-se de uma proposta em avaliação e validação. Salienta-se que o IQP é gerido atualmente pela FEBRAPDP, mantendo grupo de trabalho permanente sobre a metodologia.

Tabela 3 – Indicadores, dados de entrada e fórmula de cálculo propostos para o IQP Sudoeste-PR.

(continua)

Indicadores ¹	Dados de entrada	Fórmula de cálculo
IR	Número de meses com cobertura viva em três anos (exceto pousio e plantas espontâneas)	<p>Escala:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 33-36 meses: 1 ponto; • 29-32 meses: 0,75 pontos; • 25-28 meses: 0,5 pontos; • 21-24 meses: 0,25 pontos; • <20 meses: 0 ponto;
DR	Número de espécies diferentes que ocorrem na rotação em três anos	<p>Escala:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 05 ou mais espécies: 1 ponto; • 04 espécies: 0,75 pontos; • 03 espécies: 0,5 pontos; • 02 espécies: 0,25 pontos; • 01 espécie: 0 ponto; <p>OBS: mix de espécies considera-se uma nova espécie para fins de pontuação.</p>
PR	Número de gramíneas na rotação em três anos (exceto gramíneas para fenação ou silagem)	<p>Escala:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 05 ou mais gramíneas: 1 ponto; • 04 gramíneas: 0,75 pontos; • 03 gramíneas: 0,5 pontos; • 02 gramíneas: 0,25 pontos; • 01 gramínea: 0 ponto; <p>OBS: mix de espécies considera-se uma nova gramínea para fins de pontuação.</p>
FP	Intervalo entre preparos (em anos)	<p>Escalas, considerando três situações:</p> <p><u>Preparo em área total:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 ou mais anos: 1 ponto; • 09 a 11 anos: 0,75 pontos; • 06 a 08 anos: 0,5 pontos; • 03 a 05 anos: 0,25 pontos; • 0 a 02 anos: 0 ponto; <p><u>Preparo nas cabeceiras:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 ou mais anos: 1 ponto; • 09 a 11 anos: 0,95 pontos; • 06 a 08 anos: 0,9 pontos; • 03 a 05 anos: 0,85 pontos; • 0 a 02 anos: 0,8 pontos; <p><u>Preparo somente nos canais de terraço:</u> 1 ponto</p>

Tabela 3 – Indicadores, dados de entrada e fórmula de cálculo propostos para o IQP Sudoeste-PR.

Indicadores ¹	Dados de entrada	Fórmula de cálculo (conclusão)
TE	Presença de terraços e frequência do transbordamento em 5 anos	Escala: • 0 ou 1 transbordamento: 1 ponto; • 2 ou 3 transbordamentos: 0,5 pontos; • 4 ou mais transbordamentos: 0 pontos; • ausência de terraços: 0 pontos.
AC	Indicador de Conservação (ICi): Execução de operações agrícolas em nível	Escalas, considerando três situações (ICi): <u>ICi 1 - Operações em nível (até 1 ponto):</u> • Semeadura: 0,7 pontos; • Pulverização: 0,3 pontos;
	Indicador de Conservação (ICi): Compactação do solo	<u>ICi 2 - Compactação do Solo (até 2 pontos):</u> • Em toda lavoura: 0 pontos; • Somente nas cabeceiras: 1 ponto;
	Indicador de Conservação (ICi): Presença de erosão	<u>ICi 3 - Sinais visíveis de erosão (até 2 pontos):</u> • Ausência de erosão: 2 pontos; • Erosão laminar: 1 ponto; • Erosão em sulcos: 0 pontos. Obtenção do indicador pela fórmula: $AC = \sum ICi/5$
FE	Indicador de fertilização (IFi): Calagem e adubação baseada em análise de solo	Escalas, considerando duas situações (IFi): <u>IFi 1 – Baseando-se na análise de solo:</u> • Calagem: 0,5 pontos; • Adubação: 0,5 pontos;
	Indicador de Fertilização (IFi): Uso de dejetos animais como fertilizante do solo	<u>IFi 2 - Fertilização com dejetos animais:</u> • Com controle de volume e balanço de nutrientes: 1 ponto; • Somente controle do volume aplicado: 0,5 pontos; • Sem controle de volume e balanço de nutrientes: 0 pontos; Obtenção do indicador pela fórmula: $FE = \sum IFi/2$, quando do uso de dejetos animais; $FE = \sum IFi/1$, quando do não uso de dejetos animais.
TA	Tempo de adoção (T), em anos	Fórmula: $TA = T/25$ (porém, se $T > 25$, $TA = 1$)

¹ IR (intensidade de rotação), DR (diversidade de rotação), PR (persistência de resíduo), FP (frequência de preparo), TE (terraceamento), AC (avaliação da conservação), FE (fertilização equilibrada) e TA (tempo de adoção).

Em cinza os indicadores que são os pilares do SPD. O nível ideal estabelecido para todos os indicadores é igual a 1,0.

Tabela 4 – Indicadores, situação ideal, situação crítica e fator de ponderação propostos para o IQP Sudoeste-PR.

Indicadores¹	Situação ideal	Situação crítica	Fator de ponderação
IR	33-36 meses	25-28 meses	1,5
DR	5 ou mais espécies	3 espécies	1,5
PR	5 ou mais gramíneas	3 gramíneas	1,5
FP	12 ou mais anos sem preparo ou preparo somente nos canais de terraço	6 a 8 anos sem preparo	1,5
TE	presença de terraço e até 01 transbordamento em 5 anos	2 a 3 transbordamentos em 5 anos	1,0
AC	1	0,5	1,5
FE	1	0,5	1,0
TA	25 anos	12-18 anos	0,5

¹ IR (intensidade de rotação), DR (diversidade de rotação), PR (persistência de resíduo), FP (frequência de preparo), TE (terraceamento), AC (avaliação da conservação), FE (fertilização equilibrada) e TA (tempo de adoção).

Em cinza os indicadores que são os pilares do SPD.

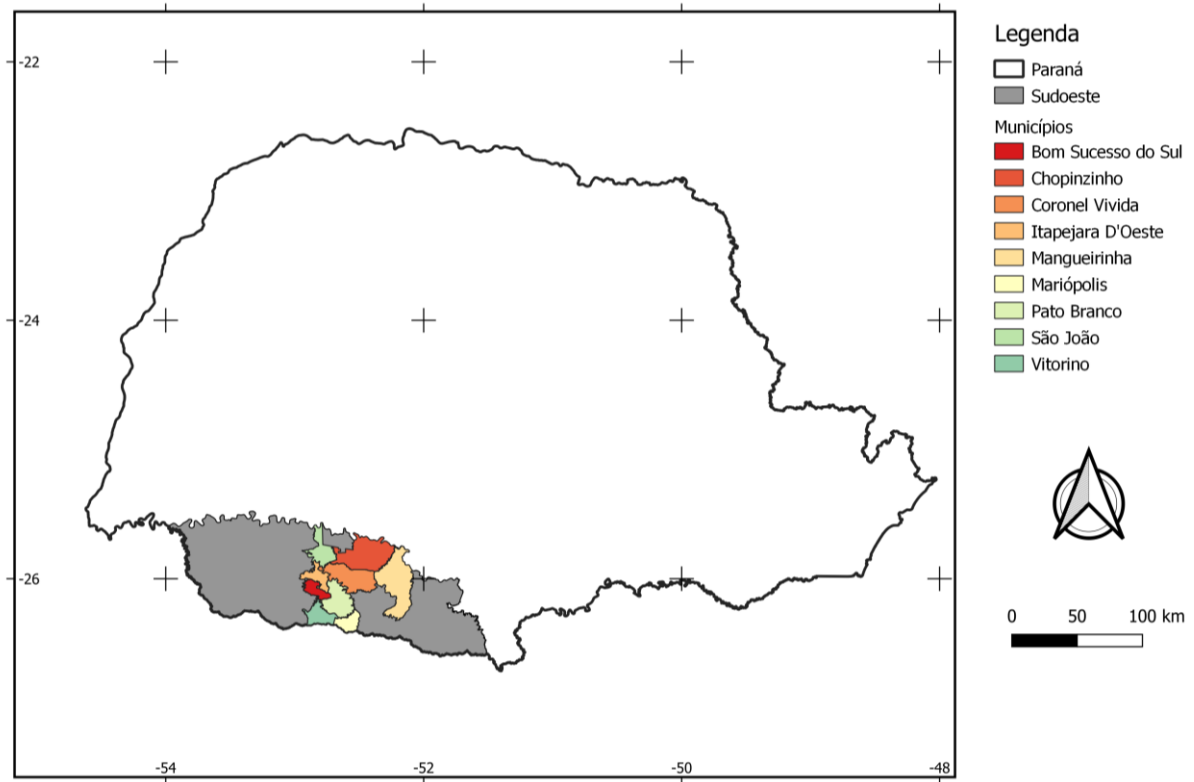
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

A região Sudoeste do PR é composta por 42 municípios, com uma extensão territorial de 17.033,695 km² (IPARDES, 2021), compreendida entre as latitudes 25°28'S e 26°36'S e longitudes 53°59'O e 51°30'O e com ocorrência de clima Cfa e Cfb, conforme classificação de Köppen (NITSCHKE et al., 2019). A atividade agropecuária é a base econômica da maioria dos municípios, com a produção de soja, milho, feijão, trigo, carnes, ovos, leite e madeira, com 40% da área total do território destinada para agricultura intensiva, sendo que 41% das áreas apresentam potencial de degradação do solo por erosão devido ao relevo acidentado (IPARDES, 2009).

Este trabalho foi realizado junto a 13 estabelecimentos rurais de agricultores do Sudoeste do Paraná, dos municípios de Mariópolis, Vitorino, Pato Branco, Bom Sucesso do Sul, Itapejara d'Oeste, Coronel Vivida, São João, Chopinzinho e Mangueirinha (Figura 1). Estes estabelecimentos rurais participaram como unidades de referências do Programa Grãos Sustentáveis do IDR-Paraná (IDR-PARANÁ, 2021). Unidades de referências são lavouras comerciais de grãos conduzidas por agricultores, que recebem orientação e acompanhamento técnico visando a adoção de boas práticas de manejo (SEIXAS et al., 2020), especialmente o manejo integrado de pragas e de doenças na cultura da soja dentro do Programa Grãos Sustentáveis do IDR-Paraná (IDR-PARANÁ, 2021). Assim, a escolha dos agricultores deu-se pela relação existente destes com a extensão rural do IDR-Paraná e por receberem orientações sobre práticas de manejo, a exemplo de manejo de solos.

Figura 1 – Municípios de localização dos 13 estabelecimentos rurais sob plantio direto no Sudoeste do PR.



Fonte: autoria própria (2022)

Em cada estabelecimento agropecuário foi selecionado um talhão com cultivo de grãos, para a realização dos levantamentos. Dentro deste talhão, selecionou-se uma área homogênea quanto aos manejos fitotécnicos, declividade, posição na topossequência, dentre outras variáveis. Preferencialmente, selecionou-se esta área no terço médio da topossequência, e quando da existência de sistema de terraceamento, foi selecionado um único intervalo entre terraços para amostragem. Esta área foi tomada como representativa e como parcela analítica para fins da caracterização dos atributos químicos e físicos do solo. Dentro desta parcela, foram definidos três pontos de amostragem, com variação entre 20 e 50 m de distância entre eles. Quando das coletas, evitou-se a amostragem em carregadores de máquinas e animais, bem como canal ou camalhão de terraços.

A identificação dos talhões se deu por um código referente ao município de origem, e quando da existência de mais de um estabelecimento pesquisado no município, estes foram identificados por número sequencial (Tabela 5). Para cada talhão, foram definidas a declividade, teor de argila e a primeira ordem da classe de

solo predominante através da aproximação ao mapa de solos do estado do Paraná (BHERING et al., 2008) e com base em informações prévias da área (Tabela 5).

Tabela 5 – Município de origem, código de identificação dos talhões, classe de solo, declividade e teor de argila dos 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.

Município	Código do talhão	Classe de solo	Declividade (%)	Teor argila (%)
Bom Sucesso do Sul	BSS	Latossolo	8	75,3 ¹
Chopininho	CHO	Latossolo	8	82,0 ¹
Coronel Vivida	CVV	Cambissolo	8	59,0 ²
Itapejara d'Oeste	ITO1	Latossolo	7	74,7 ¹
Itapejara d'Oeste	ITO2	Nitossolo	15	78,7 ¹
Mangueirinha	MAG	Latossolo	9	79,0 ¹
Mariópolis	MAR1	Cambissolo	17	76,3 ¹
Mariópolis	MAR2	Nitossolo	15	71,3 ¹
Pato Branco	PBR1	Latossolo	12	77,7 ¹
Pato Branco	PBR2	Latossolo	8	71,3 ¹
São João	SJO	Cambissolo	15	64,3 ¹
Vitorino	VIT1	Nitossolo	14	72,0 ¹
Vitorino	VIT2	Latossolo	10	82,7 ¹

¹ muito argilosa e ² argilosa, segundo SANTOS et al. (2018)

Fonte: autoria própria (2022)

Os levantamentos foram divididos em duas etapas: coleta de amostras de solos para determinação de atributos físicos e químicos, realizadas entre os meses de fevereiro e abril de 2021, após a colheita da primeira safra; e coleta de informações sobre práticas de manejo adotadas nos talhões para fins de caracterização do IQP, realizadas entre fevereiro e setembro de 2021.

3.2 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SOLOS

Os atributos físicos diagnosticados foram densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), e índice de qualidade estrutural do solo (IQES). Já os atributos químicos foram pH, matéria orgânica do solo (MOS), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), saturação de bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação de alumínio (m).

Para a determinação da Ds, Pt, Ma e Mi do solo, em cada ponto de amostragem, foram coletadas três amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos (volume de 85 cm³) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. As amostras foram processadas conforme metodologia descrita em EMBRAPA (2017).

Para a determinação do IQES, utilizou-se da metodologia diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) (RALISCH et al., 2017), com três amostragens para cada talhão. Para tanto, nas mesmas trincheiras de coleta de amostras indeformadas, foram coletadas amostras de aproximadamente 0,10 m de espessura, 0,20 m de largura e 0,25 m de profundidade com auxílio de pá de corte. As amostras foram alojadas em bandejas plásticas para a identificação das diferentes camadas com diferenças estruturais de solo e determinação da qualidade estrutural da camada (Qec). Posteriormente foi calculada a qualidade estrutural da amostra (IQEA), obtida pela média dos Qec ponderada pela espessura de cada camada, quando houvesse. Foi obtido o índice de qualidade estrutural do solo no talhão (IQES), resultante da média simples das IQEA, e a estrutura classificada como muito ruim (1 a 1,9), ruim (2 a 2,9), regular (3 a 3,9), boa (4 a 4,9) e muito boa (5 a 6).

Para a determinação dos atributos químicos, em cada um dos três pontos de amostragem de cada talhão, foram coletadas amostras compostas (cinco subamostras) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Os atributos químicos analisados foram MOS via digestão úmida (*Walkley-Black*), pH em CaCl₂ 1:2,5, P e K extraídos por Mehlich – 1, Ca, Mg e Al extraídos por KCl 1M, e com base nestes dados foram calculados V, CTC e m, conforme descritos em PAVAN et al. (1992).

3.3 DETERMINAÇÃO DO IQP

Para a determinação do IQP de cada talhão (estabelecimento agropecuário), foi aplicado o formulário fornecido pela FEBRAPDP (FEBRAPDP, 2020b). Para os dados relativos aos cultivos realizados, foram utilizadas as informações referentes aos anos de 2018, 2019 e 2020.

Os dados foram tabulados e analisados frente a metodologia de cálculo dos oito indicadores do IQP 2 (FEBRAPDP, 2020c). Os valores dos indicadores foram estabelecidos e posteriormente foram ponderados e somados conforme previsto na metodologia, obtendo a nota e classificação IQP 2 de cada talhão.

Da mesma forma, realizou-se a determinação dos valores dos indicadores, notas e classificação do IQP Sudoeste-PR a partir dos dados levantados. Apesar do IQP Sudoeste-PR ainda não ter sido publicado, aproveitou-se dos dados deste

trabalho para realizar a sua análise e pertinência com base na sua proposição (Tabela 3 e Tabela 4).

3.4 PROPOSTA DE PARÂMETROS TÉCNICOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO SPD

Como discutido no capítulo 2.2, o SPD não possui parâmetros que permitam a sua identificação ao nível de campo, decorrente da falta de critérios que definam as três práticas pilares do SPD, em especial a rotação de culturas. Ao mesmo tempo, o IQP possui os indicadores PR, DR e FP que podem ser usados nesta diferenciação (POSSAMAI et al., 2022), pois nestes são estabelecidos níveis críticos para com a qualidade do SPD. A estes, pode ser acrescido o indicador IR, o qual refere-se a cobertura do solo.

Dada a proposta de utilização de indicadores técnicos do IQP como diferenciadores entre PD e SPD, os talhões foram classificados como SPD quando apresentaram simultaneamente valores maiores que o nível crítico para os indicadores DR, PR e FP, e como PD quando não atendido esta condição. Este processo foi realizado para o IQP 2 e para o IQP Sudoeste-PR.

Os resultados dos talhões são apresentados como sendo PD, por ser o conceito mais simples e que abrange a todos os casos analisados. Do contrário, estar-se-ia considerando que todos os talhões avaliados seriam SPD.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados dos atributos químicos e físicos foram tabulados e estabelecidas as médias em função das repetições de cada talhão. As diferentes camadas, dentro de cada talhão, foram comparadas entre si. Os dados foram submetidos a teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* a 5% de significância, pelo qual constatou-se que um ou mais atributos, em todos os talhões, apresentavam distribuição não normal. Em função disto, realizou-se a análise não-paramétrica de comparação de médias, através do teste de *KRUSKAL-WALLIS* a 5% de significância (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012), utilizando-se do software Microsoft Excel® com o complemento ACTION STAT® (ESTATCAMP, 2019).

Ainda, os dados dos atributos químicos e físicos foram analisados descritivamente e interpretados em relação à valores de referências, atribuindo níveis de adequação para a produção vegetal. Para os atributos químicos, utilizou-se dos níveis estabelecidos no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS-NEPAR, 2017), com a análise dos dados médios ponderados para a camada de 0-20 cm conforme previsto no referido manual. Para dados dos atributos físicos foram utilizados os níveis restritivos para densidade do solo, calculada através da equação $D_s \text{ restritiva} = 1,8618 - 0,00071 \times \text{argila (g kg}^{-1}\text{)}$ (REICHERT et al., 2009), e para macroporosidade utilizado o nível restritivo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), para os valores médios dentro de cada camada de solo.

Realizou-se a correlação entre o IQP e atributos químicos e físicos de solo dos talhões. Os atributos químicos e físicos são considerados indicadores independentes, já que os indicadores do IQP são obtidos via formulário estruturado, sem aferição ao nível do campo, para estas avaliações. Neste sentido, a validação do IQP frente a indicadores independentes de solo é importante para verificar o seu comportamento. Dentre os atributos químicos e físicos de solos, foram selecionados alguns com maior contribuição na identificação da qualidade dos solos e com potencial de associação com o IQP ou seus indicadores. Para os atributos químicos, selecionou-se aqueles que possuem maior relação com a produção agrícola, com P, K, Ca, Mg e V. Além destes, a MOS, dada a compreensão de sua importância para a qualidade dos solos nos aspectos químicos, físicos e biológicos. Para os atributos físicos, selecionou-se Ma, Ds e IQES, sendo que para os dois primeiros devido possuírem indicativos de restrição ao processo produtivo e o terceiro pela importância da estrutura do solo como resultante do processo de organização do solo frente a sua qualidade (ANGHINONI, 2007; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Como o levantamento dos atributos químicos e físicos do solo demonstrou a estratificação destes ao longo do perfil, com a diferenciação de uma camada superficial de 0-5 cm, e outra subsuperficial de 5-20 cm, optou-se por realizar a correlação do IQP e seus indicadores com estas camadas encontradas. Para isto, os atributos químicos e físicos de solos com resultados estratificados, foram agrupados em duas camadas, a superficial e a subsuperficial.

Utilizou-se da análise de correlação de *Spearman* a 5% de significância, realizado com software Microsoft Excel® e o complemento *ACTION STAT*® (ESTATCAMP, 2019).

Ainda, foi realizada a análise dos componentes principais dos indicadores do IQP 2 e IQP Sudoeste-PR e dos atributos químicos e físicos, utilizando da matriz de variância e covariância para os casos de dados padronizados, ou matriz de correlação para casos de dados não padronizados. Da mesma forma, realizou-se a análise de agrupamentos dos talhões baseada nos indicadores ponderados do IQP 2 e IQP Sudoeste-PR, com o uso de grupos pareados e índice de similaridade euclidiana. As análises multivariadas foram realizadas com o software PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO - IQP

4.1.1 Características e percepções dos agricultores sobre o PD

De modo geral, os casos estudados são caracterizados como agricultura familiar (BRASIL, 2006), com área de terras de até quatro módulos rurais, gestão e trabalho sendo realizados pelos membros da família, tendo no cultivo de grãos uma exploração econômica. A área média sob PD é de 38 ha, com um agricultor possuindo área maior que 100 ha e quatro com menos de 10 ha, demonstrando predominância de pequenas áreas de cultivo, com o tempo de adoção médio do PD de 21,5 anos (Tabela 6).

Os talhões avaliados são sistemas produtivos de grãos motomecanizados, com exploração comercial, compostos especialmente por soja, milho, feijão e trigo, com a realização de dois ou até três cultivos num mesmo ano (Figura 2). Em ITO2 e SJO, além do cultivo de grãos havia a integração com a bovinocultura de leite no talhão, com a utilização dos cultivos de forrageiras na safra de inverno para pastejo de bovinos (Figura 2). Uma análise pormenorizada destes cultivos é apresentada no capítulo 4.1.2.2.

Tabela 6 – Caracterização e principais práticas de manejo de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.

Talhão	Área sob PD (ha)	Tempo de adoção do PD (anos)	Preparo do solo ¹	Compactação ²	Terraceamento ³	Operações agrícolas em nível		Observa erosão	Uso de dejetos animal ⁴	Práticas baseadas na análise de solo	
						Semeadura	Pulverização			Calagem	Adubação
BSS	29,0	20	não	sim/cab.	Não	sim	sim	não	CQ-SB	sim	sim
CHO	48,0	15	sim/at/4	sim/cab.	Sim/0-1	sim	não	não	CQ-SB	sim	sim
CVV	6,0	20	não	não	Não	sim	não	não	não	sim	sim
ITO1	41,0	25	não	sim/cab.	Sim/0-1	sim	sim	não	CQ-SB	sim	sim
ITO2	24,0	25	não	sim/toda	Sim/0-1	sim	sim	laminar	CQ-SB	sim	sim
MAG	170,0	22	não	não	Não	sim	não	não	CQ-CB	sim	sim
MAR1	5,4	11	não	não	Não	não	não	laminar	não	sim	sim
MAR2	4,8	30	sim/cab/0	sim/cab.	Sim/0-1	sim	sim	laminar	não	sim	sim
PBR1	80,0	22	não	sim/cab.	Não	sim	não	não	CQ-SB	sim	sim
PBR2	43,5	10	sim/at/3	não	Não	sim	sim	não	CQ-SB	sim	sim
SJO	9,0	31	não	não	Sim/0-1	sim	sim	não	CQ-SB	sim	sim
VIT1	13,3	27	não	sim/cab.	Sim/0-1	sim	sim	laminar	CQ-SB	sim	sim
VIT2	19,4	22	sim/cab/2	sim/cab.	Não	sim	sim	laminar	não	sim	sim
Média	38,0	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Para os casos em que ocorreu o preparo do solo, tem-se: at (área total) ou cab (cabeceiras - áreas de manobras de máquinas), seguido pelo intervalo de anos desde o último preparo;

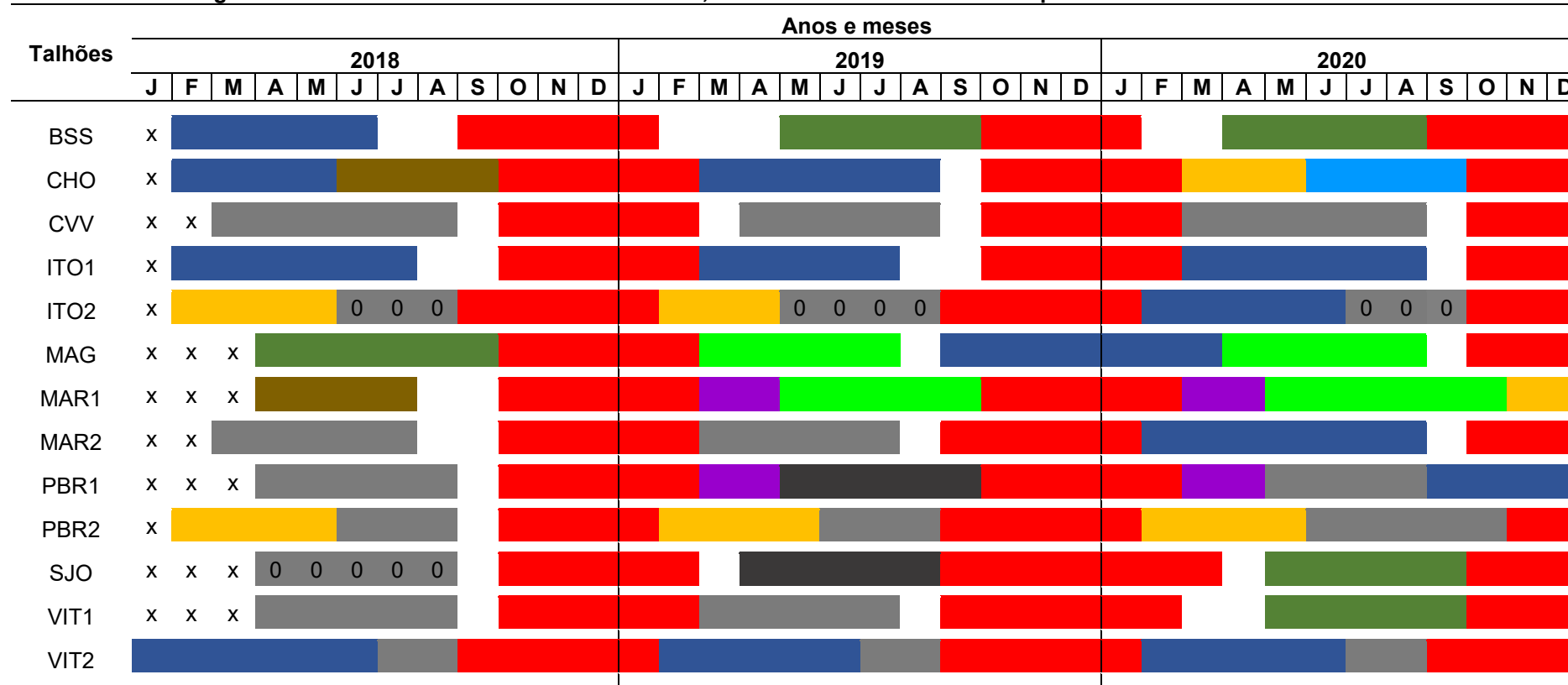
² Para os casos de percepção de compactação, tem-se: cab (cabeceiras – áreas de manobras de máquinas) ou toda (área total);

³ Quando da presença de terraceamento, tem-se: intervalo de frequência de transbordamentos dos terraços pelas águas das chuvas nos últimos cinco anos;

⁴ Quando do uso de dejetos animal, tem-se: CQ-SB (com controle da quantidade, mas sem balanço dos nutrientes) e CQ-CB (com controle da quantidade e com balanço de nutrientes).

Fonte: autoria própria (2022)

Figura 2 – Cultivos realizados nos anos de 2018, 2019 e 2020 de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.



Legenda  Soja  Milho  Trigo  Feijão  Aveia-preta  Nabo-forrageiro  Milheto  mix  Aveia-branca  Centeio

 sem cultivo  sem informação  utilização para pastejo

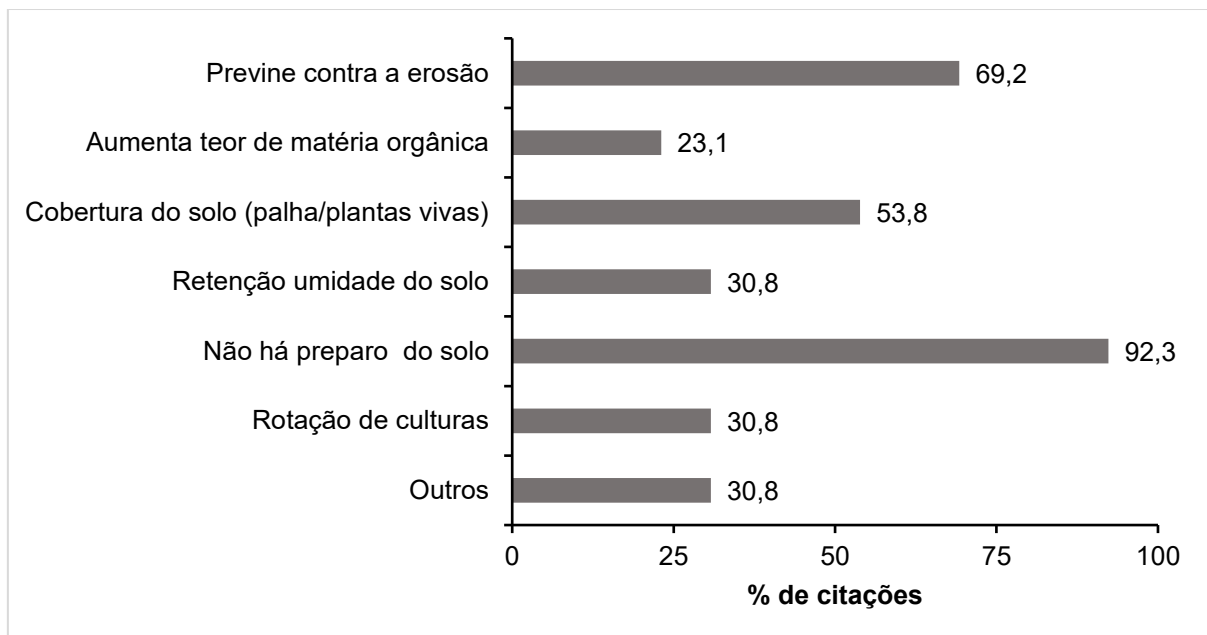
Para meses, sequencialmente: J – janeiro, F – fevereiro, M – março, A – abril, M – maio, J – junho, J – julho, A – agosto, S – setembro, O – outubro, N – novembro e D – dezembro.

Fonte: autoria própria (2022)

A metodologia IQP permite explorar algumas percepções dos agricultores sobre as práticas conservacionistas adotadas, bem como informações gerais sobre os sistemas de produção. Ao serem questionados sobre o entendimento sobre SPD (Gráfico 1), com respostas espontâneas, os agricultores citaram com maior frequência o não preparo do solo (92,3%), seguido pela prevenção da erosão do solo (69,2%) e manutenção da cobertura do solo por palha ou plantas vivas (53,8%). As demais citações obtiveram frequência inferior a 50%, como o caso da rotação de culturas, aumento da MOS e melhor retenção da umidade no solo.

Nota-se que a percepção predominante dos agricultores em relação ao SPD está na semeadura sem preparo prévio do solo e na redução da erosão dos solos. A rotação de culturas, princípio do SPD, não teve frequência elevada na percepção dos agricultores (30,8%), fato este também observado por Telles et al. (2022) na região Oeste do Paraná, indicando a não percepção da maioria dos agricultores quanto a esta prática. Ainda, todos os agricultores manifestaram-se satisfeitos com o suposto SPD que executam, com 69,2% avaliando-o como bom e 30,8% como excelente.

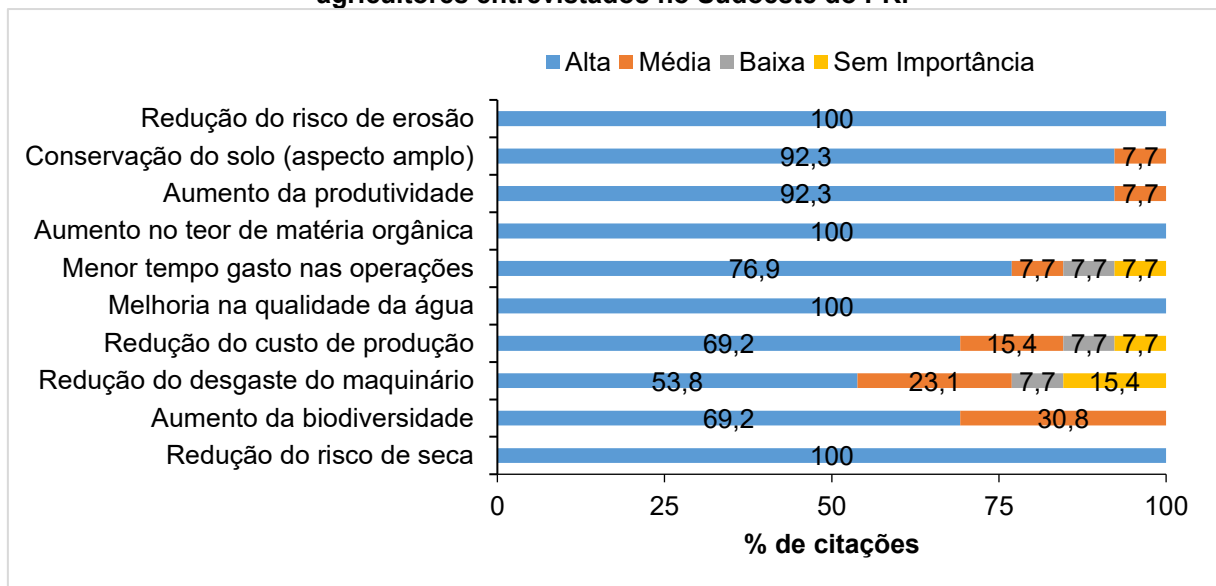
Gráfico 1 – Percepção sobre o que é Sistema Plantio Direto referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.



Fonte: autoria própria (2022)

Quando os agricultores foram questionados de forma estimulada sobre a importância do SPD para diversos temas (Gráfico 2), para todos os casos houve a predominância de citações como alta importância. Destaca-se que redução do risco da erosão, aumento do teor de MOS, melhoria da qualidade da água e redução do risco de seca foram citados por todos os agricultores como de importância alta. Apenas para os temas tempo gasto com operações, custo de produção, desgaste de máquinas e biodiversidade as percepções de importância alta não foram superiores a 80%. Isto demonstra que os agricultores possuem compreensão da importância do SPD para com os sistemas de produção, seja em questões produtivas, econômicas e ambientais.

Gráfico 2 – Percepção sobre a importância do Sistema Plantio Direto, referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.

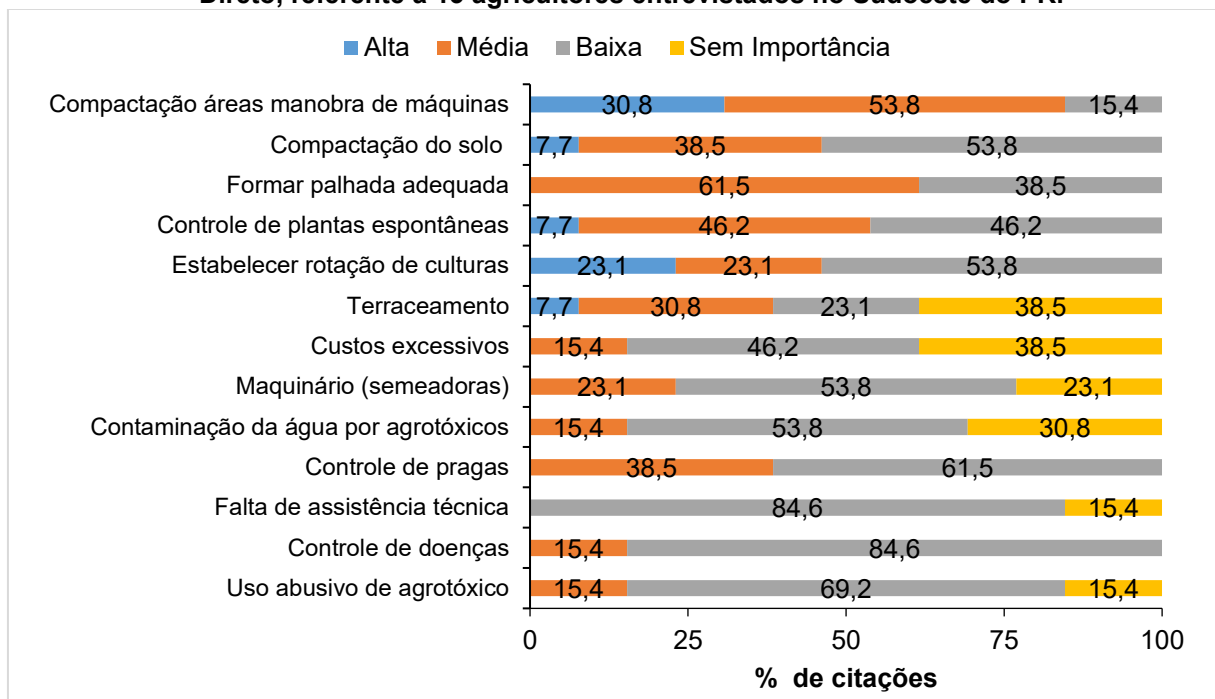


Fonte: autoria própria (2022)

Dentre as dificuldades ou problemas quando da utilização do SPD (Gráfico 3), destacou-se a percepção da compactação dos solos nas áreas de manobras de máquinas (30,8%) e dificuldade em estabelecer rotação de culturas (23,1%), com as maiores citações como de alta importância. Compactação do solo em área total, dificuldade no controle de plantas espontâneas e dificuldade com terraceamento, foram citados por 7,7% dos agricultores como de importância alta. Se somadas as classes alta e média, nota-se que houve número de citações maior que 50% para compactação do solo nas áreas de manobras, dificuldade em formar palhada e

dificuldade de controle de plantas espontâneas, os quais também foram elencados na região Oeste do Paraná (TELLES et al., 2022). Estes problemas, conjuntamente com a dificuldade em estabelecer a rotação de culturas, caracterizam-se como os principais problemas ou dificuldades percebidos pelos agricultores na adoção do SPD.

Gráfico 3 – Percepção sobre os problemas ou dificuldades na utilização do Sistema Plantio Direto, referente a 13 agricultores entrevistados no Sudoeste do PR.



Fonte: autoria própria (2022)

4.1.2 Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto – IQP 2

Os valores individuais do IQP 2 demonstram que 12 casos avaliados (92,3%) obtiveram a classificação boa, com apenas um caso (7,7%) com classificação regular (Tabela 7). Não se encontrou casos classificados como muito bom ou baixo. Avaliando o IQP de 40 talhões no Oeste do PR, Nunes et al. (2020) encontraram 5%, 57,5%, 27,5% e 10%, para muito bom, bom, regular e baixo, respectivamente. Já no Sudoeste do PR, estudo com seis casos realizado por Mendes; Mello; Telles (2019) obtiveram 50% das classificações como bom e 50% como regular, e estudo feito por Possamai et al. (2022) com 37 casos encontrou 78,4% classificados como bons. Nota-se que no presente estudo encontrou-se maior

percentual de IQP classificado como bom em comparação aos outros estudos, porém com valores próximos ao obtido por Possamai et al. (2022). Isto pode decorrer da forma de seleção dos agricultores, pois são agricultores que recebem orientações frequentemente sobre boas práticas agrícolas por parte do IDR-Paraná.

Tabela 7 – Notas dos indicadores, Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto (IQP 2) e respectiva classificação, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Talhões	Indicadores ¹								IQP 2	Classificação
	IR	DR	PR	FP	TE	AC	FE	TA		
BSS	0,81	0,67	0,50	1,00	0,00	0,75	0,75	0,80	6,76	bom
CHO	0,97	1,00	0,50	0,25	1,00	0,68	0,75	0,60	7,11	bom
CVV	0,89	0,67	0,50	1,00	0,00	0,93	1,00	0,80	7,31	bom
ITO1	0,86	0,67	0,50	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	8,04	bom
ITO2	1,00	0,67	0,50	1,00	1,00	0,25	0,75	1,00	7,75	bom
MAG	0,94	0,67	0,83	1,00	0,00	0,93	1,00	0,88	7,97	bom
MAR1	0,94	1,00	0,67	1,00	0,00	0,50	1,00	0,44	7,36	bom
MAR2	0,89	0,67	0,50	0,80	1,00	0,50	1,00	1,00	7,78	bom
PBR1	0,97	0,67	1,00	1,00	0,00	0,68	0,75	0,88	7,76	bom
PBR2	0,97	0,67	0,50	0,25	0,00	1,00	0,75	0,40	5,73	regular
SJO	0,92	0,67	0,50	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	8,38	bom
VIT1	0,89	0,67	0,50	1,00	1,00	0,50	0,75	1,00	7,83	bom
VIT2	1,00	0,67	1,00	0,80	0,00	0,50	1,00	0,88	7,58	bom
Média	0,93	0,72	0,62	0,85	0,46	0,69	0,85	0,82	7,49	bom
CV (%)	6,30	17,44	32,02	32,56	112,42	33,76	14,96	25,89	9,03	-
Nível Crítico	0,75	0,67	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,30		

¹ Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE - fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção. Células em cinza claro correspondem a valor igual ou inferior ao nível crítico e células cinza escuro correspondem a valor ideal no respectivo indicador.

Fonte: autoria própria (2022)

O valor médio do IQP encontrado foi 7,49, classificado como bom (Tabela 7). Telles et al. (2020) encontraram IQP médio de 6,63 para 121 talhões no Oeste do PR e classificado como bom, e Possamai et al. (2022) encontrou média 7,12 para 37 avaliações no Sudoeste do PR, da mesma forma classificado como bom, porém ambos com média inferior à encontrada neste estudo. Os resultados IQP 2 dos talhões avaliados demonstram uma classificação boa na média, denotando uma boa qualidade do PD praticado.

Dado que o IQP 2 integra oito diferentes indicadores, na sequência são apresentados os resultados de cada indicador, visando compreender as diferentes práticas conservacionistas adotadas e seus impactos na composição do IQP 2.

4.1.2.1 Intensidade de rotação - IR

O indicador IR apresentou a maior pontuação média e o menor coeficiente de variação entre todos os indicadores (Tabela 7), com pontuação média de 0,93, o que representa 33,5 meses de uso do solo com cultivos de um total de 36 meses analisados, o que corresponde a apenas 0,83 mês sem cultivos para cada ano analisado. Telles et al. (2020) encontraram valor médio de 0,87 para 121 áreas do Oeste do PR e Possamai et al. (2022) a média de 0,90 para 37 áreas do Sudoeste do PR, valores menores, porém semelhantes ao encontrado neste trabalho.

Em ITO2 e VIT2 encontrou-se valor ideal com a ocupação do solo o ano todo com cultivos. Já BSS obteve a menor pontuação com 0,81, equivalente a 29 meses com cultivos e 7 meses sem cultivos em 3 anos. Não houve casos de IR igual ou inferior ao limite crítico, demonstrando que este indicador não apresenta limitações dentro dos casos em estudo.

O resultado do IR demonstra que os solos foram intensamente cultivados, com a realização de 2,4 cultivos em média por ano, sendo que todos os agricultores realizaram dois cultivos e em alguns casos houve três cultivos no mesmo ano (Figura 2). Nunes et al. (2020) apontaram que IR é um dos principais indicadores na composição do IQP, de encontro com a estratégia “colher-semear” de intensificação do sistema de produção (DENARDIN et al., 2012), visando reduzir ou suprimir os intervalos entre colheita e semeadura e assim otimizar a cobertura do solo com plantas vivas, a produção de fitomassa e a ciclagem de nutrientes.

4.1.2.2 Diversidade de rotação - DR

O indicador DR, obteve pontuação média de 0,72, correspondendo ao cultivo de 2,16 diferentes famílias botânicas em três anos, acima do nível crítico de 0,67 ou duas famílias botânicas (Tabela 7). Telles et al. (2020) encontraram uma DR média de 0,59, abaixo do valor deste estudo, e Possamai et al. (2022) um valor médio de 0,73, semelhante ao deste estudo.

Em CHO e MAR1 houve o cultivo de três ou mais famílias botânicas, condição ideal para DR. Já os demais casos (84,6%), apresentaram o cultivo de apenas duas famílias botânicas, com gramíneas e leguminosas (Figura 2), encontrando-se no nível crítico. DR foi o indicador que apresentou o maior número

de casos com pontuação igual ou inferior ao limite crítico, indicando limitações à qualidade do PD nos casos avaliados, fato este também observado por Possamai et al. (2022) no Sudoeste do PR.

Dentre as famílias botânicas cultivadas, percebe-se uma distribuição proporcional entre leguminosas e gramíneas, respectivamente com 46,2 e 51,6% de participação entre os cultivos, e as brássicas com apenas 2,2% dos cultivos nos três anos analisados (Figura 2 e Gráfico 4). Dentre as leguminosas, teve-se somente duas espécies, soja e feijão, com predomínio da primeira com 38,7% dos cultivos, a qual ainda se destacou por ser a espécie com maior número de cultivos no geral. Nota-se, ainda, que o uso de espécies leguminosas ocorreu apenas para exploração comercial, sem a utilização de plantas com a finalidade exclusiva como cobertura do solo.

Dentre as gramíneas, destaque para a aveia-preta com 20,4% e o milho com 14% dos cultivos. Percebe-se o uso de variadas espécies voltadas para a exploração comercial (milho, trigo, centeio e aveia-branca) e espécies de cobertura do solo (aveia-preta, milheto e mix), com destaque para MAR1 e PBR1 que utilizaram períodos de aproximadamente 60 dias para cultivo de milheto visando a produção de palhada no período outonal, e MAG e MAR1 com cultivos de mix de espécies, estratégias estas de uso de plantas de cobertura do solo focadas em promover aumento da cobertura do solo pela palhada de gramíneas.

Ao analisar as três safras conjuntamente (Figura 2), nota-se que no período considerado de primeira safra ou safra de verão, de um total de 39 cultivos teve-se 92,3% com soja, 5,1% com milho e 2,6% com feijão. Para a segunda safra ou “safrinha”, do total de 21 cultivos, 52,4% casos com milho, 28,6% com feijão e 19% com milheto, com predomínio de milho. Já para a terceira safra ou safra de inverno, houve 33 cultivos, com destaque para a aveia-preta com 57,6% dos casos de cultivos, trigo com 15,2% e mix de espécies com 12,1%. Cabe destacar que neste estudo o cultivo de mix de espécies foi considerado uma gramínea, pois não havia uma definição do seu enquadramento dentro do IQP 2.

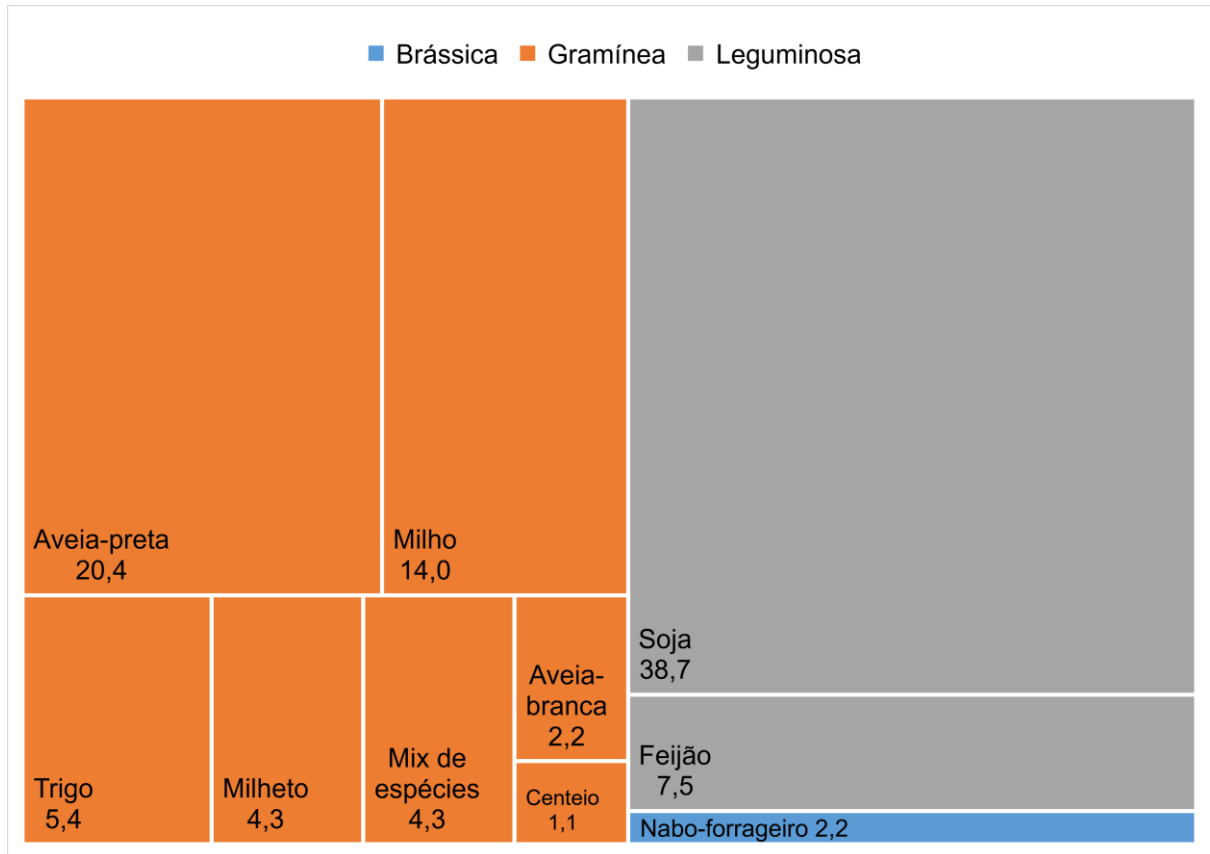
Tem-se, assim, sistemas pouco diversificados em relação ao cultivo da primeira safra, com predomínio da soja, e diferentes graus de variações na segunda e na terceira safra. Em dois talhões houve a utilização de apenas duas espécies

(CVV com soja e aveia preta, e ITO1 com soja e milho), apenas com espécies voltadas para exploração comercial. Em outros cinco talhões cultivaram-se três espécies vegetais (BSS com soja, milho e trigo, MAR2 com soja, milho e aveia-preta, PBR2 com soja, feijão e aveia preta, VIT1 com soja, trigo e aveia preta, e VIT2 com soja, milho e aveia preta). Em CHO, MAG, MAR1 e PBR1 houve o cultivo de quatro ou mais espécies, sendo talhões com o uso mais intenso de plantas de cobertura. No geral, nota-se que dentre os casos analisados se tem sistemas produtivos com diversificação de espécies vegetais cultivadas, o que pode ser decorrente das ações da extensão rural do IDR-Paraná junto aos agricultores.

Considerando que apenas os casos acima do nível crítico podem ser considerados como rotação de culturas pelo IQP 2, apenas os talhões CHO e MAR1 podem enquadrar-se como SPD. A DR, neste sentido, não demonstrou variação frente aos sistemas mais diversificados quanto ao uso de espécies, como nos exemplos de CHO, MAG, MAR1 e PBR1 citados anteriormente.

Avaliando o IQP, Nunes et al. (2020) concluíram que a rotação de culturas, foi a principal prática de manejo que contribuiu para a qualidade do SPD avaliada pelo IQP, apresentando boa correlação com a MOS.

Gráfico 4 – Participação em porcentagem das famílias botânicas e espécies cultivadas, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR, referente aos cultivos dos anos de 2018, 2019 e 2020.



Fonte: autoria própria (2022)

4.1.2.3 Persistência de resíduo - PR

Para PR obteve-se uma pontuação média de 0,62, que corresponde a 3,72 cultivos de gramíneas em três anos (Tabela 7), valor este acima do nível crítico. No entanto, em nove casos (69,2%) o valor foi igual ao nível crítico. Apenas em PBR1 e VIT2 obteve-se valor ideal, com cultivo de seis gramíneas em três anos. Isto demonstra que para a maioria dos talhões pode haver cobertura insuficiente do solo com palhada, corroborando com a percepção dos agricultores (Gráfico 3).

Comparativamente, Possamai et al. (2022) encontraram o mesmo valor médio de PR e Telles et al. (2020) encontraram média de 0,55 o que correspondeu a média de 3,3 cultivos de gramíneas em seis anos, inferior ao presente estudo.

No cultivo da primeira safra, a presença de gramíneas somente foi observada em MAG e PBR1, com a introdução de milho no sistema de produção em

um dos três anos avaliados (Figura 2). Nas demais situações, as gramíneas foram cultivadas somente na segunda safra com milho ou milheto, ou na terceira safra com aveias, trigo, mix ou centeio, com destaque para o cultivo de aveia-preta que correspondeu a 20,4% dos cultivos em geral (Gráfico 4), sendo a espécie vegetal de cobertura do solo frequentemente usada na região. Salienta-se que é preconizado o cultivo de milho no mínimo a cada três a quatro anos num sistema de rotação na primeira safra (CANALLI; BORDIN, 2019; FRANCHINI et al., 2011), proporcionando elevada produção de palhada e alta relação carbono/nitrogênio (ROLLOF; LUTZ; MELLO, 2011a).

Dado que o indicador PR possui relação direta com o princípio de cobertura permanente do solo do SPD, e considerando os valores acima do nível crítico como não limitantes, tem-se que MAG, MAR1, PBR1 e VIT2 atendem este critério para fins de enquadramento como SPD.

4.1.2.4 Frequência de preparo - FP

A pontuação média obtida para FP foi de 0,85 (Tabela 7), maior que o nível crítico. Em 11 casos (84,6%) obteve-se valores superiores ao nível crítico, demonstrando que este indicador não se demonstra limitante para a maioria dos casos. De forma comparativa, Possamai et al. (2022) encontraram o valor médio de 0,89, o qual é semelhante ao deste estudo, enquanto Telles et al. (2020) encontraram valor médio menor, de 0,55.

Foram nove casos sem preparo do solo (69,2%), dois casos com preparo do solo nas cabeceiras (15,4%) e dois casos com preparo em área total (15,4%) (Tabela 6). Nos casos com preparo do solo nas cabeceiras (MAR2 e VIT2), a operação agrícola ocorreu nos últimos dois anos, o que pode decorrer do tamanho pequeno das áreas (38 ha), onde aumenta a necessidade de manobras para as operações mecanizadas e proporcionalmente os riscos de compactação nas áreas de manobras. A compactação do solo nas cabeceiras teve mais citações como problema com importância alta pelos agricultores (Gráfico 3). Já em CHO e PBR2, ocorreu o preparo do solo em área total com menos de quatro anos, sendo que as motivações estavam relacionadas à necessidade de incorporação de corretivo de solo (calagem) e percepção de que havia compactação.

Dado que a mínima mobilização do solo é um princípio do SPD, e considerando que o nível crítico do indicador que corresponde a preparo com intervalo igual ou menor que seis anos, dos casos analisados tem-se que CHO e PBR2 não se enquadram como SPD.

4.1.2.5 Terraceamento correto - TE

O indicador TE apresentou 0,46 como pontuação média para os casos analisados (Tabela 7), apresentando a menor média entre os indicadores e sendo o único indicador com média abaixo do nível crítico. Destacou-se por apresentar o maior coeficiente de variação entre os indicadores (112,42), com 53,8% dos casos apresentando valores zerados, comprometendo a nota do IQP dos talhões. Na análise individualizada do TE, tem-se 53,9% dos casos sem terraceamento, e 46,1% com terraço (Tabela 6). Dentre os que possuem terraços, não houve citações de casos com mais de um transbordamento nos cinco anos anteriores analisados, o que auferiu pontuação elevada a estes casos. Possamai et al. (2022) encontraram pontuação média semelhante (0,54) para TE, e Telles et al. (2020) obtiveram uma média de 0,71, demonstrando uma menor adoção do terraceamento no Sudoeste do PR em comparação ao Oeste do PR. O terraceamento é uma prática importante para evitar erosão do solo e aumentar a taxa de infiltração de água no solo (FRANCHINI et al., 2009), mesmo em área com adoção do PD.

4.1.2.6 Avaliação da conservação - AC

Para AC obteve-se uma pontuação média de 0,69, acima no nível crítico (Tabela 7). Este valor foi igual a média encontrada por Telles et al. (2020) no Oeste do PR e maior que a média obtida por Possamai et al. (2022) no Sudoeste do PR, de 0,55. Oito casos (61,5%) apresentaram valores superiores ao nível crítico, sendo que em dois casos (15,4%) obteve-se a pontuação ideal.

Em relação a compactação (Tabela 6), oito agricultores (61,5%) citaram a percepção da existência de compactação nos talhões, sendo que destes somente um citou-a em área total e os demais casos somente nas cabeceiras. Ou seja, há uma percepção de problemas relacionadas a compactação dos solos, especialmente nas áreas de manobras das máquinas agrícolas.

Já em relação a realização das operações agrícolas com máquinas (Tabela 6), apenas um caso (7,7%) citou não realizar a operação de semeadura em nível, demonstrando o predomínio da adoção desta prática pelos agricultores, mesmo nos casos de agricultores que não possuem terraceamento. Já em relação a operação agrícola de pulverização tem-se 38,46% dos casos que não a fazem em nível.

Por fim, em relação a percepção da presença da erosão (Tabela 6), tem-se apenas cinco casos (38,5%) com percepção da presença de erosão nos talhões avaliados, todos citando a presença apenas da erosão do tipo laminar. Assim, oito casos (61,5%) não citaram problemas de erosão do solo.

Cabe destacar que estas indicações foram obtidas a partir das percepções e citações dos agricultores, não correspondendo a levantamentos ao nível de campo, sendo que observações de campo podem apresentar resultados diferenciados para os indicadores AC, TE e FP (DEBIASI et al., 2019).

4.1.2.7 Fertilização equilibrada - FE

Para FE obteve-se uma pontuação média de 0,82, acima do nível crítico, sendo que em nenhum caso individual houve valor igual ou abaixo deste (Tabela 7), demonstrando que este indicador não apresentou limitações dentro dos casos avaliados. Em cinco casos (38,5%), obteve-se a pontuação ideal, onde as operações de calagem e adubação são referenciadas nos resultados da análise de solo. Telles et al. (2020) encontraram valor médio de 0,59 e Possamai et al. (2022) encontraram pontuação média de 0,69, ambos com valores abaixo do encontrado neste trabalho.

A utilização de dejetos animais como fertilizante do solo ocorreu em nove casos (69,2%), todos com controle da quantidade aplicada, porém somente um caso com balanço da quantidade dos nutrientes (Tabela 6).

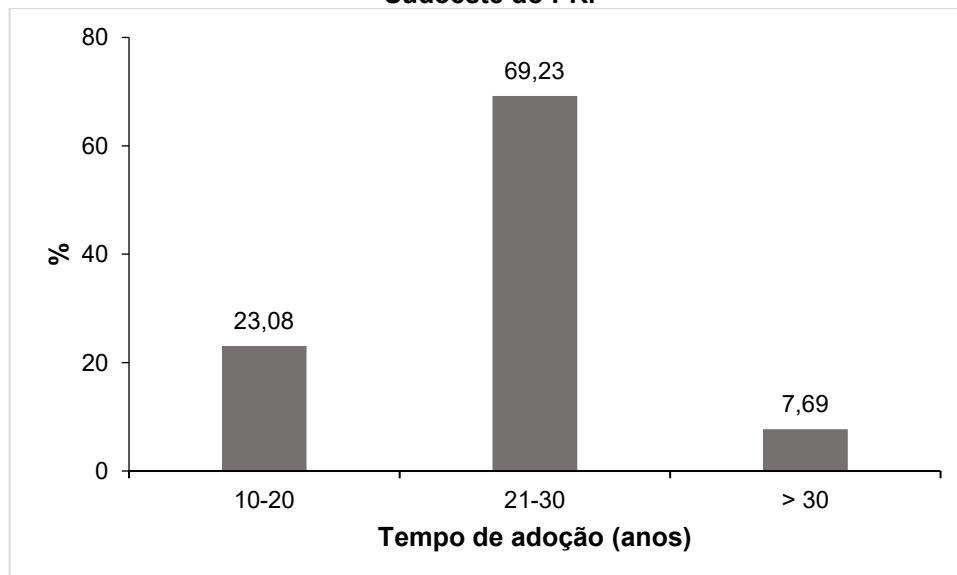
4.1.2.8 Tempo de adoção - TA

Para TA, obteve-se uma pontuação média de 0,82, sem casos com valores iguais ou abaixo do nível crítico, e com cinco casos (38,5%) com pontuação ideal com 25 ou mais anos de adoção do PD (Tabela 7). A pontuação média encontrada neste trabalho foi maior do que os valores encontrados por Telles et al. (2020) e Possamai et al. (2022), de 0,67 e 0,63 respectivamente.

A maioria dos casos adotou o PD num intervalo de 21 e 30 anos (69,23%) (Gráfico 5), sendo que em média tem-se 21,5 anos como tempo de adoção. Assim, teoricamente a maioria das áreas estudadas estariam na fase de manutenção do SPD com mais de 20 anos de adoção (SÁ et al., 2019), onde já ter-se-ia uma estabilidade dos principais indicadores de solo, como estabilidade da densidade do solo, elevado acúmulo de palhada em superfície do solo e consequente acúmulo e fluxo contínuo de carbono e nitrogênio, elevado acúmulo de fósforo, ciclagem contínua de nutrientes e elevação do armazenamento de água.

Pelo tempo de adoção dos casos avaliados, tem-se que a adoção do PD pelos agricultores teve início na década de 1990, que coincide com o período de grande expansão do PD no Brasil. Este período caracterizou-se pela melhoria operacional das máquinas utilizadas no SPD, especialmente as semeadoras, e herbicidas mais adequados ao manejo de plantas daninhas e de cobertura, bem como a compreensão do conceito de SPD, enquanto sistema de produção para além da simples semeadura direta (CASSOL; DENARDIN; KOCHHANN, 2007).

Gráfico 5 – Distribuição do tempo de adoção do PD, de 13 talhões sob plantio direto da região Sudoeste do PR.

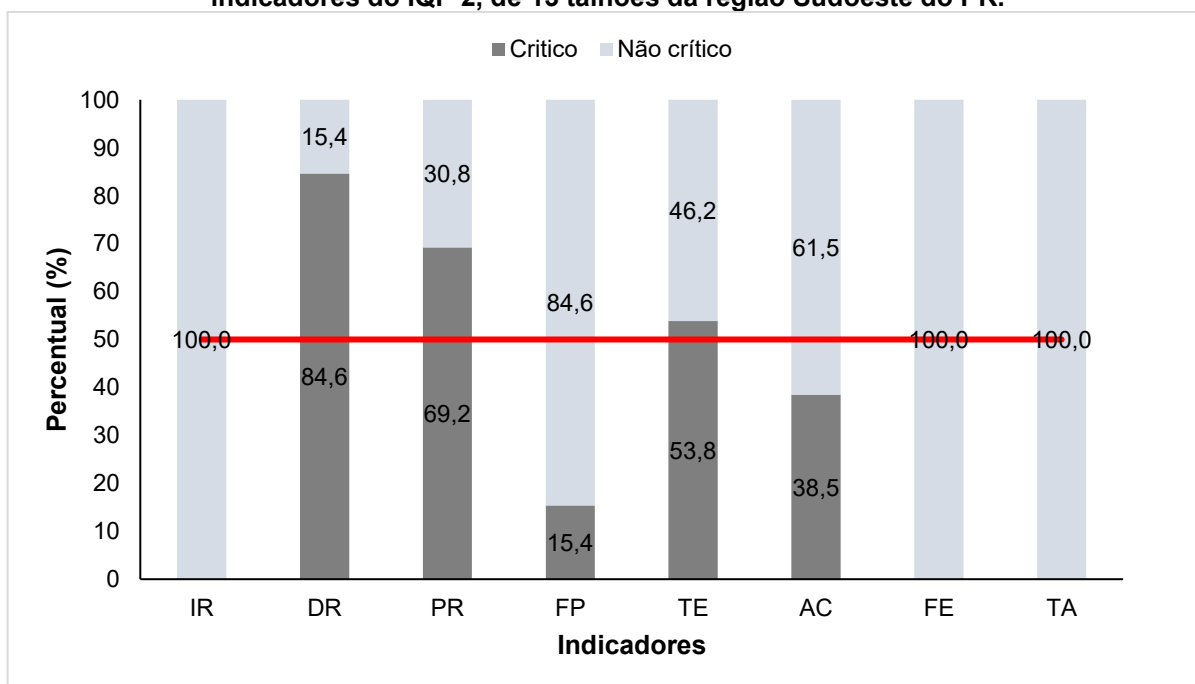


Fonte: autoria própria (2022)

4.1.3 Análise geral do IQP 2

Na análise dos indicadores do IQP 2 (Tabela 7), no geral, as médias estiveram acima do nível crítico, com exceção do indicador TE. No entanto, quanto a distribuição percentual dos casos frente aos níveis críticos dos indicadores (Gráfico 6), nota-se que DR, PR e TE apresentaram mais que 50% dos casos com pontuação igual ou inferior ao nível crítico, com 84,6, 69,2 e 53,8%, respectivamente. Com menores percentuais de casos em níveis críticos, tem-se os indicadores AC e FP, respectivamente com 38,5% e 15,4%. Já os indicadores IR, FE e TA não apresentaram casos em nível crítico. Assim, DR, PR e TE foram os indicadores que apresentaram maiores restrições para a qualidade do SPD em função do número de casos em nível crítico ou inferior.

Gráfico 6 – Distribuição de casos classificados como nível “crítico” ou “não crítico” dos indicadores do IQP 2, de 13 talhões da região Sudoeste do PR.



Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE - fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção.

Linha vermelha indica 50% da distribuição.

Fonte: autoria própria (2022)

Ao comparar os indicadores IR, DR e PR que são obtidos pelas informações dos cultivos realizados (Gráfico 6 e Tabela 7), tem-se que os casos estudados

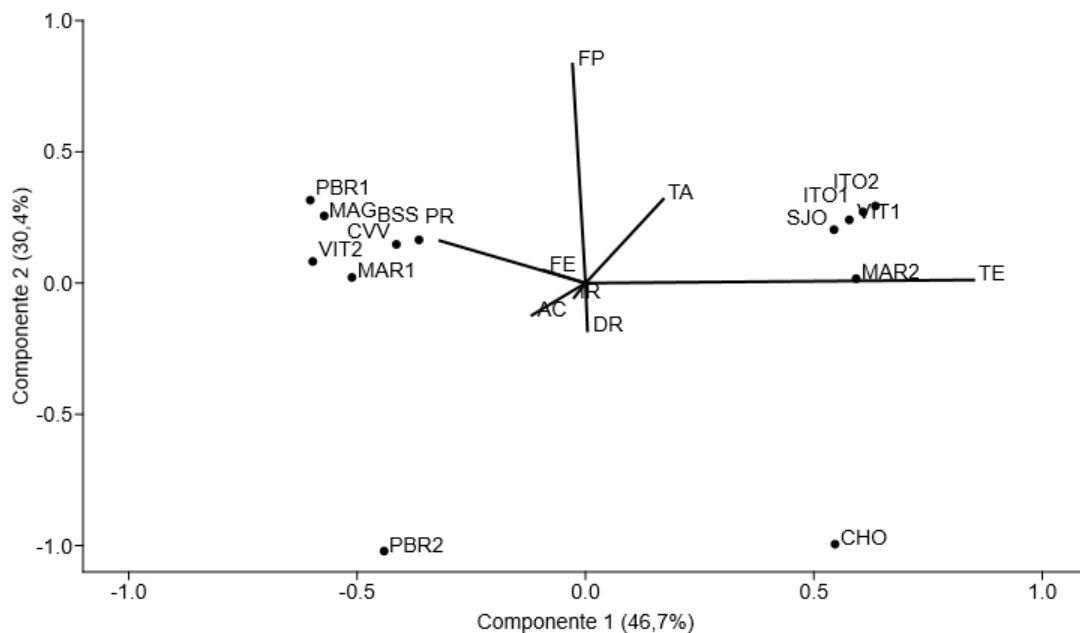
apresentaram níveis adequados para IR, mas DR e PR apresentaram vários casos de níveis críticos. Decorre que tendo PR a situação ideal com seis gramíneas e DR com três famílias botânicas em três anos, tem-se dificuldade em atender simultaneamente os níveis ideais de DR e PR, mesmo em sistemas de intenso cultivo do solo. Por exemplo, dentre os casos estudados tem-se 7,2 cultivos realizados em média (Figura 2), onde seis deveriam ser de gramíneas para obter a situação ideal de PR, restando apenas 1,2 cultivo para outras famílias botânicas, onde o ideal seriam mais duas famílias botânicas para a obtenção da pontuação máxima do DR. Isto demonstra a necessidade de ajustes na entrada de dados do IQP, principalmente do DR para o uso de espécies e não de famílias botânicas.

Para os componentes principais dos indicadores do IQP 2, realizado com os indicadores ponderados (Gráfico 7), obteve-se 46,7% da variação para a componente 1 e 30,4% para o componente 2. Para a componente 1, o TE apresentou a maior participação variância, agrupando os talhões com terraço (valores positivos) dos sem terraços (valores negativos), demonstrando a importância do terraceamento enquanto prática conservacionista do solo, especialmente na condição de clima e solos do Sudoeste-PR. Para a componente 2, o indicador FP apresentou a maior participação na variância, sendo o indicador que proporcionou maior diferenciação dos talhões, diferenciando as áreas com preparo (valor negativo) das áreas com preparo do solo (valor positivo).

Na análise de agrupamento dos talhões, pode-se verificar novamente a contribuição dos indicadores TE e FP na diferenciação do IQP 2 (Gráfico 8). Inicialmente, teve-se a formação de dois grupos a partir da FP, com dois talhões que realizaram preparo de solo em área total nos últimos quatro anos (CHO e PBR2) compondo o menor grupo (esquerda do gráfico) e os demais talhões num segundo grupo. Neste primeiro grupo, inclusive, está o talhão PBR2, o qual foi classificado como de qualidade regular. No segundo grupo, sem preparo ou preparo parcial da área, dividiu-se em outros dois grandes grupos a partir do TE, tendo o grupo do centro do gráfico com o uso do terraceamento (ITO1, ITO2, MAR2, SJO e VIT1), e o grupo a direita do gráfico sem o uso de terraceamento (BSS, CVV, MAG, MAR1, PBR1 e VIT2).

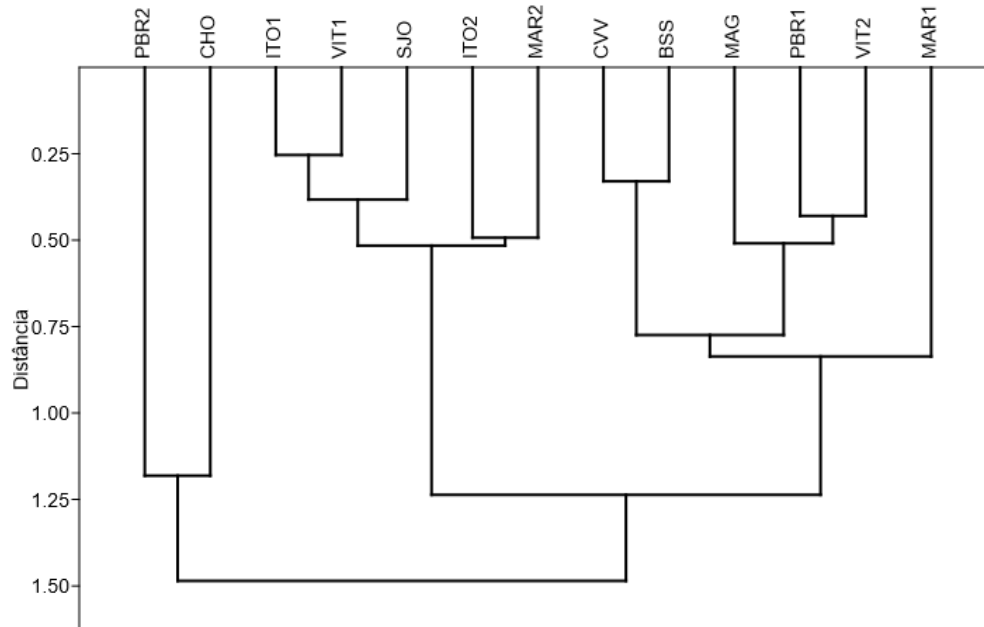
Outro fato demonstrado pela análise dos componentes principais refere-se ao comportamento antagônico observado por alguns indicadores. Na componente 1, o indicador PR apresentou orientação oposta ao TE, indicando que agricultores que não fazem uso do terraceamento cultivam mais gramíneas visando reduzir possíveis problemas com escoamento superficial. Na componente 2, DR orientou-se de forma oposta ao FP, indicando que o aumento da diversificação dos cultivos tem indicado uma menor frequência de preparo do solo. Estas duas relações antagonistas observada em indicadores do IQP (TE \times PR e FP \times DR), apesar de mostraram-se oportunas e coerentes, precisam ser melhor estudadas visando compreender a sua pertinência e reais motivações.

Gráfico 7 – Análise dos componentes principais dos indicadores ponderados do IQP 2, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.



Fonte: autoria própria (2022)

Gráfico 8 – Análise de agrupamentos dos talhões em função dos indicadores ponderados do IQP 2, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.



Fonte: autoria própria (2022)

Pela análise dos componentes principais e de agrupamentos, percebe-se que os indicadores FP e TE foram os que mais promoveram variação dos indicadores e desta forma a diferenciação entre os talhões analisados. Assim, o PD das áreas avaliadas apresentou uma qualidade boa, tendo como principais diferenciadores dos talhões o terraceamento e a frequência de preparo do solo, porém com limitações especialmente quanto a adoção da rotação de culturas, cultivo de gramíneas para formação de palhada e adoção do terraceamento,

Visando diferenciar o PD do SPD a partir do IQP 2 como proposto no capítulo 3.4, dentre os casos estudados somente MAR1 atenderia simultaneamente valores maiores que os níveis críticos para DR, PR e FP. Assim, ter-se-ia apenas um caso (7,7%) de SPD e os demais (92,3%) enquadrados como PD, mesmo com a obtenção de qualidade boa para a maioria dos casos analisados. Isto demonstra que o IQP 2 pode classificar um talhão como bom sem a adoção de um dos princípios do SPD, como também observado por Martins et al. (2018) e Debiasi et al. (2019).

No entanto, ressalta-se que DR no IQP 2 não se mostrou adequado para identificar os talhões com maior diversificação de espécies (capítulo 4.1.2.2), excluindo MAG e PBR1 desta possível classificação como SPD, cujos talhões

apresentaram valores acima do nível crítico para PR e FP, porém nível crítico para DR.

4.1.4 Índice de qualidade participativo do Sistema Plantio Direto do Sudoeste do Paraná – IQP Sudoeste-PR.

O IQP Sudoeste-PR apresentou um valor médio de 7,41, classificado como bom (Tabela 8). Na análise individual dos talhões, 10 casos foram classificados como bons e três como regulares (BSS, CVV e PBR2). Assim, teve-se predomínio da classe bom entre os talhões avaliados, sem ocorrência de casos ótimo, ruim e/ou e péssimo.

Para os indicadores do IQP Sudoeste-PR (Tabela 8 e Gráfico 9), obteve-se:

- IR: média de 0,90, com todos os talhões com valores acima do nível crítico e oito casos (61,5%) com pontuação ideal;
- DR: média de 0,65, com sete casos (58,3%) em nível crítico e quatro casos (30,8%) com pontuação ideal;
- PR: média de 0,63, com nove casos (69,2%) em nível crítico e apenas três (23,1%) com pontuação ideal;
- FP: média de 0,85, com dois casos (15,4%) em nível crítico e apenas nove (69,2%) com pontuação ideal;
- TE: média de 0,46, sendo o único indicador com valor médio abaixo do nível crítico. Na análise individual, sete casos (58,3%) em nível crítico e seis (41,7%) com pontuação ideal;
- AC: média de 0,75, com apenas um caso (7,7%) em nível crítico e dois (15,4%) com pontuação ideal;
- FE: média de 0,85, com nenhum caso em nível crítico e cinco (38,5%) com pontuação ideal;
- TA: média de 0,82, com três casos (23,1%) em nível crítico e cinco (38,5%) com pontuação ideal;

Tabela 8 – Notas dos indicadores, Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto do Sudoeste do PR (IQP Sudoeste-PR) e respectiva classificação, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

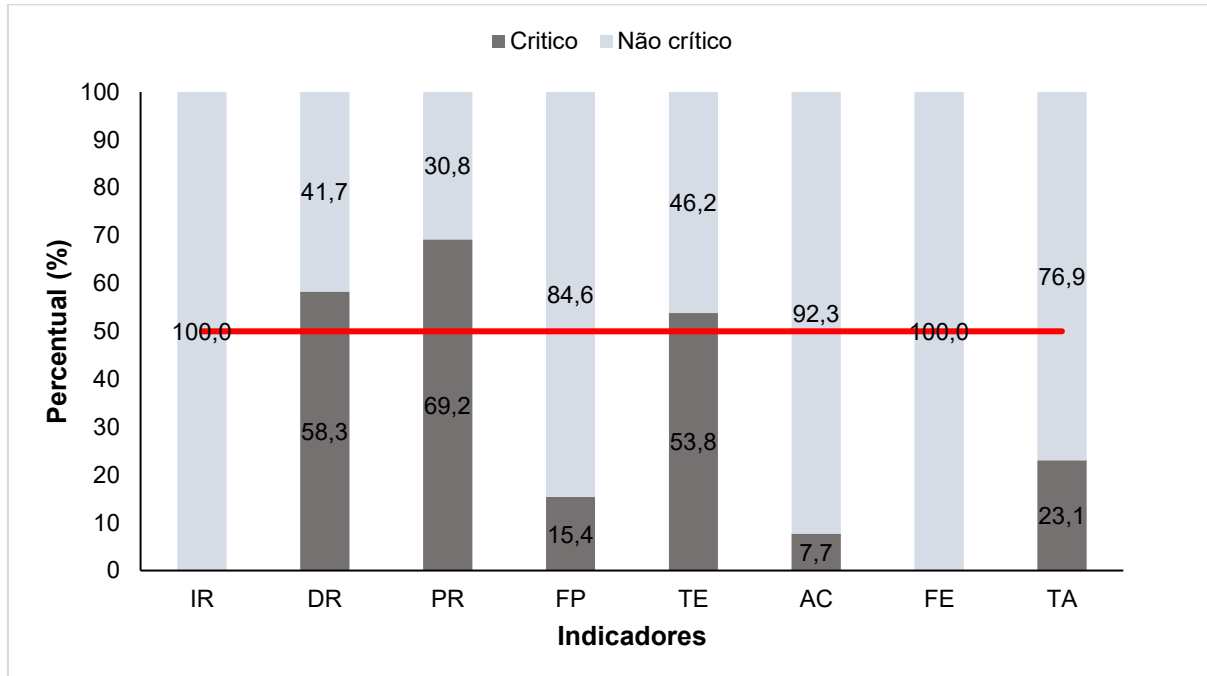
Talhões	Indicadores								IQP Sudoeste-PR	Classificação
	IR	DR	PR	FP	TE	AC	FE	TA		
BSS	0,75	0,50	0,50	1,00	0,00	0,80	0,75	0,80	6,48	regular
CHO	1,00	1,00	0,50	0,25	1,00	0,74	0,75	0,60	7,29	bom
CVV	0,75	0,25	0,50	1,00	0,00	0,94	1,00	0,80	6,56	regular
ITO1	0,75	0,25	0,50	1,00	1,00	0,80	0,75	1,00	7,20	bom
ITO2	1,00	0,75	0,50	1,00	1,00	0,40	0,75	1,00	7,73	bom
MAG	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,94	1,00	0,88	8,85	bom
MAR1	1,00	1,00	0,75	1,00	0,00	0,60	1,00	0,44	7,75	bom
MAR2	0,75	0,50	0,50	0,8	1,00	0,60	1,00	1,00	7,23	bom
PBR1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,74	0,75	0,88	8,30	bom
PBR2	1,00	0,50	0,50	0,25	0,00	1,00	0,75	0,40	5,83	regular
SJO	1,00	0,75	0,50	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	8,63	bom
VIT1	0,75	0,50	0,50	1,00	1,00	0,60	0,75	1,00	7,28	bom
VIT2	1,00	0,50	1,00	0,8	0,00	0,60	1,00	0,88	7,29	bom
Média	0,90	0,65	0,63	0,85	0,46	0,75	0,85	0,82	7,41	bom
CV (%)	14,01	42,86	34,55	32,56	112,42	24,77	14,96	25,89	11,54	-
Nível Crítico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75		

¹ Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE - fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção. Células em cinza claro correspondem a valores iguais ou inferiores ao nível crítico e células em cinza escuro correspondem a valores ideais no respectivo indicador.

Fonte: autoria própria (2022)

Destaca-se DR, PR e TE com mais de 50% de casos com níveis críticos ou inferior (Gráfico 6). Estes casos indicam limitações à qualidade do PD regional, referindo a adoção da rotação de culturas, uso de gramíneas para formação de palhada e utilização do terraceamento, como também indicou o IQP 2.

Gráfico 9– Distribuição de casos classificados como nível “crítico” ou “não crítico” dos indicadores do IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões da região Sudoeste do PR.



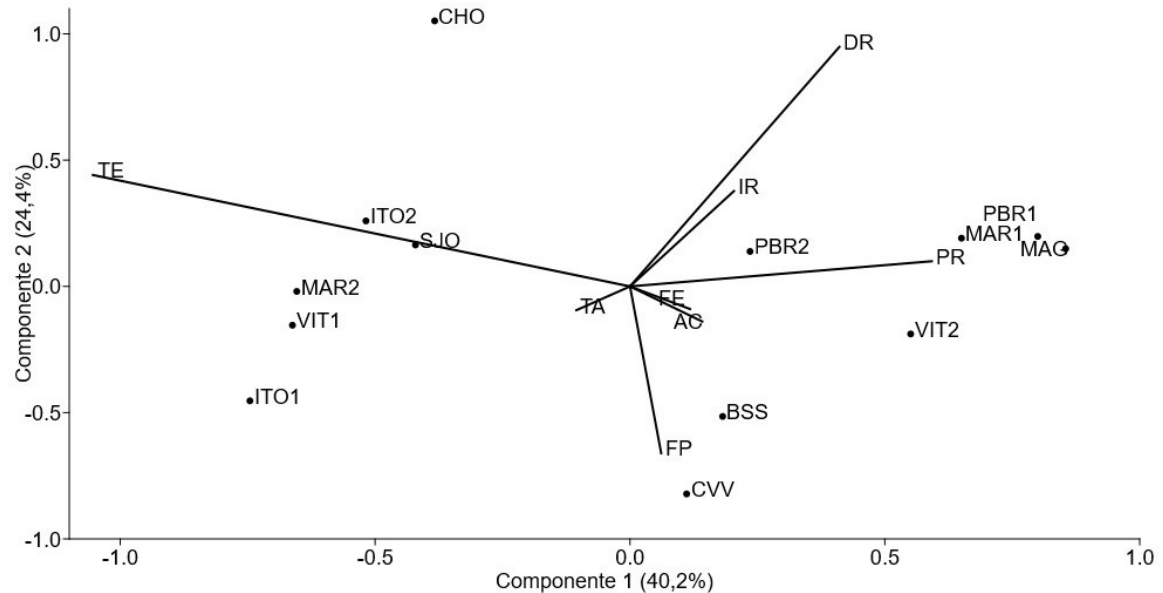
Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE - fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção.

Linha vermelha indica 50% da distribuição.

Fonte: autoria própria (2022)

Ao analisar os componentes principais do IQP Sudoeste-PR, a partir dos seus indicadores ponderados (Gráfico 10), a componente 1 representou 40,2% da variância e a componente 2 com 24,4% da variância. Na componente 1, o indicador TE apresentou a maior contribuição na variância, diferenciando o grupo de talhões com terraços (positivo), do grupo sem terraço (negativo), com uma participação menor do PR na variância. Já no componente 2, o DR foi o que apresentou maior variação, com menor contribuição do FP. Em comparação com a análise de componentes principais do IQP 2 (Gráfico 7), nota-se que houve a manutenção da contribuição do TE na variância do componente principal 1, mas no componente principal 2 houve a maior contribuição do DR, sinalizando uma mudança nas variações em função da mudança na forma de entrada dos dados do DR.

Gráfico 10 – Análise dos componentes principais dos indicadores ponderados do IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.



Fonte: autoria própria (2022)

Do mesmo modo que o IQP 2, a análise dos componentes principais do IQP Sudoeste-PR demonstrou relação oposta entre alguns indicadores. Na componente 1 entre PR e TE, indicando que quanto maior a persistência de resíduo menor o uso do terraceamento, e na componente 2 entre DR e FP, indicando que quanto maior a diversidade de espécies cultivadas menor a frequência de preparo. No entanto, estas relações precisam ser melhor estudadas visando a sua comprovação e compreensão.

Outro fato demonstrado pela análise dos componentes principais refere-se ao antagonismo observado por alguns indicadores. Na componente 1, o indicador PR apresentou orientação oposta ao TE, indicando que quanto maior o TE, menor o PR. Ou seja, supõe-se que agricultores que não fazem uso do terraceamento cultivam mais gramíneas visando reduzir possíveis problemas com escoamento superficial. Na componente 2, DR orientou-se de forma oposta ao FP, indicando que quanto maior FP, menor a DR. Deste modo, supõem-se que aumenta o preparo do solo em áreas com menor diversidade de rotação. Estas duas relações antagonistas (TE \times PR e FP \times DR) precisam ser mais bem estudadas, com uma amostragem maior de talhões, visando compreender a sua pertinência e reais motivações.

Na análise de agrupamentos dos talhões pelos indicadores ponderados do IQP Sudoeste-PR (Gráfico 11), observou-se o mesmo comportamento ocorrido para o IQP 2, com dois grandes grupos diferenciados pela ausência ou presença de preparo de solo e posteriormente pela presença ou ausência de terraceamento. Assim, pela análise dos componentes principais e agrupamentos, os indicadores FP e TE continuaram como os diferenciadores entre as notas do IQP Sudoeste-PR, porém com participação do DR nesta diferenciação.

Gráfico 11 – Análise de agrupamentos dos talhões em função dos indicadores ponderados do IQP Sudoeste-PR, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.



Fonte: autoria própria (2022)

De modo geral, obteve-se uma qualidade boa do PD avaliado pelo IQP Sudoeste-PR. Apesar do terraceamento e a frequência de preparo do solo serem os indicadores que diferenciam os talhões analisados, a metodologia indicou problemas na adoção da rotação de culturas, uso de gramíneas para formação de palhada e a utilização do terraceamento, da mesma forma que o IQP 2 demonstrou.

Ao utilizar o IQP Sudoeste-PR para diferenciar os casos de PD e SPD, como proposto no capítulo 3.4, tem-se os talhões MAG, MAR1 e PBR1 classificados como SPD, com valores de DR, PR e FP acima dos níveis críticos. A mudança no formato

de entrada de dados e forma de cálculo proposta para DR no IQP Sudoeste-PR, permitiu a identificação dos casos com maior uso de espécies vegetais nos seus sistemas produtivos (capítulo 4.1.2.2), diferentemente dos critérios do DR no IQP 2. Assim, o IQP Sudoeste-PR foi efetivo em diferenciar PD do SPD, de forma mais eficiente que o IQP2, porém ainda com vários casos de PD classificados como de qualidade boa.

Considerando o IQP Sudoeste-PR como o mais adequado, e tomando como base os níveis críticos dos indicadores IR, PR, DR e FP propostos no IQP Sudoeste-PR (Tabela3 e Tabela 4) e considerando como adequado e qualificadores do SPD os valores acima destes níveis críticos definidos, propõe-se os seguintes parâmetros para caracterização do SPD:

- Para ausência de preparo do solo: pelo indicador FP, com nove anos ou mais sem a realização de preparo de solo;
- Para cobertura permanente do solo: pelo indicador IR, com o tempo máximo de ausência de cultivo de sete meses não contínuo, e pelo indicador PR com o cultivo de quatro ou mais gramíneas, ambos analisados nos últimos três anos;
- Para rotação de culturas: pelo indicador DR, com o cultivo de quatro ou mais diferentes espécies vegetais, analisado nos últimos três anos, com os cultivos consorciados considerados uma única espécie para fins de contabilização do número de espécies e de gramíneas.

Assim, utilizando-se de indicadores do IQP Sudoeste-PR para sistemas produtivos de grãos, tem-se como proposta que o SPD pode ser caracterizado como sistemas produtivos agrícolas sem o preparo do solo por período maior que oito anos, tendo nos últimos três anos o cultivo de quatro ou mais diferentes espécies vegetais, o cultivo de quatro ou mais gramíneas, e menos de oito meses não contínuo de ausência de cultivos de espécies vegetais, sendo os cultivos consorciados de várias espécies (mix) considerados como uma única espécie para fins de contabilização do número de espécies e de gramíneas.

4.1.5 Comparação entre IQP 2 e IQP Sudoeste-PR

O IQP Sudoeste-PR apresentou um valor médio de 7,41, apenas 0,08 ponto inferior ao valor do IQP 2 que foi de 7,49 (Tabela 9), sendo que a classificação se manteve como bom. Já a diferença das pontuações dos talhões (Tabela 9), nota-se que houve uma influência proporcional, com sete casos (53,8%) diminuindo e seis casos (46,2%) aumentando a nota do IQP Sudoeste-PR em comparação ao IQP 2. A maior diferença negativa ocorreu em ITO1 com 0,84 pontos, e a positiva com MAG com 0,88. Ou seja, o IQP Sudoeste-PR não alterou o valor médio dos casos estudados, porém promoveu mudanças das notas individuais, ora aumentando e ora diminuindo.

Tabela 9 - Comparativo das notas e das classificações IQP e PDXSPD, entre IQP2 e IQP Sudoeste-PR, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Talhões	IQP Sudoeste-PR			IQP 2			Comparativo		
	Nota	Classificação		Nota	Classificação		Nota	Classificação	
		IQP	PDXSPD		IQP	PDXSPD		IQP	PDXSPD
BSS	6,48	regular	PD	6,76	bom	PD	-0,28	≠	=
CHO	7,29	bom	PD	7,11	bom	PD	0,18	=	=
CVV	6,56	regular	PD	7,31	bom	PD	-0,75	≠	=
ITO1	7,20	bom	PD	8,04	bom	PD	-0,84	=	=
ITO2	7,73	bom	PD	7,75	bom	PD	-0,03	=	=
MAG	8,85	bom	SPD	7,97	bom	PD	0,88	=	≠
MAR1	7,75	bom	SPD	7,36	bom	SPD	0,39	=	=
MAR2	7,23	bom	PD	7,78	bom	PD	-0,56	=	=
PBR1	8,30	bom	SPD	7,76	bom	PD	0,54	=	≠
PBR2	5,83	regular	PD	5,73	regular	PD	0,09	=	=
SJO	8,63	bom	PD	8,38	bom	PD	0,25	=	=
VIT1	7,28	bom	PD	7,83	bom	PD	-0,56	=	=
VIT2	7,29	bom	PD	7,58	bom	PD	-0,29	=	=
Média	7,41	bom	-	7,49	bom	-	-0,08	-	-

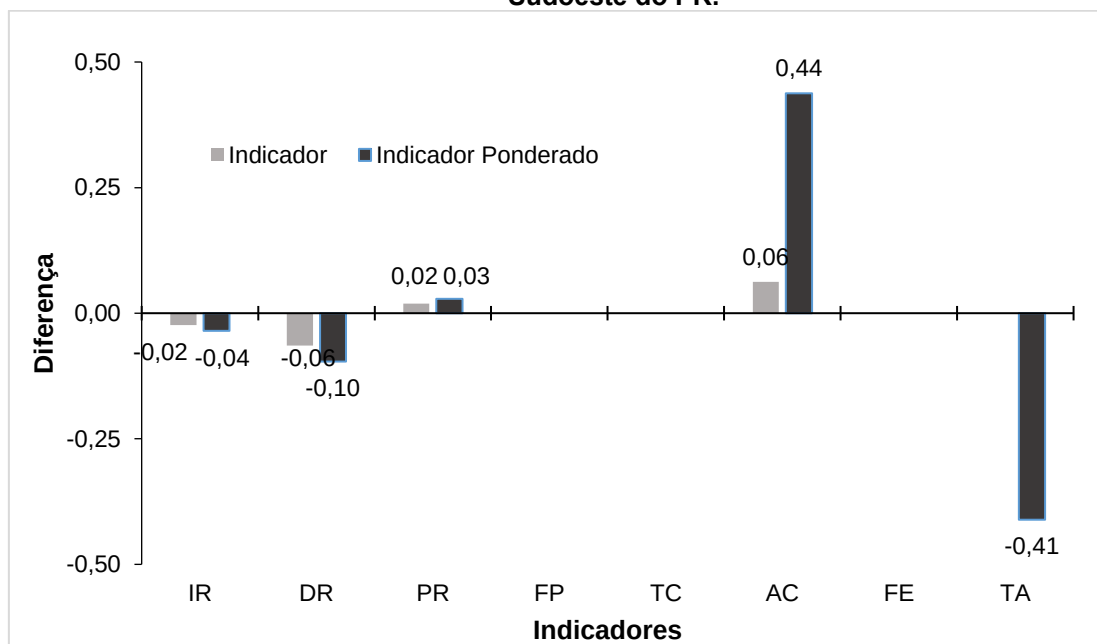
Onde “≠” refere-se à classificação diferente e “=” a classificação igual.

Fonte: autoria própria (2022)

Na classificação da qualidade do IQP (Tabela 9), o IQP Sudoeste-PR aumentou o número de casos classificados como regular de um para três casos (23,1%) em comparação ao IQP 2, o que se deve a elevação do valor para enquadramento na classe bom de 6,5 para 7, ou pelo menor valor obtido no IQP Sudoeste-PR, como foi o caso de BSS, demonstrando que ele foi mais restritivo na obtenção de melhores classificações.

Ao comparar a diferença entre os valores médios dos indicadores do IQP Sudoeste-PR com o IQP 2 (Gráfico 12), nota-se que os indicadores FP, TE e FE não apresentaram diferença, os indicadores IR e DR apresentaram pontuação menor e os indicadores PR e AC apresentaram pontuações maiores para o IQP Sudoeste-PR. Para os indicadores ponderados (Gráfico 12), observou-se o mesmo comportamento, com exceção das variações nos indicadores TA (negativo) e AC (positiva). Esta oscilação nos indicadores ponderados de AC e TA deve-se ao fato de que na versão Sudoeste-PR houve a mudança do peso dos fatores de ponderação, no qual retirou-se 0,5 pontos do indicador TA e agregou-se o mesmo valor ao indicador AC.

Gráfico 12 - Diferença entre a pontuação dos indicadores do IQP Sudoeste-PR para com os indicadores do IQP 2, e dos indicadores ponderados, de 13 talhões sob plantio direto da região Sudoeste do PR.



Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE - fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção.

Fonte: autoria própria (2022)

Para os indicadores não ponderados, o IR apresentou variação negativa devido ao novo formato de entrada de dados em escala, sendo que ao mesmo tempo aumentou o número de casos ideais de dois para oito e reduziu as notas de cinco casos para o valor tabelado de 0,75, causando redução no valor médio. Para DR, também houve aumento de situações ideais, de dois para quatro, mas com

redução da pontuação em sete casos, devido a nova forma de cálculo, passando a diferenciar melhor as situações de adoção da diversificação de culturas, a exemplo de MAG e PBR1 que no IQP 2 apresentavam-se em nível crítico por cultivarem apenas duas famílias botânicas, e no IQP Sudoeste-PR passaram ao nível ideal por cultivarem cinco ou mais espécies no período de três anos. O indicador PR apresentou variação média positiva, devido a diminuição do nível ideal de seis para cinco cultivos de gramíneas, respectivamente do IQP 2 para o IQP Sudoeste-PR, aumentando o número de casos em situação ideal, mas mantendo os casos em nível crítico. Já para AC, houve variação positiva na comparação das médias, devido ao IQP Sudoeste-PR alterar a fórmula de cálculo com a inclusão de maior peso ao componente erosão, especialmente a erosão em sulcos, e esta situação não foi observada nos casos estudados, não impactando na obtenção de valores para este indicador.

Quanto a utilização do IQP para diferenciar PD de SPD (Tabela 9), o IQP Sudoeste-PR classificou três talhões como sendo SPD (MAG, MAR1 e PBR1), frente a somente um caso no IQP 2 (MAR1). Isto decorre da modificação da entrada de dados no indicador DR pelo IQP Sudoeste-PR, passando a analisar espécies vegetais e não famílias botânicas. Já os indicadores PR e FP não tiveram alterações na entrada de dados e por isso não modificaram a classificação em ambas as metodologias. Assim, os critérios definidos a partir do IQP Sudoeste-PR foram mais eficientes para identificar casos de atendimento aos princípios do SPD, especialmente a diversificação de culturas.

Em suma, o IQP Sudoeste-PR demonstrou diferenças comparativas ao IQP 2, especialmente nos valores dos indicadores DR, PR, AC e TA, melhor identificando situações com uso de rotação de culturas, formação de palhada persistente e avaliação geral da conservação. Ainda, o IQP Sudoeste-PR demonstrou-se mais rigoroso na classificação final da qualidade do IQP e na identificação de casos de adoção do SPD, mostrando-se mais adequado para uso no Sudoeste do Paraná.

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS

Os atributos químicos avaliados nos 13 talhões, organizados em acidez do solo (pH, Al e m), bases trocáveis (Ca, Mg, K e V), CTC, P e MOS (Tabela 10), foram analisados quanto a sua dinâmica, bem como a possíveis limitações frente à níveis ideais para a produção agrícola.

No SPD, devido ao não revolvimento do solo e a deposição de fertilizantes, corretivos e palhada em superfície, tem-se uma dinâmica diferenciada destes atributos, com a formação de gradientes verticais. No entanto, a adoção de práticas de fertilização e correção destes atributos com base em critérios técnicos (diagnóstico, recomendação e utilização), deve promover níveis adequados a produção agrícola em SPD.

4.2.1 Acidez do solo

Para o pH, Al e m, a média geral dos talhões para as três camadas demonstrou um gradiente no perfil do solo, com diferenciação entre todas as camadas, com menores valores de pH e maiores de Al e m nas maiores profundidades (Tabela 10). Para os talhões, não houve um comportamento padrão entre as camadas, ora diferenciando-se e ora não entre si, porém com maior número de diferenciação da camada superficial, principalmente para o pH.

Este gradiente vertical de pH decorre da utilização do calcário em superfície no solo visando a correção da acidez. Com a calagem observa-se elevação dos valores de pH, bem como neutralização de elementos como Al e Mn e elevação dos teores de Ca e Mg (SBCS-NEPAR, 2017; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). Em sistemas sem preparo do solo onde a calagem é realizada em superfície, os efeitos de correção da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg ocorrem principalmente na camada de 0-5 cm (CAIRES et al., 1998), mas também até 10 cm (ANGHINONI, 2007).

Ao comparar os valores de pH ponderados para a camada 0-20 cm (Tabela 11 e Gráfico 13) com os níveis interpretativos para produção agrícola, nota-se que a maioria das áreas apresentou pH alto (69,2%), considerado adequado. O nível médio foi obtido em 23,1% dos talhões, e em apenas um caso (7,7%) houve valor de pH baixo. A média geral dos valores ponderados de pH ficou em 5,10, considerado

bom. Ou seja, os níveis de pH não se mostraram restritivos para a produção agrícola.

Deve-se evitar valores de pH superiores a 6,0 (SBCS-NEPAR, 2017), no qual pode-se ter a indisponibilidade de micronutrientes Zn, Mn, Cu e Fe (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), o que não foi verificado nos valores ponderados para a camada de 0-20 cm. No entanto, na camada de 0-5 cm dos talhões de CHO, MAG, MAR1 e VIT1, observou-se valores de pH superiores a 6,0.

Para Al e m, em relação aos níveis de interpretação para a camada de 0-20 cm (Tabela 11), não ocorreram níveis médios, alto ou muito alto, os quais são considerados inadequados a produção agrícola, seja para os talhões ou para a média dos talhões. Assim, nota-se que o Al não se apresentou como restritivo para os talhões, em decorrência da adoção da calagem como prática de neutralização, ou mesmo pelo efeito dos coloides orgânicos (ALLEONI et al., 2010) e minerais do solo na sua complexação (ANGHINONI; MARTINS; CARMONA, 2019).

Tabela 10 – Atributos químicos de solos, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

(continua)

Talhão	Camada (cm)	pH (CaCl ₂)	Al	Ca	Mg	K	CTC	m		V	P (mg.dm ⁻³)	MOS (g.dm ⁻³)
								cmolc.dm ⁻³				
BSS	0-5	5,30 a	0,00 b	6,67 a	2,57 a	0,58 a	15,74 a	0,00 b	62,37 a	16,61 a	54,13 a	
	5-10	4,87 ab	0,08 ab	5,10 b	2,10 a	0,39 b	15,57 a	1,23 ab	48,70 b	13,78 ab	42,05 ab	
	10-20	4,57 b	0,40 a	2,83 c	1,73 a	0,25 c	12,83 a	8,45 a	37,46 b	2,32 b	27,76 b	
CHO	0-5	6,37 a	0,00 b	8,47 a	3,13 a	0,73 a	15,41 a	0,00 b	80,12 a	15,27 a	58,61 a	
	5-10	5,57 b	0,05 b	6,83 b	2,57 b	0,45 b	15,29 a	0,52 b	64,96 b	10,36 b	55,06 a	
	10-20	4,80 c	0,44 a	4,03 c	1,80 c	0,27 b	14,66 a	6,75 a	41,92 c	4,34 c	50,60 a	
CVV	0-5	5,03 a	0,03 b	5,83 a	2,60 a	0,69 a	16,22 a	0,39 b	56,27 a	4,09 a	48,34 a	
	5-10	4,43 b	0,34 ab	3,43 ab	2,20 a	0,34 b	16,15 a	6,23 ab	36,52 ab	3,03 ab	40,74 a	
	10-20	4,23 b	0,73 a	2,57 b	2,20 a	0,17 b	15,41 a	14,74 b	31,44 b	1,19 b	27,31 b	
ITO1	0-5	5,67 a	0,00 c	8,00 a	2,87 a	0,96 a	16,84 a	0,00 c	70,19 a	17,15 a	58,21 a	
	5-10	4,93 b	0,16 b	5,07 b	1,73 ab	0,45 b	14,47 ab	2,17 b	50,13 b	13,33 a	42,54 b	
	10-20	4,67 c	0,48 a	3,63 c	1,63 b	0,27 c	14,11 b	8,41 a	39,01 c	3,01 b	30,89 c	
ITO2	0-5	5,20 a	0,03 b	6,13 a	2,60 a	0,77 a	16,69 a	0,38 b	56,94 a	35,62 a	61,35 a	
	5-10	4,67 b	0,33 a	4,20 ab	1,93 a	0,29 ab	14,44 a	4,84 a	44,62 ab	11,09 b	34,93 b	
	10-20	4,73 ab	0,27 ab	4,17 b	1,83 a	0,18 b	14,65 a	4,45 a	41,93 b	3,14 c	27,75 b	
MAG	0-5	6,17 a	0,00 b	8,43 a	3,73 a	0,86 a	16,81 a	0,00 b	77,48 a	18,51 a	76,02 a	
	5-10	5,37 b	0,00 b	6,57 b	2,77 b	0,71 ab	16,74 a	0,00 b	60,16 b	12,46 a	65,79 b	
	10-20	4,87 c	0,18 a	4,67 c	1,67 c	0,47 b	16,42 a	2,95 a	41,61 c	7,31 b	60,42 b	
MAR1	0-5	6,17 a	0,00 b	11,73 a	2,73 a	1,70 a	19,64 a	0,00 b	82,26 a	42,75 a	60,42 a	
	5-10	5,73 b	0,00 b	9,40 b	2,80 a	1,13 b	18,32 a	0,00 b	72,70 b	20,83 a	40,75 b	
	10-20	4,70 c	0,58 a	5,53 c	2,23 a	0,66 c	18,20 a	6,69 a	46,29 c	3,39 b	32,24 c	
MAR2	0-5	5,40 a	0,00 a	6,63 a	2,93 a	0,51 a	16,11 a	0,00 a	62,16 a	6,11 a	55,52 a	
	5-10	5,10 a	0,05 a	6,10 a	2,63 a	0,28 b	17,01 a	0,58 a	53,58 a	6,10 a	51,01 ab	
	10-20	5,10 a	0,07 a	5,10 a	2,27 a	0,19 c	14,31 a	0,96 a	53,01 a	2,09 b	42,51 b	

Tabela 10 – Atributos químicos de solos, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

(conclusão)

Talhão	Camada (cm)	pH (CaCl ₂)	Al	Ca	Mg	K	CTC	m	V	P	MOS
PBR1	0-5	5,37 a	0,00 b	6,17 a	3,80 a	0,83 a	16,79 a	0,00 b	64,34 a	26,10 a	81,50 a
	5-10	4,93 b	0,13 a	4,77 b	2,57 ab	0,40 b	16,00 a	1,62 a	48,33 a	15,13 b	54,18 b
	10-20	4,87 b	0,14 a	3,87 c	2,17 b	0,21 c	13,29 b	2,17 a	47,03 a	1,30 c	47,46 c
PBR2	0-5	5,73 a	0,00 a	9,97 a	3,47 a	0,73 a	19,15 a	0,00 b	74,14 a	8,21 a	64,03 a
	5-10	5,37 a	0,15 a	9,10 ab	3,17 a	0,36 b	19,09 a	1,32 b	66,55 a	8,92 a	54,18 b
	10-20	4,77 a	0,97 a	5,97 b	2,87 a	0,17 c	18,68 a	10,30 b	49,19 a	1,42 b	39,40 c
SJO	0-5	5,90 a	0,00 b	7,70 a	3,77 a	0,84 a	16,51 a	0,00 b	74,39 a	39,12 a	54,13 a
	5-10	5,33 b	0,00 b	4,93 b	2,87 b	0,63 b	14,54 a	0,00 b	58,12 b	6,21 b	35,81 b
	10-20	5,00 c	0,04 a	4,10 b	2,50 c	0,40 c	13,37 a	0,55 a	52,28 b	1,42 c	22,84 c
VIT1	0-5	6,03 a	0,00 a	7,93 a	2,37 a	0,51 a	15,18 a	0,00 a	71,10 a	23,67 a	59,98 a
	5-10	5,47 b	0,00 a	5,30 b	2,03 ab	0,27 ab	13,09 b	0,00 a	58,06 b	4,35 b	42,99 b
	10-20	5,23 b	0,00 a	3,80 c	1,70 b	0,18 b	11,59 c	0,00 a	48,88 c	0,97 c	32,24 c
VIT2	0-5	5,50 a	0,00 a	7,47 a	4,00 a	0,63 a	17,97 a	0,00 a	67,52 a	16,89 a	73,40 a
	5-10	5,03 ab	0,21 a	6,50 a	2,77 b	0,35 ab	20,41 a	2,37 a	47,83 b	14,38 ab	61,79 a
	10-20	4,77 b	0,65 a	4,30 a	2,10 b	0,18 b	17,57 a	9,88 a	37,43 b	2,89 b	56,42 a
Média	0-5	5,68 a	0,01 c	7,78 a	3,12 a	0,80 a	16,85 a	0,06 a	69,18 a	20,78 a	61,97 a
	5-10	5,14 b	0,12 b	5,95 b	2,47 b	0,47 b	16,24 a	1,61 b	54,64 b	10,77 b	47,83 b
	10-20	4,79 c	0,38 a	4,20 c	2,05 c	0,28 c	15,01 b	5,87 c	43,65 c	2,68 c	38,30 c

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna e em cada talhão, não diferem pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.
Fonte: autoria própria (2022)

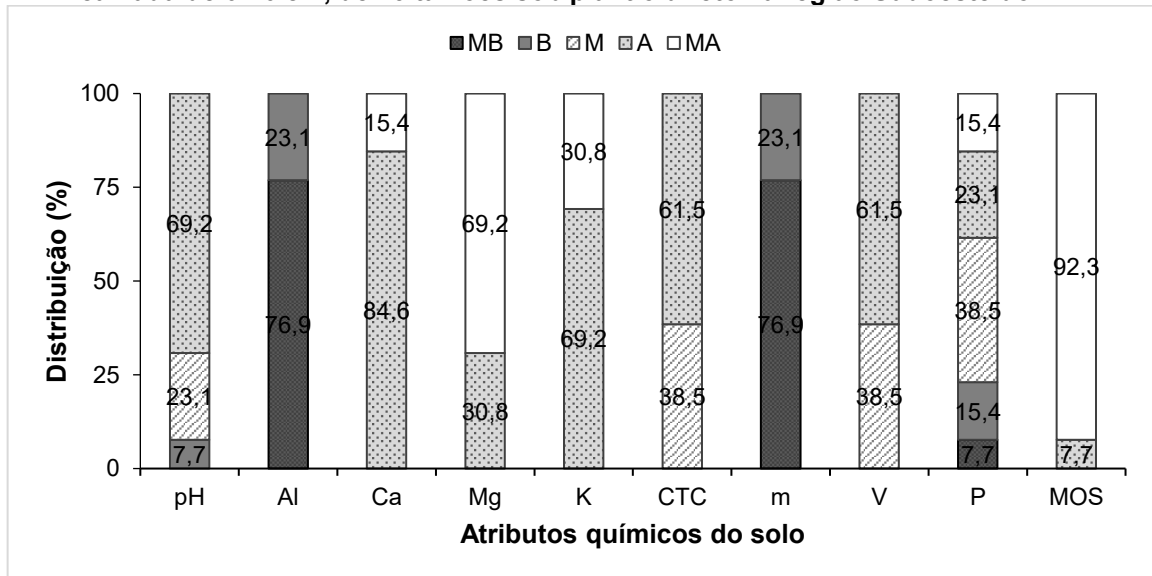
Tabela 11 – Atributos químicos de solos na camada de 0-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Talhão	pH	Al	Ca	Mg	K	CTC	m	V	P	MOS
	(CaCl ₂)	----- cmol _c .dm ⁻³ -----					----- (%) -----		(mg.dm ⁻³)	(g.dm ⁻³)
BSS	4,83 M	0,22 MB	4,36 A	2,03 A	0,37 A	14,25 M	4,53 MB	46,50 M	8,76 M	37,93 MA
CHO	5,38 A	0,23 MB	5,84 A	2,33 MA	0,43 A	15,01 A	3,51 MB	57,23 A	8,58 M	53,72 MA
CVV	4,48 B	0,46 B	3,66 A	2,30 MA	0,34 A	15,85 A	9,01 B	39,08 M	2,38 MB	35,93 MA
ITO1	4,98 M	0,28 MB	5,08 A	1,97 A	0,49 MA	14,88 M	4,75 MB	49,59 M	9,12 M	40,63 MA
ITO2	4,83 M	0,23 MB	4,67 A	2,05 A	0,35 A	15,11 A	3,53 MB	46,35 M	13,25 MA	37,95 MA
MAG	5,32 A	0,09 MB	6,08 A	2,46 MA	0,63 MA	16,60 A	1,47 MB	55,22 A	11,40 A	65,67 MA
MAR1	5,33 A	0,29 MB	8,05 MA	2,50 MA	1,04 MA	18,59 A	3,34 MB	61,88 A	17,59 MA	41,41 MA
MAR2	5,18 A	0,05 MB	5,73 A	2,53 MA	0,29 A	15,43 A	0,63 MB	55,44 A	4,10 B	47,89 MA
PBR1	5,01 A	0,10 MB	4,67 A	2,68 MA	0,41 A	14,84 M	1,49 MB	51,68 A	10,96 A	57,65 MA
PBR2	5,16 A	0,52 B	7,75 MA	3,09 MA	0,36 A	18,90 A	5,48 B	59,76 A	4,99 B	49,26 MA
SJO	5,31 A	0,02 MB	5,21 A	2,91 MA	0,57 MA	14,45 M	0,28 MB	59,27 A	12,04 A	33,90 A
VIT1	5,49 A	0,00 MB	5,21 A	1,95 A	0,28 A	12,86 M	0,00 MB	56,73 A	7,49 M	41,86 MA
VIT2	5,02 A	0,38 B	5,64 A	2,74 MA	0,33 A	18,38 A	5,53 B	47,55 M	9,27 M	62,01 MA
Média	5,1 A	0,2 MB	5,53 A	2,4 MA	0,5 A	15,8 A	3,35 MB	52,8 A	9,22 M	46,6 MA

Letras sequenciais as médias referem-se as classes de interpretação dos resultados da análise de solo, onde MB = muito baixo, B = baixo, M = médio, A = alto e MA = muito alto (SBCS-NEPAR, 2017).

Fonte: autoria própria (2022)

Gráfico 13 – Distribuição dos níveis de interpretação de atributos químicos de solos, na camada de 0-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto na região Sudoeste do PR.



Classes de interpretação dos resultados da análise de solo, onde: MB - muito baixo, B - baixo, M - médio, A - alto e MA - muito alto (SBCS-NEPAR, 2017).

Fonte: autoria própria (2022)

4.2.2 Bases trocáveis

Analisando as médias gerais para todos os talhões, Ca, Mg, K e V apresentaram diferença entre as camadas analisadas, com maiores valores na camada superficial, intermediários na 5-10 cm e menores na 10-20 cm (Tabela 10). Para os talhões, houve comportamento variado quanto a esta diferenciação das camadas, com exceção do K que em geral apresentou a camada superficial com valores maiores que as camadas subsuperficiais.

Quanto aos níveis de interpretação para a camada 0-20 cm (Tabela 11 e Gráfico 13), para Ca obteve-se 84,6% dos talhões como alto e 15,4% como muito alto, com a média geral enquadrando-se como nível alto. Para Mg, foram observados 69,2 e 30,8%, respectivamente, de níveis alto e muito alto, e a média geral considerada muito alta, sendo o único atributo analisado a obter este enquadramento. O K apresentou nível alto em 69,2% e muito alto em 30,8% dos talhões, com a média geral considerada alta. Já para V, houve cinco talhões (38,5%) com nível médio, sendo que destes quatro casos apresentam-se com valores próximos ao nível crítico de 50%, mas com um talhão (CVV) com 39,1%. Nos demais talhões (61,5%), os níveis de V foram enquadrados como alto, não

observando valores superiores a 90%, considerado valor a evitar (SBCS-NEPAR, 2017).

Para as bases trocáveis, não houve casos com níveis que indiquem limitações a produção agrícola, com os teores de Ca, Mg e K considerados alto ou muito alto em todos os casos. Já para a saturação por bases, teve-se 38,5% dos casos com nível médio, indicando a possibilidade de melhoria deste atributo nestes talhões.

4.2.3 Capacidade de troca de cátions

A CTC média de todos os talhões diferiu a camada 10-20 cm com menores valores, das camadas 0-5 e 5-10 cm com maiores valores (Tabela 10). Para os talhões individualmente, houve casos de diferenciação das camadas, mas na maioria dos casos não houve diferença. Em relação aos níveis de interpretação para 0-20 cm (Tabela 11 e Gráfico 13), a maioria (61,5%) apresentou-se como alto e o restante (38,5%) como médio, sendo que a média geral obteve nível alto. Este aumento da CTC nas camadas superficiais deve-se a contribuição das cargas negativas da MOS (CIOTTA et al., 2003; RAIJ, 1969), que com o passar do tempo de adoção do PD tende a acumular MOS na camada superficial (SÁ et al., 2019a).

4.2.4 Fósforo extraível

Para o P, a média geral dos talhões apresentou diferenças estatísticas entre as camadas, com o maior valor na superficial e menor na camada 10-20 cm (Tabela 10). Para todos os talhões observou-se diferença estatística entre as camadas, estratificando os teores ao longo do perfil do solo, com destaque para a camada superficial que diferiu das demais camadas ou da camada 10-20 cm.

Quanto aos níveis de interpretação para a camada 0-20 cm (Tabela 11 e Gráfico 13), o P foi o único atributo que apresentou ocorrências para todos os níveis de interpretação, desde muito baixo até muito alto. Destaque para CVV, a qual apresentou nível de interpretação muito baixo, MAR2 e PBR2 como baixo, e cinco casos (BSS, CHO, ITO1, VIT1 e VIT2) como médio, ou seja, a maioria (61,5%) com valor igual ou abaixo do nível crítico, nos quais podendo ser limitante ao processo produtivo. A média geral, que foi de $9,22 \text{ mg dm}^{-3}$, é interpretada como nível médio.

4.2.5 Matéria orgânica do solo

Em relação a MOS, da mesma forma que os demais atributos, observou-se a formação de um gradiente. Para as médias gerais dos talhões, todas as camadas diferenciaram-se, com os maiores teores na camada superficial e decréscimo com o aumento da profundidade (Tabela 10). Para os talhões, em ITO1, MAR1, PBR1, PBR2, SJO e VIT1 observou-se diferença estatística entre todas as camadas, e em CHO e VIT2 estas não se diferenciaram. Nos demais casos, observou-se diferenciação entre 0-5 e 10-20 cm, com a camada intermediária apresentando comportamento ora igual a camada superior e ora igual a inferior.

Já em relação aos níveis de interpretação para 0-20 cm (Tabela 11 e Gráfico 13), não se observou valores iguais ou inferior ao nível médio de 24,14 g dm⁻³ (SBCS-NEPAR, 2017). Apenas SJO apresentou nível alto, com os demais talhões e a média geral enquadrada como muito alta, demonstrando que os talhões apresentam níveis adequados de MOS para a produção agrícola.

4.2.6 Análise geral dos atributos químicos

Ao analisar os atributos químicos, de modo geral nota-se que os talhões apresentaram bons níveis para a produção vegetal. Observou-se apenas níveis alto ou muito alto para Ca, Mg, K e MOS, e níveis muito baixos e baixos para Al e m, demonstrando que estes atributos não apresentam limitações a produção agrícola. Para pH, CTC, V e P, houve casos de níveis considerados médios, baixo e muito baixo, com destaque para o P que apresentou 61,5% dos casos no nível médio ou inferior, sendo o atributo químico que se apresentou mais limitante dentre os analisados.

A ausência de mobilização do solo, e conseqüentemente a sua homogeneização, promove a formação de gradientes dos teores dos atributos químicos em profundidade, devido a permanência dos resíduos na superfície do solo e aplicação de fertilizantes e calcário sobre o solo ou em sulcos superficiais (ANGHINONI; MARTINS; CARMONA, 2019; SBCS-NEPAR, 2017), com os maiores teores de P, K, Ca, Mg, MOS, pH e V na camada superficial (ANGHINONI, 2007; PAULETTI et al., 2009; RHEINHEIMER et al., 2000). No caso específico da calagem, são esperados os seus efeitos até aproximadamente 10 cm de

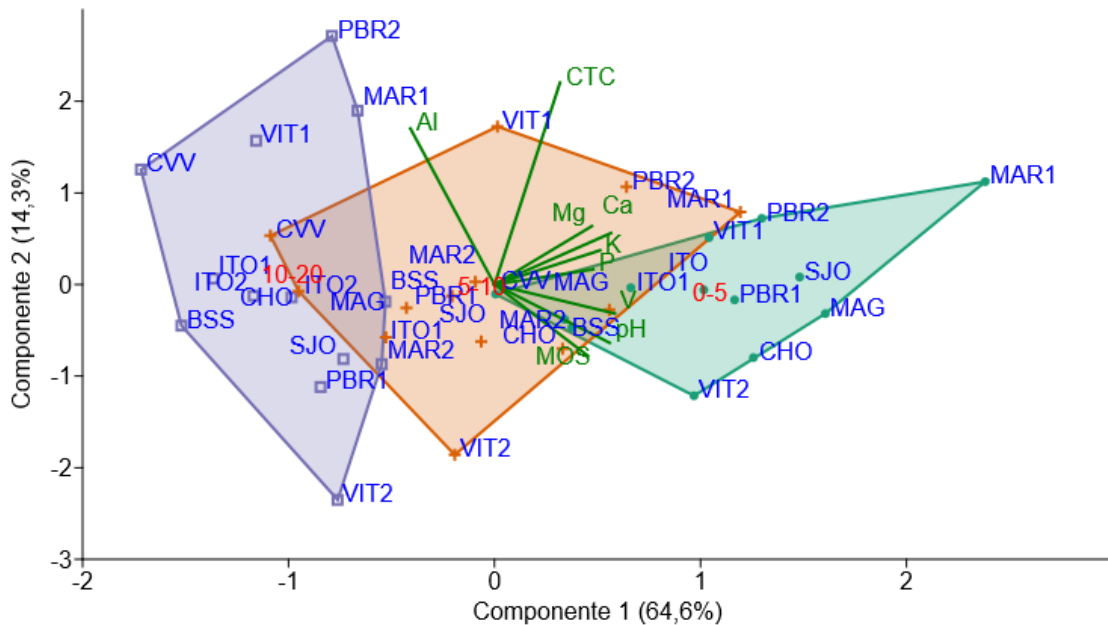
profundidade após um período de cinco anos de aplicação, dependente da dose e tipo de calcário, tipo de solo, sequência de cultivos, adubações, manejo dos resíduos e regime pluviométrico (ANGHINONI, 2007).

Quando da identificação das práticas de manejo adotadas pelos agricultores (Tabela 6), todos indicaram usar a análise de solo para realizar os procedimentos de calagem e adubação das culturas, o que é ratificado pela observação dos níveis de interpretação encontrados para os atributos químicos analisados, com exceção de CVV que ainda apresenta limitações quanto a acidez do solo, saturação de bases e teores de P.

Outro fato que pode ter afetado estes atributos, refere-se ao uso de dejetos de animais como fertilizante dos solos, a qual eleva os teores de P, K, Ca, Mg, V e pH, especialmente nas camadas superficiais (POSSAMAI, 2012; TABOLKA, 2016). Em 69,2% dos talhões houve uso desta forma de fertilização (Tabela 6), com os níveis dos atributos apresentando-se de forma adequada, indicando que apesar da maioria fazer o uso dos dejetos animais sem o balanço de nutrientes, não está ocorrendo aplicação em excesso, contribuindo com a elevação dos níveis de K e P. Nota-se que nos dois locais com níveis baixos ou muito baixo de P (CVV e MAR2) não ocorreu aplicação de dejetos de animais.

Ao proceder a análise dos componentes principais dos atributos químicos (Gráfico 14), obteve-se 64,6% da variância abrangida pelo componente 1 e 14,3% pela componente 2. Para a componente 1, não houve um atributo de destaque com maior contribuição na variação, com a participação semelhante de V, Ca, pH, K, P e Mg, o que pode ser decorrente dos níveis adequados destes atributos (Tabela 10) e mesmo da correlação existente entre a maioria deles, a exemplo de pH com V, V com Ca, Mg e K, e Ca com Mg. Para a componente 2, a CTC apresentou maior contribuição na variância dos dados, seguindo pelo Al. A plotagem das diferentes camadas analisadas na análise dos componentes principais (Gráfico 14) evidenciou a diferenciação destas, com a camada 0-5 cm com maior variação (lado direito), a camada 10-20 cm com menor variação (lado esquerdo) e a camada 5-10 cm apresentando comportamento intermediário.

Gráfico 14 – Componentes principais dos atributos químicos de solos, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.



Talhões identificados com • e coloração verde refere-se à camada de 0-5 cm; + e coloração laranja refere-se à camada de 5-10 cm; e □ na coloração lilás refere-se camada de 10-20 cm.

Fonte: autoria própria (2022)

4.3 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Os dados da granulometria dos solos analisados indicam que os solos enquadram-se na classe textural muito argilosa (SANTOS et al., 2018), com exceção da localidade de CVV que enquadrou-se como argilosa (Tabela 5).

A compactação dos solos, indicada pela porosidade, densidade e estrutura do solo, é uma preocupação recorrente em áreas sob PD, influenciada pelas práticas de manejo adotadas. Em áreas com bons manejos, espera-se níveis aceitáveis de compactação dos solos que não limitem a produção agrícola. Por bons manejos entende-se a adoção das práticas conservacionistas de solo, especialmente a produção de fitomassa aérea e radicular.

4.3.1 Porosidade do solo

Para os valores médios de Pt, Mi e Ma dos talhões (Tabela 12), a camada 0-5 cm diferenciou-se das camadas subsuperficiais, e estas não diferiram entre si.

Observou-se a formação de gradiente no perfil do solo, tendo a camada superficial os maiores valores de Pt e Ma, e menor valor de Mi. Já para as camadas subsuperficiais, os valores médios não apresentaram diferença entre si.

Na análise dos talhões (Tabela 12), esta diferenciação da camada superficial não ocorreu em todos os talhões. Não foram observadas diferenças entre as camadas para Pt em três (MAR1, PBR1 e SJO), para Mi em sete (BSS, CHO, CVV, MAR1, PBR1, PBR2 e VIT1) e para Ma em cinco talhões (CHO, MAG, MAR1, PBR1 e SJO). No entanto, nos demais talhões foram observadas predominantemente diferenças entre a camada superficial e as camadas subsuperficiais, com situações da camada 5-10 e 10-20 cm ora diferindo e ora não diferindo da camada 0-5 e entre si.

Os valores médios de macroporosidade foram de 27,5, 15,6 e 14,6%, respectivamente para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, sendo que individualmente o menor valor encontrado foi de 12,5% para 10-20 cm em MAR1. Assim, não foram encontrados valores iguais ou inferiores a 10%, o qual é considerado um valor restritivo ao desenvolvimento das plantas (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Tabela 12 – Porosidade total (Pt), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e densidade do solo (Ds), nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Talhão	Profundidade (cm)	Pt		Mi (%)		Ma		Ds (g cm ³)			
BSS	0-5	67,08	a	40,62	a	26,46	a	A	0,99	b	A
	5-10	59,24	ab	44,87	a	14,37	ab	A	1,24	a	A
	10-20	58,25	b	45,01	a	13,24	b	A	1,23	ab	A
CHO	0-5	67,62	a	41,38	a	26,24	a	A	0,94	a	A
	5-10	62,91	ab	47,09	a	15,81	a	A	1,16	a	A
	10-20	59,59	b	46,82	a	12,78	a	A	1,15	a	A
CVV	0-5	64,58	a	39,14	a	25,44	a	A	1,08	c	A
	5-10	61,29	ab	46,14	a	15,14	ab	A	1,19	b	A
	10-20	58,89	b	46,26	a	12,63	b	A	1,29	a	A
ITO1	0-5	73,24	a	35,39	b	37,85	a	A	0,91	a	A
	5-10	62,01	ab	43,23	a	18,78	b	A	1,17	a	A
	10-20	57,83	b	43,63	a	14,20	b	A	1,25	a	A
ITO2	0-5	64,48	a	40,86	b	23,62	a	A	1,07	b	A
	5-10	59,14	b	42,53	ab	16,61	b	A	1,26	a	A
	10-20	59,42	ab	46,09	a	13,33	b	A	1,25	a	A
MAG	0-5	71,13	a	43,30	b	27,84	a	A	0,87	a	A
	5-10	63,65	b	49,47	ab	14,18	a	A	1,08	a	A
	10-20	64,61	ab	50,64	a	13,97	a	A	1,05	a	A
MAR1	0-5	64,95	a	48,02	a	16,93	a	A	1,12	a	A
	5-10	60,82	a	44,48	a	16,34	a	A	1,08	a	A
	10-20	61,32	a	48,83	a	12,49	a	A	1,09	a	A
MAR2	0-5	71,78	a	37,95	b	33,84	a	A	0,95	b	A
	5-10	60,98	b	45,39	a	15,60	b	A	1,23	a	A
	10-20	61,53	b	43,82	a	17,71	b	A	1,22	a	A
PBR1	0-5	68,16	a	44,45	a	23,71	a	A	1,02	b	A
	5-10	62,74	a	45,17	a	17,56	a	A	1,18	a	A
	10-20	61,86	a	45,18	a	16,68	a	A	1,15	ab	A
PBR2	0-5	71,39	a	37,58	a	33,80	a	A	0,97	a	A
	5-10	59,99	b	47,20	a	12,79	b	A	1,18	a	A
	10-20	65,20	a	46,93	a	18,27	b	A	1,05	a	A
SJO	0-5	71,07	a	43,37	b	27,70	a	A	0,87	a	A
	5-10	63,65	a	49,47	ab	14,18	a	A	1,08	a	A
	10-20	64,73	a	50,76	a	13,97	a	A	1,05	a	A
VIT1	0-5	66,29	a	40,12	a	26,17	a	A	1,04	b	A
	5-10	59,57	ab	43,11	a	16,46	ab	A	1,22	ab	A
	10-20	58,48	b	43,18	a	15,29	b	A	1,25	a	A
VIT2	0-5	71,22	a	43,29	b	27,93	a	A	0,91	b	A
	5-10	61,80	b	47,26	ab	14,54	b	A	1,12	a	A
	10-20	63,70	ab	47,79	a	15,91	ab	A	1,05	ab	A
Média	0-5	68,69	a	41,19	b	27,50	a	A	0,98	b	A
	5-10	61,37	b	45,80	a	15,57	b	A	1,17	a	A
	10-20	61,19	b	46,53	a	14,65	b	A	1,16	a	A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna e em cada talhão, não diferem pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade. Para Ma, A = adequado (>10%) e R = restritivo (≤10%) (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Para Ds A = adequado e R = restritivo (REICHERT et al., 2009)

Fonte: autoria própria (2022)

4.3.2 Densidade do solo

Para os valores médios de Ds dos talhões, a camada 0-5 cm apresentou menor valor, diferindo de 5-10 e 10-20 cm, não diferenciando-se entre si (Tabela 12). Para os talhões, em CHO, MAG, MAR1, PBR2 e SJO não houve diferença entre as camadas. Nos demais, a camada superficial apresentou diferença com a camada 5-10 cm (BSS, ITO2, PBR1 e VIT2), com a 10-20 cm (VIT1) ou com ambas (ITO1 e MAR2).

A não diferenciação estatística entre as camadas mesmo com diferenciação numérica entre elas, a exemplo da camada 0-5 cm com as demais camadas em CHO, MAG, MAR1, PBR2 e SJO, pode indicar que para a análise de dados neste tipo de situação (grande heterogeneidade da área amostrada), deve-se buscar novos parâmetros como maiores níveis de significância, novas abordagens ou novas ferramentas de análise. Assim, há uma necessidade de estudar estas possibilidades de análise estatística, o que também é válido para os demais atributos físicos de solo analisados aqui, que naturalmente apresentam grande variabilidade ao nível de campo.

Considerando os valores restritivos de Ds a produção agrícola (REICHERT et al., 2009), os talhões apresentaram valores inferiores aos níveis restritivos, mesmo nas camadas subsuperficiais onde houve maiores valores de Ds, como em ITO2 com 1,25 e 1,26 g cm⁻³, respectivamente para 5-10 e 10-20 cm. Mesmo nos locais onde houve integração lavoura-pecuária (ITO2 e SJO), não houve valores restritivos de densidade. Como ilustração, considerando um valor médio de 74,2% de argila entre os talhões, tem-se 1,33 g cm⁻³ como nível restritivo médio, não sendo observado nenhum caso com valor próximo deste.

4.3.3 Índice de qualidade estrutural do solo – IQES

O IQES demonstrou que todos os talhões apresentaram duas camadas (Tabela 13), sendo a primeira superficial com espessura variando entre 5,83 cm (PBR1) à 13,33 cm (MAR2). Já a segunda camada, subsuperficial, variou a espessura de 15 cm (VIT1) à 18,67 cm (CHO). Na média geral, a camada superficial apresentou espessura de 7,71 cm e Qec de 4,15, e a subsuperficial espessura de 17,18 cm e Qec de 4,82, as quais foram diferentes.

Na análise dos talhões, a Qec de todas as camadas apresentou-se como conservadas, com a menor pontuação (nota 4) observada nas camadas superficiais de BSS, ITO1, ITO2, MAG, PBR1, SJO, VIT1 e VIT2, e subsuperficial de ITO2. Já a maior pontuação (nota 5,5) foi observada na camada subsuperficial de VIT1 (Tabela 13). Em CHO, CVV, ITO1, ITO2, MAR1, MAR2, PBR2 e VIT2, não houve diferença estatística entre as camadas. Já nos demais talhões, superficialmente houve valores menores em relação a camada subsuperficial.

Tabela 13 – Camadas, espessura de camadas, qualidade estrutural da camada de solo (Qec) e índice de qualidade estrutural de amostra do solo (IQES), obtidas pela metodologia DRES, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná. Ano 2021

Talhão	Camada	Espessura da camada (cm)	Qec	IQES	Qualidade
BSS	1	7,67	4,00 b	4,45	Boa
	2	16,00	4,67 a		
CHO	1	6,33	4,33 a	4,83	Boa
	2	18,67	5,00 a		
CVV	1	7,33	4,33 a	4,70	Boa
	2	16,67	4,83 a		
ITO1	1	7,33	4,00 a	4,48	Boa
	2	17,67	4,67 a		
ITO2	1	8,00	4,00 a	4,00	Boa
	2	16,33	4,00 a		
MAG	1	7,00	4,00 b	4,96	Boa
	2	17,67	5,33 a		
MAR1	1	7,67	4,67 a	4,89	Boa
	2	17,33	5,00 a		
MAR2	1	13,33	4,33 a	4,75	Boa
	2	16,50	5,00 a		
PBR1	1	5,83	4,00 b	4,77	Boa
	2	19,17	5,00 a		
PBR2	1	7,33	4,33 a	4,32	Boa
	2	17,00	4,33 a		
SJO	1	7,00	4,00 b	4,49	Boa
	2	18,00	4,67 a		
VIT1	1	8,67	4,00 b	4,95	Boa
	2	15,00	5,50 a		
VIT2	1	6,67	4,00 a	4,47	Boa
	2	17,33	4,67 a		
Média	1	7,71	4,15 b	4,62	Boa
	2	17,18	4,82 a		

Camada 1 refere-se a camada superficial e camada 2 a camada subsuperficial.

Espessura da camada e Qec refere-se a média das amostragens.





Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna e em cada talhão, não diferem pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

Fonte: autoria própria (2022)

As menores notas observadas na camada superficial foram devido a estrutura granular grumosa do solo nesta camada (Fotografia 1), sem a formação de agregados entre 1 e 4 cm de diâmetro desejáveis pela metodologia DRES, levando a menor pontuação, mesmo sendo uma camada com atividade biológica e presença de raízes. Esta camada superficial identificada pelo DRES coincide com a diferenciação observada para a porosidade total e densidade do solo, na qual a camada de 0-5 cm apresentou-se com maior macroporosidade e menor densidade do solo, característica de solos em estrutura granular grumosa.

Fotografia 1- Fotografias de amostras de qualidade estrutural do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

(continua)




Talhões	Fotografia
BSS	
CHO	
CVV	
ITO1	

Fotografia 1- Fotografias de amostras de qualidade estrutural do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

(continuação)

Talhões	Fotografia
ITO2	
MAG	
MAR1	
MAR2	
PBR1	
PBR2	

Fotografia 1- Fotografias de amostras de qualidade estrutural do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Talhões	Fotografia	(conclusão)
SJO		
VIT1		
VIT2		

Fonte: autoria própria (2022)

Quanto ao IQES, todos os talhões enquadraram-se na classificação boa (entre 4 e 4,9) (Tabela 13). O menor IQES foi observado em ITO2 com valor 4 e o maior em MAG com valor 4,96, com média de 4,62, classificada como boa. Assim, tem-se que os talhões apresentaram qualidade estrutural do solo adequada para a produção agrícola pela metodologia DRES.

4.3.4 Análise geral sobre os atributos físicos

Ao analisar os dados dos atributos físicos, de modo geral, nota-se que os talhões avaliados não apresentaram níveis restritivos para a produção vegetal, mesmo para os talhões com maiores tempos de adoção do PD. Ainda, observou-se uma estratificação dos atributos físicos, com uma camada superficial (0- 8 cm) e outra subsuperficial (8-25 cm), tendo esta última maior Ds, menor Ma e maior Qec.

Esta estratificação foi observada mesmo nos talhões CHO e PBR2 onde houve preparo do solo nos últimos quatro anos.

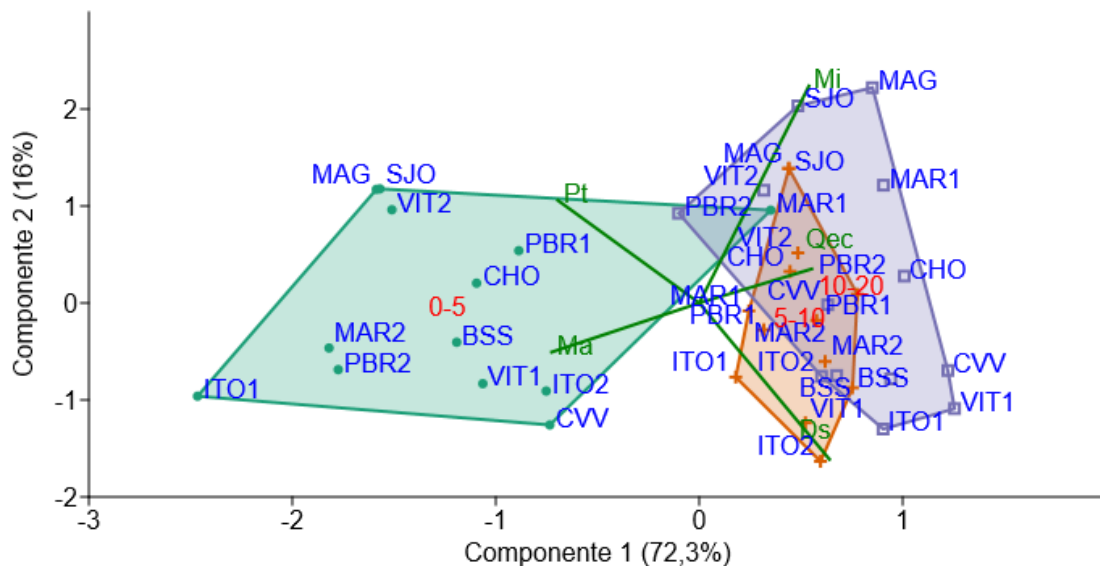
A adoção do PD promove um rearranjo das partículas do solo decorrente do não preparo e do tráfego de máquinas e/ou animais, acarretando o aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade, principalmente na camada superficial. Porém, estas mudanças não tornam-se restritivas a produção agrícola se houver adequado aporte de palhada e raízes, pois estas promovem aumento da MOS e a estruturação do solo (SOUZA et al., 2019a). Entretanto, áreas sob PD vem apresentando uma camada superficial, aproximadamente entre 0 e 5 cm, com baixa densidade e elevada porosidade total (GENRO JUNIOR; REINERT; REICHERT, 2004; NUNES et al., 2014; SPERA et al., 2004), decorrente do efeito mecânico dos mecanismos de distribuição de sementes e fertilizantes das semeadoras, da maior concentração de raízes e de MOS, e maior intensidade dos ciclos de umedecimento e secagem (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Subsuperficialmente observa-se uma camada adensada entre 8 e 15 cm de profundidade, que pode comprometer o desenvolvimento radicular e a infiltração de água nos solos (DENARDIN et al., 2009; SECCO et al., 2009).

Quando do levantamento do IQP, os agricultores citaram suas percepções sobre a compactação de solos nos talhões (Tabela 6), sendo que a maioria (92,3%) citou não haver compactação ou haver somente nas cabeceiras. ITO2 foi o único local que indicou compactação em área total, sendo que foi o talhão com o menor IQES (4) e os maiores valores de densidade para todas as camadas avaliadas. Isto demonstrando que a percepção dos agricultores em relação a compactação estava de acordo com os atributos diagnosticados.

Na análise dos componentes principais dos atributos físicos (Gráfico 15), tem-se que a componente 1 foi responsável por 72,3% da variância dos dados e a componente 2 por 16% da variância. Na componente 1, houve similaridade na contribuição dos atributos, com destaque maior para Ma e Pt, o que pode decorrer da relação entre as variáveis. Para a componente 2, a Mi apresentou maior contribuição. Da mesma forma que para os atributos químicos, a plotagem das camadas amostradas na análise dos componentes principais, demonstrou uma diferenciação de comportamento. A camada 0-5 cm ficou com as amostragens

posicionadas no lado esquerdo (negativo) e as camadas 5-10 e 10-20 cm apresentaram comportamento similar, ficando do lado direito (positivo) do gráfico. Assim, a análise dos componentes principais demonstrou que a Ma e Pt tiveram maior participação na diferenciação dos talhões, mas principalmente na diferenciação entre a camada superficial e subsuperficial.

Gráfico 15 – Análise dos componentes principais dos atributos físicos de solos, nas camadas de 0-5 (verde), 5-10 (laranja) e 10-20 cm (lilás), em 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.



Talhões identificados com • e coloração verde refere-se à camada de 0-5 cm; + e coloração laranja refere-se à camada de 5-10 cm; e □ na coloração lilás refere-se camada de 10-20 cm.
Fonte: autoria própria (2022)

4.4 CORRELAÇÃO DO IQP COM ATRIBUTOS DE SOLOS

A seguir são apresentados os resultados das correlações do IQP e seus indicadores com atributos químicos e físicos dos talhões avaliados.

4.4.1 Correlação entre IQP 2 e atributos químicos e físicos

O IQP 2 não apresentou correlação significativa com os atributos químicos e físicos de solos neste estudo (Tabela 14), ao contrário do observado por ROLLOF; LUTZ; MELLO, (2011b) e por NUNES et al. (2020), que obtiveram correlação com a

MOS. Esta correlação do IQP com MOS era esperada, pois todas as práticas mensuradas pelos indicadores do IQP promovem aumento dos teores de MOS. A não observação desta correlação neste estudo pode decorrer da baixa variabilidade das notas dos talhões (Tabela 7), que somado ao pequeno número amostral, pode ter dificultado a obtenção de correlações com os atributos do solo. Ainda, pode-se ter que a o nível de 5% de significância não seja a mais adequada para a análise de correlações nestas situações, dada a variabilidade de dados característico de coletas em talhões heterogêneos.

Tabela 14 – Coeficiente de correlação de Spearman entre IQP 2 e seus indicadores com atributos químicos e físicos do solo, de 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do PR.

Atributos	Profundidade (cm)	IQP	Indicadores							
			IR	DR	PR	FP	TE	AC	FE	TA
Atributos Químicos										
Ca	0-5	-0,08	0,07	0,57	0,07	-0,31	-0,04	0,20	-0,04	-0,43
	5-20	-0,08	0,42	0,34	0,24	-0,58	-0,08	-0,07	0,34	-0,28
Mg	0-5	0,20	0,55	-0,06	0,61	-0,37	-0,23	0,27	0,15	-0,06
	5-20	-0,21	0,38	0,17	0,21	-0,44	-0,29	0,24	0,30	-0,38
K	0-5	0,30	0,18	0,31	0,31	0,35	-0,10	0,24	0,00	-0,10
	5-20	0,16	-0,08	0,46	0,35	0,19	-0,25	0,40	0,13	-0,30
V	0-5	0,09	0,16	0,63	0,21	-0,17	0,00	0,21	-0,04	-0,34
	5-20	0,09	0,10	0,40	-0,10	-0,23	0,21	0,05	-0,08	-0,13
P	0-5	0,47	0,23	0,17	0,34	0,58	0,12	-0,26	-0,21	0,28
	5-20	-0,05	0,26	0,46	0,61	-0,04	-0,33	-0,18	0,25	-0,30
MOS	0-5	0,05	0,73	0,00	0,74	-0,14	-0,33	-0,23	0,04	-0,11
	5-20	-0,07	0,37	0,17	0,61	-0,51	-0,29	-0,13	0,34	-0,25
Atributos Físicos										
Ma	0-5	0,23	-0,26	-0,40	-0,17	-0,45	0,16	0,37	0,04	0,21
	5-20	0,34	0,17	-0,40	0,11	-0,31	0,27	-0,19	-0,19	0,42
Ds	0-5	-0,47	0,02	0,23	-0,09	0,25	-0,21	-0,43	0,04	-0,28
	5-20	-0,21	-0,35	-0,23	-0,50	0,26	0,21	-0,31	-0,21	0,19
Qec	0-8	-0,53	0,03	0,63	-0,18	-0,45	-0,14	0,00	0,39	-0,62
	8-25	0,31	-0,26	0,29	0,27	0,15	0,04	-0,15	0,30	0,05

Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE -fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção.

Coeficientes de correlação em negrito apresentaram-se significativos à 5% de significância.

Fonte: autoria própria (2022)

Dentre os indicadores, IR correlacionou-se positivamente com MOS na camada 0-5 cm (Tabela 14). Isto demonstra que a intensificação dos cultivos, indicada pelo aumento do IR, influenciou no aumento da concentração de MOS na camada superficial, característica importante do SPD. Com esta intensificação dos

cultivos, também era esperado aumento da ciclagem de nutrientes, que poderiam ser percebidos por correlações com os demais atributos químicos, o que não foi observado. Nunes et al. (2020) encontraram correlação de IR com o DRES, fato não observado neste estudo.

DR apresentou correlações positivas com Ca, V e Qec, na camada superficial do solo (Tabela 14). Em relação ao Ca e V, o aumento da DR pode ter aumentado a ciclagem do Ca pelas plantas, e conseqüente aumento da V, com a sua deposição na camada superficial, apontada pela correlação. Já para Qec, tem-se o indicativo que com o aumento da diversificação dos cultivos houve melhoria na estrutura da camada superficial. NUNES et al. (2020) também encontraram correlação do IQP com MOS, V e DRES, convergindo parcialmente com os resultados aqui encontrados.

Para PR, houve três correlações, sendo para Mg na camada superficial, P na subsuperficial e MOS nas duas camadas, sendo que NUNES et al. (2020) encontraram correlação apenas com V. O aumento da quantidade de fitomassa de maior relação C/N pode ter promovido aumento da ciclagem de Mg e P, bem como aumentos de MOS, tanto superficial como subsuperficialmente.

Com duas correlações, FP correlacionou-se negativamente com Ca na camada subsuperficial e positivamente com P na superficial. Para o P, este resultado mostrou-se esperado pois o não preparo do solo promove menor contato entre o solo e o P, e sua adsorção. Já para Ca, não há uma explicação para o observado. Não se encontrou correlação do FP com os atributos físicos, a qual poderia ocorrer devido o preparo do solo alterar as condições dos atributos, o que pode decorrer do tempo entre o último preparo e avaliação, que foi de três e quatro anos respectivamente para PBR2 e CHO, com possível reorganização da estrutura do solo até a momento da avaliação. NUNES et al. (2020) encontraram correlação de FP com MOS, o que não foi observado neste trabalho.

TA apresentou correlação negativa com Qec na superfície do solo. Esperava-se efeito contrário ao observado, com maiores Qec com o passar do tempo. A estrutura granular solta observada para os talhões na camada superficial (capítulo 4.3.3), mesmo nos talhões com maior tempo de adoção do PD e maiores valores de IQP (por exemplo em MAG, PBR2 e SJO), necessita de maiores

entendimentos sobre a evolução da estrutura nestas situações e mesmo possíveis ajustes na metodologia DRES. Correlação do TA com MOS foi observada por NUNES et al. (2020), a qual era esperada neste trabalho porém não observada.

Os indicadores TE, AC e FE não apresentaram correlações com os atributos avaliados. Com relação ao TE, como ele não impacta diretamente nos atributos químicos e físicos, isto pode explicar a ausência de correlações. Para AC esperava-se correlações com os atributos físicos, dada a relação de ambos com a compactação dos solos. Mas como AC é um indicador composto por três parâmetros (compactação, operações em nível e erosão), a contribuição parcial da compactação no indicador pode ter influenciado.

Correlações de FE com atributos químicos eram esperadas, pois com o uso adequado da fertilização e com isso maiores notas do indicador, ter-se-ia maiores valores para os atributos. Mas esta correlação não foi observada, o que pode ser devido à baixa variação dos dados de FE (Tabela 7), onde não houve casos em níveis críticos.

Assim, para os atributos químicos houve menos correlações do que o esperado, mas Ca, Mg, P, V e MOS apresentaram correlações de forma variada com IR, DR, PR e FP. A MOS, atributo usado como indicador chave da qualidade do solo em SPD, correlacionou-se com PR e IR, que são indicadores do adequado aporte de fitomassa e cobertura do solo. P, nutriente de difícil manejo em sistemas produtivos devido a sua adsorção com coloides do solo, também mostrou correlação com aporte de palhada e não preparo do solo. Assim, mesmo com pequeno número de correlações observadas, nota-se que estas foram de atributos químicos importantes, com indicadores do IQP que representam os princípios do SPD.

A não observação de correlações entre as variáveis analisadas, pode indicar que para a análise com dados oriundos de uma grande diversidade e heterogeneidade, deve-se buscar novos parâmetros como maiores níveis de significância ou novas ferramentas de análise, como já comentado para os atributos físicos.

Para os atributos físicos esperava-se que aumentos dos valores dos indicadores fossem acompanhados por aumento da Ma, diminuição da Ds e melhoria da qualidade estrutural, especialmente devido o aporte de palhada,

diversificação de cultivos, menor preparo do solo e maior tempo de adoção. Porém não foram observadas correlações dentro desta expectativa, com exceção do Qec com DR.

4.4.2 Correlação entre IQP Sudoeste-PR e atributos químicos e físicos

O IQP Sudoeste-PR apresentou correlação positiva com P na camada superficial e negativa com Ds na subsuperficial (Tabela 15). Ambas as correlações observadas se mostraram pertinentes, seja pelo P que é um atributo químico importante e de manejo diferenciado em PD, bem como Ds como um atributo físico indicador da qualidade da estrutura do solo. No entanto, não foi encontrada correlação significativa com MOS como observado por NUNES et al. (2020) e ROLLOF; LUTZ; MELLO (2011b).

Na análise das correlações dos indicadores com as bases trocáveis, Ca apresentou correlação negativa com FP na camada subsuperficial, Mg correlações positivas com IR e PR na camada superficial, e V com DR também positiva na camada superficial. Com exceção da correlação negativa de Ca com FP sem uma explicação aparente, nos demais casos as práticas vegetativas podem ter aumentado a ciclagem dos nutrientes e sua deposição na camada superficial.

Para P observou-se correlações positivas com DR e FP na camada superficial e PR na camada subsuperficial. Da mesma forma que para as bases trocáveis, a rotação de culturas e uso de plantas com maior relação C/N podem ter contribuído com maior ciclagem deste nutriente. Na relação com FP pode-se ter menor contato do P com o solo e conseqüentemente menor adsorção nos coloides.

MOS correlacionou-se positivamente com IR na camada superficial e PR em ambas as camadas, como ocorreu com o IQP 2. Isto demonstrando mais uma vez a influência da intensificação dos cultivos e do uso de plantas com maior relação C/N para com o aumento da MOS.

Tabela 15 – Coeficiente de correlação de Spearman entre IQP Sudoeste-PR e seus indicadores com atributos químicos e físicos do solo, referente a 13 talhões sob plantio direto no Sudoeste do Paraná.

Atributos	Profundidade (cm)	IQP	Indicadores							
			IR	DR	PR	FP	TE	AC	FE	TA
Atributos Químicos										
Ca	0-5	0,07	0,34	0,32	0,11	-0,31	-0,04	0,20	-0,04	-0,43
	5-20	0,20	0,51	0,39	0,26	-0,58	-0,08	-0,07	0,34	-0,28
Mg	0-5	0,48	0,66	0,36	0,60	-0,37	-0,23	0,27	0,15	-0,06
	5-20	0,14	0,51	0,24	0,18	-0,44	-0,29	0,24	0,30	-0,38
K	0-5	0,53	0,51	0,45	0,35	0,35	-0,10	0,24	0,00	-0,10
	5-20	0,45	0,38	0,47	0,39	0,19	-0,25	0,40	0,13	-0,30
V	0-5	0,40	0,51	0,57	0,25	-0,17	0,00	0,21	-0,04	-0,34
	5-20	0,22	0,34	0,45	-0,08	-0,23	0,21	0,05	-0,08	-0,13
P	0-5	0,74	0,46	0,56	0,35	0,58	0,12	-0,26	-0,21	0,28
	5-20	0,35	0,42	0,45	0,63	-0,04	-0,33	-0,18	0,25	-0,30
MOS	0-5	0,48	0,68	0,53	0,74	-0,14	-0,33	-0,23	0,04	-0,11
	5-20	0,20	0,30	0,35	0,63	-0,51	-0,29	-0,13	0,34	-0,25
Atributos Físicos										
Ma	0-5	-0,34	-0,25	-0,48	-0,16	-0,45	0,16	0,37	0,04	0,21
	5-20	-0,03	0,00	-0,10	0,08	-0,31	0,27	-0,19	-0,19	0,42
Ds	0-5	-0,24	-0,17	-0,04	-0,13	0,25	-0,21	-0,43	0,04	-0,28
	5-20	-0,56	-0,68	-0,52	-0,53	0,26	0,21	-0,31	-0,21	0,19
Qec	0-8	-0,30	0,02	0,06	-0,18	-0,45	-0,14	0,00	0,39	-0,62
	8-25	0,31	-0,19	0,31	0,30	0,15	0,04	-0,15	0,30	0,05

Indicadores: IR – intensidade de rotação, DR – diversidade de rotação, PR – persistência de resíduo, FP – frequência de preparo, TE - terraceamento, AC – avaliação da conservação, FE -fertilização equilibrada, TA -tempo de adoção.

Coeficientes de correlação em negrito apresentaram-se significativos à 5% de significância.

Fonte: autoria própria (2022)

Correlações dos indicadores FE e TA com os nutrientes e MOS não foram observadas, da mesma forma que para o IQP 2. Isto decorre do fato do IQP Sudoeste-PR manter praticamente a estrutura de entrada de dados para estes indicadores, não modificando as notas dos indicadores.

Apenas os indicadores IR e TA correlacionaram-se com atributos físicos. Para Ds, correlacionado negativamente com IR, ocorreu de forma esperada, onde o cultivo intenso dos talhões pode ter diminuído a Ds. Já para a correlação negativa entre TA e Qec, tem-se notas menores para a qualidade estrutural para a camada superficial com estrutura granular, como comentado no capítulo anterior.

Da mesma forma que o IQP 2, as correlações do IQP Sudoeste-PR estiveram relacionadas aos indicadores IR, DR, PR, FP e TA, destacando-se as correlações com os indicadores relacionados aos princípios do SPD. As práticas que aumentam a intensidade dos cultivos, como o uso de diferentes espécies e a formação de palhada persistente podem ter afetado a ciclagem de nutrientes como o Ca, Mg e P, e a Ds. Ainda, podem influenciar no aumento de fitomassa aportada no sistema produtivo e com conseqüente aumento da MOS.

Apesar do aumento de correlações significativas comparativamente ao IQP 2, o IQP Sudoeste-PR não apresentou maiores diferenças, com praticamente os mesmos indicadores e atributos correlacionados. A principal diferença foi que o IQP Sudoeste-PR apresentou correlação direta com atributos do solo, fato não observado no IQP 2.

5 CONCLUSÕES

O IQP indicou que a qualidade do PD dos talhões analisados é boa, com predomínio da adoção do PD em relação ao SPD. Ainda, indicou problemas relacionados a manutenção da cobertura do solo com palhada, adoção da rotação de culturas e uso do terraceamento. Adoção de terraceamento e frequência de preparo do solo foram os indicadores que mais diferenciaram o IQP dos talhões.

Já os atributos químicos e físicos de solo destes talhões apresentaram-se adequados a produção agrícola. Observou-se a formação de gradiente no perfil do solo, com uma camada superficial (0-8 cm) e uma subsuperficial (8-20 cm). A camada superficial apresentou maiores teores de nutrientes, maior macroporosidade e menor densidade.

As versões IQP 2 e IQP Sudoeste-PR mostraram-se adequadas para a avaliação da qualidade do PD da região Sudoeste do Paraná, correlacionando-se com atributos químicos e físicos de solo. Contudo, o IQP Sudoeste-PR mostrou-se mais adequado, devido a melhor identificação do uso da rotação de culturas, persistência de palhada e avaliação geral da conservação.

Visando caracterizar o SPD, usando de parâmetros presente no IQP Sudoeste-PR, este pode ser definido como um sistema produtivo agrícola sem preparo do solo por período maior que oito anos, tendo nos últimos três anos o cultivo de quatro ou mais espécies vegetais, o cultivo de quatro ou mais gramíneas, e no máximo oito meses não contínuos sem cultivo de espécies vegetais, considerando os cultivos simultâneos de várias espécies vegetais (consorciações) como uma única espécie e uma única gramínea para fins de contabilização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo dos solos agrícolas sob produção de grãos no Brasil passou por grandes mudanças no último meio século, sendo a erosão do solo o grande motivador destas transformações devido aos impactos negativos na produção, economia e meio ambiente. Nesta trajetória, teve-se diferentes fases resultantes de um processo evolutivo. A fase inicial, caracterizou-se pelo discurso do “plantio direto”, marcada pela migração do plantio convencional com intenso revolvimento do solo para o PD sobre os restos do cultivo anterior e com a mínima mobilização do solo. Posteriormente, teve-se a fase que predominou a compreensão da necessidade de palhada como componente importante de proteção do solo, fase marcada pela expressão “plantio direto na palha”. Atualmente, está-se na fase em que, além da palhada, a diversificação dos cultivos passou a ser compreendido como fundamental na promoção de qualidade dos sistemas produtivos, tendo a dinâmica do carbono e a biologia do solo como expoentes, denominada como “Sistema Plantio Direto”.

Atualmente, o SPD é uma referência mundial em manejo conservacionista do solo e da água sob ambiente tropical e subtropical, devido a promoção de benefícios de ordem produtiva, econômica e ambiental. Mas o seu emprego tem sido parcial, principalmente quanto a rotação de culturas e cobertura permanente do solo, o que caracteriza a adoção apenas do PD. Por exemplo, estima-se que menos de 10% das áreas agrícolas de grãos no Paraná façam uso da rotação de culturas. Isto compromete a qualidade dos solos e traz preocupações, especialmente com a erosão dos solos, necessitando de constantes ações de promoção do SPD e das práticas conservacionistas de solo e água em geral.

Ao mesmo tempo, nota-se que o uso dos termos SPD e PD ocorre de forma indistinta e indevida na maioria das vezes, seja no ambiente técnico ou acadêmico. Como a promoção da qualidade dos solos é obtida pela adoção do SPD, esta questão conceitual dificulta a avaliação do seu uso e impactos. A proposta brasileira de redução dos gases do efeito estufa expressa no Plano ABC (BRASIL, 2012, 2019), por exemplo, considera que as áreas atuais ou em expansão com cultivo de grãos adotam ou adotarão o SPD, desconsiderando que a maioria faz uso somente do PD. Em partes, isto advém da própria ausência de critérios que permitam

distinguir SPD do PD ao nível de campo, devido à ausência de parâmetros definidores das práticas de não preparo do solo, cobertura permanente do solo e especialmente da rotação de culturas.

O IQP é uma promissora ferramenta de gestão da qualidade do SPD, pois avalia a adoção de um conjunto de práticas de manejo de solo e água através de oito diferentes indicadores, não restringindo-se somente aos princípios do SPD. Por exemplo, o seu uso pode ocorrer tanto por agricultores que desejam avaliar e melhorar o seu sistema produtivo, quanto por processos de certificação numa perspectiva de análise de serviços ambientais promovido pelo SPD. No entanto, atualmente o IQP não diferencia PD de SPD, mas possui níveis críticos estabelecidos para os indicadores IR, DR, PR e FP que podem ser usados nesta diferenciação. Assim, valores maiores que os níveis críticos para estes indicadores, simultaneamente, podem ser usados como critério de identificação do SPD.

Utilizando-se destes critérios estabelecidos no IQP Sudoeste-PR, pode-se caracterizar o SPD como um sistema produtivo agrícola sem preparo do solo por período maior que oito anos, tendo nos últimos três anos o cultivo de quatro ou mais espécies vegetais, o cultivo de quatro ou mais gramíneas, e no máximo oito meses sem cultivo de espécies vegetais de forma não contínua, considerando os casos de cultivos simultâneos de várias espécies de plantas (consorciações) como uma única espécie e uma única gramínea para fins de contabilização.

Acredita-se que esta parametrização do SPD a partir do IQP Sudoeste-PR possa ser utilizada para diferentes realidades brasileiras, pois ela não é resultante de ponderações técnicas e científicas exclusivas desta região. No entanto, é importante a aproximação destes parâmetros para as diferentes realidades agrícolas, onde a regionalização do IQP torna-se importante no estabelecimento destes critérios.

Ressalta-se que apesar de não serem princípios do SPD, a adoção de práticas mecânicas como terraceamento e cultivo em nível são indispensáveis dentro de uma proposta de manejo integrado de solos e água e de agricultura conservacionista. Mesmo com a percepção dos agricultores que a adoção do SPD com manutenção de boa palhada sobre o solo reduzem o processo erosivo, ainda se tem escoamento de água e solutos das áreas manejadas, para a qual o

terraceamento é prática fundamental especialmente em regiões como a Sudoeste do Paraná com alta erosividade das chuvas e topografia que favorece o processo erosivo. Aliás, o terraceamento foi a prática que mais diferenciou o IQP dos talhões analisados neste trabalho, demonstrando a necessidade de fomentado para a sua adoção, a exemplo ações via políticas públicas.

Como desafio para ampliação no uso do IQP e identificação do SPD ao nível de campo, tem-se o uso das tecnologias digitais, especialmente com os avanços na obtenção e processamento de imagens de satélite. Estas poderão fornecer informações da ocupação, uso e manejos dos solos, o que possibilitará a determinação de indicadores do IQP e SPD, desde pequenos talhões até grandes extensões territoriais. Com isto, ter-se-á informações mais precisas da adoção do SPD e problemas nos manejos conservacionistas dos solos, auxiliando na mensuração dos impactos e na definição de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, Luis R. F.; CAMBRI, Michel A.; CAIRES, Eduardo F.; GARBUJO, Fernando J. Acidity and Aluminum Speciation as Affected by Surface Liming in Tropical No-Till Soils. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 74, n. 3, p. 1010–1017, 2010. DOI: 10.2136/sssaj2009.0254. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2009.0254>.
- ANGHINONI, Ibanor. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. *In*: NOVAIS, Roberto Ferreira; V., Victor Hugo Alvarez; BARROS, Nairam Félix De; FONTES, Renildes Lucio F.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Julio Cesar Lima (org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873–928.
- ANGHINONI, Ibanor; MARTINS, Amanda Posselt; CARMONA, Felipe de Campos. Inter-relação entre manejo e atributos químicos do solo. *In*: BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerici De; SOUZA, Luciano da Silva (org.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 251–279.
- ARATANI, Ricardo Garcia. Estudo exploratório dos termos “plantio direto” e “semeadura direta” e suas variações em bases de dados bibliográficas. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e129985533, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5533. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5533>.
- BALOTA, Elcio L.; CALEGARI, Ademir; NAKATANI, Andre S.; COYNE, Mark S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 197, p. 31–40, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.07.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880914003703>.
- BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria Geral dos Sistemas - Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 5. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.
- BERTOL, Ildegardis; COGO, Neroli Pedro; BARBOSA, Fabrício Tondello; SCHICK, Jefferson. Manejo e conservação do solo e da água no Brasil: retrospectiva e projeção para o futuro. *In*: LEITE, Luiz Fernando Carvalho; MACIEL, Giovana Alcantara; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira (org.). **Agricultura Conservacionista no Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 43–68.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do Solo**. 9ª Edição ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G.; BOGNOLA, I. A.; CÚRCIO, G. R.; MANZATTO, C. V.; JÚNIOR, W. C. CHAGAS, C. da S.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. **Mapa de solos Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.
- BOLLIGER, Adrian; MAGID, Jakob; AMADO, Jorge Carneiro Telmo; SKÓRA NETO, Francisco; RIBEIRO, Maria de Fatima Santos; CALEGARI, Ademir; RALISCH, Ricardo; NEERGAARD, Andreas. Taking Stock of the Brazilian “Zero-Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. **Advances in Agronomy**, [S. l.], v. 91, p. 47–110, 2006. DOI: 10.1016/S0065-2113(06)91002-5. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211306910025>.
- BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de Julho de 2006**. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm. Acesso em: 5 abr. 2022.
- BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. 2012. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Plano_ABC_VERSAO_FINAL_13jan2012.pdf. Acesso em: 8 mar. 2020.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Resumo da adoção e mitigação de gases de efeitos estufa pelas tecnologias do Plano ABC - Período 2010 a 2018**. 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros/arquivos/ResumodaadooemitigaodegasesdeefeitosestufapelastecnologiasdoPlanoABCPero2010a2018nov.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2020.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 27–34, 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831998000100004&lng=pt&tlng=pt.

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESTUK, F.; JACINTO JUNIOR, L. **Plantio direto e rotação de culturas - experiência em Latossolo Roxo - 1985-1992**. Maringá: Cocamar, 1995.

CALEGARI, Ademir. Plantas de cobertura. *In*: JUNIOR, Ruy Casão; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yeshwant Ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. Londrina/Foz do Iguaçu: Iapar/Itaipu Binacional, 2006. p. 55–73.

CALEGARI, Ademir; HECKLER, João Carlos; SANTOS, Henrique Pereira; PITOL, Carlos; FERNANDES, Francisco Marques; HERNANI, Luís Carlos; GAUDENCIO, Celso A. Culturas, sucessões e rotações. *In*: SALTON, Júlio Cesar; HERNANI, Luís Carlos; FONTES, Clarice Zanoni (org.). **Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa - CPAO, 1998. p. 59–80.

CANALLI, Lutécia Beatriz Santos; BORDIN, Ivan. Rotação de culturas. *In*: BERTOL, Oromar João; COLOZZI FILHO, Arnaldo; BARBOSA, Graziela Moraes Cesare; SANTOS, Josiane Bürkner; GUIMARÃES, Maria Fátima (org.). **MANUAL DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. p. 129–132.

CANALLI, Lutécia Beatriz Santos; CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; CASSOL, Cidimar. Produção de Biomassa. *In*: BERTOL, Oromar João; COLOZZI FILHO, Arnaldo; BARBOSA, Graziela Moraes Cesare; SANTOS, Josiane Bürkner; GUIMARÃES, Maria Fátima (org.). **MANUAL DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. p. 133–137.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto; LÚCIO, Alessandro DalCol; LOPES, Sidinei; STORCK, Lindolfo. **TESTES ESTATÍSTICOS NÃO-PARAMÉTRICOS NA PESQUISA AGRÍCOLA**. Santa Maria: UFSM, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283074169_Testes_nao-parametricos_para_pesquisas_agricolas.

CARVALHO, Arminda Moreira; BUSTAMANTE, Mercedes Maria Cunha; SOUSA JUNIOR, José Geraldo Abreu; VIVALDI, Lúcio José. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. spe, p. 2831–2838, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700029. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000700029&lng=pt&tlng=pt.

CARVALHO, João Luís Nunes; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino; CERRI, Carlos Clemente. SPD aumenta sequestro de carbono pelo solo. *In*: FAVARIN, José Laercio; FANCELLI, Antonio Luiz; ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz (org.). **Revista Visão Agrícola - Plantio Direto**. 9 ed. ed. Piracicaba: Esalq, 2009. p. 132–135. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Ambiente01.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

CASÃO, Ruy; ARAÚJO, Augusto Guilherm; LLANILLO, Rafael Fuentes. **PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: Iapar, 2012. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/PlantioDireto_pt-br.pdf. Acesso em: 2 maio. 2020.

CASSOL, Elenor Antonino; DENARDIN, José Eloir; KOCHHANN, Rainoldo Alberto. Sistema Plantio Direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. *In*: CERETTA, Carlos Alberto; SILVA, Leandro Souza; REICHERT, José Miguel (org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 333–370.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 163–171, 2002. DOI: 10.1590/S0100-06832002000100017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832002000100017&lng=pt&tng=pt.

CIOTTA, Marlise Nara; BAYER, Cimélio; FONTOURA, Sandra Mara Vieira; ERNANI, Paulo Roberto; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 33, n. 6, p. 1161–1164, 2003. DOI: 10.1590/S0103-84782003000600026. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782003000600026&lng=pt&tng=pt.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar. Práticas Conservacionistas Edáficas. *In*: BERTOL, Oromar João; COLOZZI FILHO, Arnaldo; BARBOSA, Graziela Moraes Cesare; SANTOS, Josiane Bürkner; GUIMARÃES, Maria Fátima (org.). **MANUAL DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. p. 144–145.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; MIELNICZUK, João; SPAGNOLLO, Evandro. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 29, n. 5, p. 777–788, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000500013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832005000500013&script=sci_arttext&tng=es.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92107/1/Doc-342-OL.pdf>.

DEBIASI, Henrique; CONTE, Osmar; SANTOS, Julio Cesar Franchini Dos; BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antonio; MARTINS, Alba Leonor da Silva; HERNANI, Luis Carlos. **Índice de qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) em glebas de microbacia hidrográfica na região de Rolândia , PR**. 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/210540/1/p-80-87-Indice-de-qualidade-Participativo-do-Plantio-Direto-IQP-em-glebas-de-microbacia-hidrografica-na-regiao-de-Rolandia-PR.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2022.

DEMETRIO, Wilian C.; RIBEIRO, Ricardo H.; NADOLNY, Herlon; BARTZ, Marie L. C.; BROWN, George G. Earthworms in Brazilian no-tillage agriculture: Current status and future challenges. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1111/ejss.12918. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/ejss.12918>.

DENARDIN, José Eloir. **Compactação e Adensamento de Solo: caracterização, origem, riscos, danos e soluções - Portal Embrapa**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31340322/artigo---compactacao-e-adensamento-de-solo-caracterizacao-origem-riscos-danos-e-solucoes>. Acesso em: 8 mar. 2020.

DENARDIN, José Eloir; KOCHHANN, Rainoldo Alberto; FAGANELLO, Antonio; COGO, Nerolli Pedro. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. *In*: LEITE, Luiz Fernando Carvalho; MACIEL, Giovana Alcântara; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira (org.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 23–41.

DENARDIN, José Eloir; KOCHHANN, Rainoldo Alberto; FAGANELLO, Antonio; SANTI, Anderson; D', Norimar; DENARDIN, Ávila; WIETHÖLTER, Sírio. **Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista**. Documentos ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do141.pdf. Acesso em: 2 nov. 2020.

DENARDIN, José Eloir; SCHAEFFER, Ronaldo; FAGANELLO, Antônio; KOCHHANN, Rainoldo Alberto. **Heterogeneidade física de um latossolo argiloso manejado sob sistema plantio direto** Passo Fundo Embrapa, , 2009. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp70.pdf.

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 137, p. 16–22, 2014. DOI: 10.1016/j.still.2013.10.002. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198713001992>.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 8, p. 253–263, 1986. DOI: 10.1016/0167-1987(86)90338-7. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0167198786903387>.

DERPSCH, Rolf; FRIEDRICH, Theodor; KASSAM, Amir; HONGWEN, Li. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 1–25, 2010. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 4 maio. 2020.

ESTATCAMP. **Action Stat Pro**. 2019. Disponível em: <http://loja.portalaction.com.br/produto/action-stat-pro/>. Acesso em: 11 maio. 2022.

FAO. **Conservation Agriculture**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

FEBRAPDP. **V Simpósio de Solos do Sudoeste do Paraná e Fórum IQP Sudoeste/PR**. 2019. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/forum12>. Acesso em: 1 maio. 2020.

FEBRAPDP. **Sistema Plantio Direto**. 2020a. Disponível em: <https://www.plantiodireto.org/content/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 22 fev. 2020.

FEBRAPDP. **Documentos | Plantio Direto**. 2020b. Disponível em: <https://www.plantiodireto.org/documentos>. Acesso em: 16 fev. 2020.

FEBRAPDP. **MEMÓRIA DE CÁLCULO DOS INDICADORES IQP**. 2020c. Disponível em: https://www.plantiodireto.org/sites/default/files/documentos/IQP2_Indicadores_memoria_de_calculo.pdf. Acesso em: 22 fev. 2020.

FEBRAPDP. **O que é Sistema Plantio Direto?** 2021. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/sistema-plantio-direto-o-que-e>. Acesso em: 25 jul. 2021.

FERREIRA, Ademir Oliveira; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; RICE, Charles W.; RUIZ DIAZ, Dorivar A.; BRIEDIS, Clever; INAGAKI, Thiago Massao; GONÇALVES, Daniel Ruiz Potma. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 622–623, p. 735–742, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969717334381>.

FRANCHINI, Julio Cezar; COSTA, Joaquim Mariano; DEBIASI, Henrique; TORRES, Eleno. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/897259/1/ID32202.pdf>.

FRANCHINI, Julio Cezar; DEBIASI, Henrique; BALBINOT JUNIOR, Alvadi Antonio; TONON, Brenda Cristye; FARIAS, José Renato Bouças; OLIVEIRA, Maria Cristina Neves; TORRES, Eleno. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 137, p. 178–185, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.003.

FRANCHINI, Julio Cezar; DEBIASI, Henrique; SACOMAN, Antonio; NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Bouças. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Documentos314_000gdx39fhn02wx5ok0ylax2lz2wb9ud.pdf.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The Transformation of Agriculture in Brazil Through Development and Adoption of Zero Tillage Conservation Agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 35–46, 2014. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30012-5. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2095633915300125?token=37C0C9AD1DCF32B1D07CCE8125D2A2191823A421E56AD3A9D8B07DF0579D74DAAD6F0189CADDDE3159619E6634605B2F&originRegion=us-east-1&originCreation=20210628000548>. Acesso em: 23 maio. 2020.

FRIEDRICH, Nelton Miguel; PASSINI, João José; JUNIOR, Cícero Bley; BERTÉ, Adair Antonio; KAMINSKI, Newton Luiz. Sistema de plantio direto com qualidade como prática de desenvolvimento sustentável inserido no programa “cultivando água boa”. In: JUNIOR, Ruy Casão; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yeshwant Ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. Londrina/Foz do Iguaçu: Iapar/Itaipu Binacional, 2006. p. 1–8.

FUENTES-LLANILLO, Rafael et al. Conservation Agriculture in South America. In: KASSAM, Amir (org.). **Advances in Conservation Agriculture: Adoption and Spread**. [s.l.] : Burleigh Dodds Science Publishing, 2021. a. v. 3.

FUENTES-LLANILLO, Rafael; TELLES, Tiago Santos; SOARES JUNIOR, Dimas; MELO, Thadeu Rodrigues; FRIEDRICH, Theodor; KASSAM, Amir. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 208, n. October 2020, p. 104877, 2021. b. DOI: 10.1016/j.still.2020.104877. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 28, n. 3, p. 477–484, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000300009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000300009&lng=pt&tlng=pt.

GLOBO RURAL. **Falta de conservação do solo causa erosão e perda de lavouras no PR**. 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/09/falta-de-conservacao-do-solo-causa-erosao-e-perda-de-lavouras-no-pr.html>. Acesso em: 6 jun. 2022.

GONÇALVES, Sergio Luiz; GAUDENCIO, Celso A.; FRANCHINI, Julio Cezar; GALERANI, Paulo Roberto; GARCIA, Antonio. **Rotação de Culturas**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/470323/1/circtec45.pdf>.

GUARESCHI, Roni Fernandes; PEREIRA, Marcos Gervasio; PERIN, Adriano. Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 4, p. 1135–1142, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000400009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000400009&lng=pt&tlng=pt.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David A. T.; RYAN, Paul D. PAST: PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE PACKAGE FOR EDUCATION AND DATA ANALYSIS. **Palaeontologia Electronica**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2001. Disponível em: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

HECKLER, João Carlos; HERNANI, Luís Carlos; PITOL, Carlos. Palha. In: SALTON, Júlio Cesar; HERNANI, Luís Carlos; FONTES, Clarice Zanoni (org.). **Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa -CPAO, 1998. p. 37–49.

HERNANI, Luís Carlos; SALTON, Júlio Cesar. Conceitos. In: SALTON, Júlio Cesar; HERNANI, Luís Carlos; FONTES, Clarice Zanoni (org.). **Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa -CPAO, 1998. p. 15–20.

IDR-PARANÁ. **Grãos Sustentáveis**. 2021. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Graos-Sustentaveis>. Acesso em: 31 out. 2021.

INSTITUTE RODALE. **Crop Rotations - Rodale Institute**. 2021. Disponível em: <https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-farming-practices/crop-rotations/>. Acesso em: 8 jul. 2021.

IPARDES. **SUDOESTE PARANAENSE: especificidades e diversidades**. 2009. Disponível em: http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/SudoesteParanaense_especificidades_e_diversidades_2009.pdf. Acesso em: 4 abr. 2020.

IPARDES. **Perfil Avançado das Regiões**. 2021. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Perfil-Avançado-das-Regioes>. Acesso em: 22 mar. 2020.

ITAIPU BINACIONAL; FEBRAPDP. **Metodologia participativa para avaliar a qualidade do plantio direto na bacia hidrográfica do Paraná III**. Foz do Iguaçu.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. Global spread of Conservation Agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 29–51, 2019. DOI: 10.1080/00207233.2018.1494927. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207233.2018.1494927>.

LANDGRAF, Lebna. **Erosão causa prejuízos econômicos e ambientais no Paraná**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36905812/erosao-causa-prejuizos-economicos-e-ambientais-no-parana>. Acesso em: 6 maio. 2020.

MARIA, Isabella Clerice De; BERTOL, Ildegardis; DRUGOWICH, Mario Ivo. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerice De; SOUZA, Luciano da Silva (org.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água**. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 527–587.

MARTINS, Alba Leonor da Silva; DOSSA, Álvaro Augusto; SANTI, Anderson; BONA, Fabiano Daniel De; DENARDIN, José Eloir; LUNARDI, Lisandra; HERNANI, Luís Carlos. **Índice de qualidade participativo do sistema plantio direto para a região do Alto Uruguai, RS – IQP-RAU** Passo Fundo Embrapa Trigo, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223586/1/Doc-190-online-2021.pdf>.

MARTINS, Alba Leonor da Silva; HERNANI, Luis Carlos; PEETERS, C. L.; GONÇALO, T. P. **Índice de qualidade participativo do plantio direto para a região de Rio Verde, GO (IQP-RV)** Rio de Janeiro Embrapa Solos, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/207099/1/CNPS-DOC-209-2019.epub>.

MARTINS, Alba Leonor Silva et al. **Avaliação ex ante do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) com Produtores do Centro-Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1104307/1/CNPSDOC2032018.pdf>.

MEDEIROS, Garibaldi Batista; CALEGARI, Ademir; GAUDÊNCIO, Celso. Rotação de culturas. In: PARANÁ, Sec. de Estado da Agricultura e do Abastecimento (org.). **Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR, 1994. p. 186–195.

MEDEIROS, Garibaldi Batista; CALEGARI, Ademir; GAUDÊNCIO, Celso. Rotação de culturas. In: CASÃO, Ruy; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yeshwant Ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. 2. ed. Londrina/Foz do Iguaçu: IAPAR, 2006. p. 186–195.

MENDES, Thais Aparecida; MELLO, Nilvânia Aparecida; SANTOS TELLES, Carolini. O Índice de Qualidade Participativo a partir da análise da qualidade do sistema de plantio direto: Um estudo de caso no município de Clevelândia (PR), Brasil. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 103–122, 2019. DOI: 10.36363/rever812019103-122. Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/ojs/rever/article/view/8106>.

MORAES, Moacir Tuzzin; DEBIASI, Henrique; CARLESSO, Reimar; CEZAR FRANCHINI, Julio; SILVA, Vanderlei Rodrigues; LUZ, Felipe Bonini. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 155, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2015.07.015.

MOTTER, Paulino; ALMEIDA, Herlon G.; VALLE, Dimitri; MELLO, Ivo. **Plantio direto, a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015.

MUZILLI, Osmar. Manejo do solo em sistema plantio direto. *In*: CASÃO JUNIOR, Ruy; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yeshwant Ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. LONDRINA: Iapar, 2006. p. 9–27.

NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICE, Wilian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2020.

NUNES, Amanda Letícia Pit; BARTZ, Marie L.; MELLO, Ivo; BORTOLUZZI, Jeankleber; ROLOFF, Glaucio; FUENTES LLANILLO, Rafael; CANALLI, Lutecia; WANDSCHEER, Cassio A. R.; RALISCH, Ricardo. No-till System Participatory Quality Index in land management quality assessment in Brazil. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1111/ejss.12943. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/ejss.12943>.

NUNES, Márcio Renato; DENARDIN, José Eloir; FAGANELLO, Antonio; PAULETTO, Eloy Antonio; PINTO, Luiz Fernando Spinelli. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 627–638, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000200027. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200027&lng=pt&tlng=pt.

OCDE; FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. Paris: OECD, 2015. DOI: 10.1787/agr_outlook-2015-en. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2015_agr_outlook-2015-en.

OLIVEIRA, Priscila De; TAVARES, Silvio Roberto de Lucena; MARTINS, Alba Leonor da Silva; RALISCH, Ricardo; HERNANI, Luís Carlos. **PROPOSTA DE ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO DO PLANTIO DIRETO PARA CONDIÇÕES DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL – IQPi**JaguariúnaEmbrapa Meio Ambiente, , 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202818/1/Indice-Participativo-Oliveira-Doc-119.pdf>.

PASSINI, João José. OPERAÇÃO DE COMUNICAÇÃO DO PLANTIO DIRETO COM QUALIDADE. *In*: CASÃO JR, Ruy; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yeshwant ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. Londrina: Iapar, 2006. p. 181–1989.

PASSOS, Alexandre Martins Abdão; ALVARENGA, Ramon Costa; SANTOS, Flávia Cristina. Sistema de Plantio Direto. *In*: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. (org.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 61–104.

PAULETTI, Volnei; MOTTA, Antonio Carlos Vargas; SERRAT, Beatriz Monte; FAVARETTO, Nerilde; ANJOS, Adilson Dos. Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 581–590, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000300011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000300011&lng=pt&tlng=pt.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C.; M., MIYAZAWA; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Iapar, 1992.

PEREIRA NETO, Osvaldo C.; GUIMARÃES, Maria F.; RALISCH, Ricardo; FONSECA, Inês C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 489–496, 2007. DOI: 10.1590/S1415-43662007000500007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000500007&lng=pt&tlng=pt.

PIRES, Luiz F.; BORGES, Jaqueline A. R.; ROSA, Jadir A.; COOPER, Miguel; HECK, Richard J.; PASSONI, Sabrina; ROQUE, Waldir L. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 165, p. 66–79, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2016.07.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198716301313>.

POSSAMAI, Edivan José. **MANEJO DO SOLO EM ESTABELECIMENTOS REFERÊNCIA DA AGRICULTURA FAMILIAR**. 2012. Dissertação - UTFPR, Pato Branco, 2012.

POSSAMAI, Edivan José; CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; AMADORI, Caroline; BARTZ, Marie Luise Carolina; RALISCH, Ricardo; VICENSI, Marcelo; MARX, Ericson Fagundes. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 46, p. 1–24, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcS20210104. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/article/adoption-of-the-no-tillage-system-in-parana-state-a-review/>.

RAIJ, Bernardo Van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, [S. l.], v. 28, n. unico, p. 85–112, 1969. DOI: 10.1590/S0006-87051969000100008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051969000100008&lng=pt&tlng=pt.

RALISCH, Ricardo; DEBIASI, Henrique; FRANCHINI, Julio Cezar; TOMAZI, Michely; HERNANI, Luís Carlos; MELO, Adoildo da Silva; SANTI, Anderson; MARTINS, Alba Leonor da Silva; BONA, Fabiano Daniel De. Diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES). In: TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 185–198.

REICHERT, José Miguel; DA ROSA, Vanderleia Trevisan; VOGELMANN, Eduardo Saldanha; DA ROSA, David Peres; HORN, Rainer; REINERT, Dalvan José; SATTLER, Arcenio; DENARDIN, José Eloir. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 158, p. 123–136, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2015.11.010. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198715300623>.

REICHERT, José Miguel; REINERT, Dalvan José; BRAIDA, João Alfredo. QUALIDADE DOS SOLOS E SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS. **Ciência & Ambiente**, [S. l.], v. 27, p. 29–48, 2003.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (org.). **Tópicos em Ciência do Solo do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49–134. Disponível em: http://fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Producao_Artigos/2007_Topicos.pdf.

REICHERT, José Miguel; SUZUKI, Luis Eduardo Akiyoshi Sanches; REINERT, Dalvan José; HORN, Rainer; HÅKANSSON, Inge. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 102, n. 2, p. 242–254, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.07.002. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198708001025>. Acesso em: 19 set. 2020.

REVISTA CULTIVAR. **Pesquisas quantificam prejuízos causados no solo pela erosão hídrica no Paraná**. 2021. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/pesquisas-quantificam-prejuizos-causados-no-solo-pela-erosao-hidrica-no-parana>.

RHEINHEIMER, Danilo dos Santos; SANTOS, Edilceu João da Silva; KAMINSKI, João; XAVIER,

Flávio Moreira. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 263–268, 2000. DOI: 10.1590/S0103-84782000000200011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/0D/cr/v30n2/a11v30n2.pdf>.

RHEINHEIMER, Danilo Santos et al. Phosphorus distribution after three decades of different soil management and cover crops in subtropical region. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 192, p. 33–41, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.04.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198719300650>.

ROLLOF, Glaucio; LUTZ, Ramiro A. T.; MELLO, Ivo. **Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto - Boletim Técnico 02**. Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2011. a. Disponível em: https://febrapdp.org.br/0Adownload/publicacoes/BOLETIM_TCINICO_02.pdf. Acesso em: 16 fev. 2020.

ROLLOF, Glaucio; LUTZ, Ramiro A. T.; MELLO, Ivo. **Validação do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto - Boletim Técnico**. Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2011. b. Disponível em: https://febrapdp.org.br/0Adownload/publicacoes/BOLETIM_TCINICO_02.pdf. Acesso em: 16 fev. 2020.

SÁ, João Carlos de Moraes; LAL, Rattan; CERRI, Carlos Clemente; LORENZ, Klaus; HUNGRIA, Mariangela; DE FACCIÓ CARVALHO, Paulo Cesar. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, [S. l.], v. 98, p. 102–112, 2017. DOI: 10.1016/j.envint.2016.10.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0160412016306341>. Acesso em: 5 ago. 2022.

SÁ, João Carlos Moraes; CERRI, Carlos Clemente; LAL, Rattan; DICK, Warren A.; PICCOLO, Marisa Cassia; FEIGL, Brigitte Eduardo. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 104, n. 1, p. 56–64, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.11.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198708002225>.

SÁ, João Carlos Moraes; SANTOS, Josiane Bürkner; CANALLI, Lutécia Beatriz Santos; INAGAKI, Thiago Massao; GONÇALVES, Daniel Ruiz Potma; ROMANIW, Jucimare; FERREIRA, Ademir Oliveira; BRIEDIS, Clever. Sistema Plantio Direto. In: BERTOL, Oromar João; COLOZZI FILHO, Arnaldo; BARBOSA, Graziela Moraes Cesare; SANTOS, Josiane Bürkner; GUIMARÃES, Maria Fátima (org.). **MANUAL DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. a. p. 105–111.

SÁ, João Carlos Moraes; SANTOS, Josiane Bürkner; CANALLI, Lutécia Beatriz Santos; INAGAKI, Thiago Massao; GONÇALVES, Daniel Ruiz Potma; ROMANIW, Jucimare; FERREIRA, Ademir Oliveira; BRIEDIS, Clever. Manejo da Matéria Orgânica do Solo (cobertura morta). In: BERTOL, Oromar João; COLOZZI FILHO, Arnaldo; BARBOSA, Graziela Moraes Cesare; SANTOS, Josiane Bürkner; GUIMARÃES, Maria Fátima (org.). **MANUAL DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O ESTADO DO PARANÁ**. Curitiba: NEPAR-SBCS, 2019. b. p. 114–119.

SANTOS, Henrique Pereira Reis; REIS, Erlei Melo. **Rotação de Culturas em Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

SANTOS, HG et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SBCS-NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017.

SBCS-NEPAR. **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná**. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

SCHEID, Afredo; SÍRIO, Lopes; LUIZ, Wiethölter; GUIMARÃES, Roberto; CARLOS, Guilherme; SILVA, Alberto. **SISTEMA PLANTIO DIRETO: BASES PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO**

SOLO. São Paulo: ANDA, 2018. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Sistema_Plantio_Direto.pdf. Acesso em: 28 jul. 2021.

SCIELO. SCIELO - Pesquisa Avançada. 2021. Disponível em: <https://search.scielo.org/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

SECCO, Deonir; REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel; SILVA, Vanderlei Rodrigues Da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 58–64, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000100010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000100010&lng=pt&tlng=pt.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos; POSSAMAI, Edivan José; REIS, Eliana Aparecida Dos; OLIVEIRA, Gustavo Migliorini De; HELING, Anderson Luís; OLIVEIRA, Arnold Barbosa De; LIMA, Divania De; SILVA, Gabriel Costa. **Monitoramento de Phakopsora pachyrhizi na safra 2019 / 2020 para tomada de decisão do controle da ferrugem- asiática da soja**LONDRINAEmbrapa Soja, , 2020.

SIQUEIRA, Rubens; CASÃO JUNIOR, Ruy. Difusão de técnicas para a melhoria da qualidade do plantio direto: impacto do projeto e bases referenciais para planejamento. *In*: JUNIOR, Ruy Casão; SIQUEIRA, Rubens; MEHTA, Yqshwant Ramchandra; PASSINI, João José (org.). **Sistema Plantio Direto com Qualidade**. Londrina/Foz do Iguaçu: Iapar/Itaipu Binacional, 2006. p. 191–200.

SOUZA, Djalma Martinhão Gomes De; MIRANDA, Leo Nobre De; OLIVEIRA, Sebastião Alberto De. Acidez do solo e sua correção. *In*: NOVAIS, Roberto Ferreira; V., Victor Hugo Alvarez; BARROS, Nairam Felix De; FONTES, Renildes Lucio f.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Julio Cesar Lima (org.). **Fertilidade do solo**2. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205–274.

SOUZA, Luciano da Silva; MAFRA, Alvaro Luiz; SOUZA, Laercio Duarte; SILVA, Ivandro de França Da; KLEIN, Vilson Antonio. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. *In*: BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerici De; SOUZA, Luciano da Silva (org.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**2. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. a. p. 193–249.

SOUZA, Luciano Silva; BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerice; FILHO, José Fernandes Melo; LEPSCH, Igo Fernando; FILHO, Antonio Ramalho. Terminologia básica utilizada em manejo e conservação do solo e água. *In*: BERTOL, Ildegardis; MARIA, Isabella Clerice De; SOUZA, Luciano da Silva (org.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 1ª ed. Viçosa: SBCS, 2019. b. p. 1–17.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 28, n. 3, p. 533–542, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000300014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000300014&lng=pt&tlng=pt.

TABOLKA, Cleiton Luiz. **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E DESEMPENHO DE CULTURAS APÓS QUATRO ANOS DE APLICAÇÕES DE CAMA DE AVIÁRIO EM DIFERENTES ÉPOCAS E NÍVEIS**. 2016. Dissertação - UTFPR, Pato Branco, 2016.

TELLES, T. S.; LOURENÇO, M. A. P.; OLIVEIRA, J. F.; COSTA, G. V.; BARBOZA, G. M. C. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S. l.], v. 91, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/0001-3765201920180578. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>www.scielo.br/aabc%7Cwww.fb.com/aabcjournalOrCid:http://orcid.org/0000-0001-5817-3420. Acesso em: 11 ago. 2020.

TELLES, Tiago S.; RIGHETTO, Ana J.; LOURENÇO, Marco A. P.; BARBOSA, Graziela M. C. No-tillage system participatory quality index. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 128–133, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p128-133. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662020000200128&tlng=en.

TELLES, Tiago Santos; DECHEN, Sonia Carmela Falci; GUIMARÃES, Maria Fátima. Institutional landmarks in Brazilian research on soil erosion: a historical overview. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 37, n. 6, p. 1431–1440, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000600001&lng=en&tlng=en.

TELLES, Tiago Santos; MELO, Thadeu Rodrigues De; RIGHETTO, Ana Julia; DIDONÉ, Elizeu Jonas; BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare. Soil management practices adopted by farmers and how they perceive conservation agriculture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 46, p. 1–13, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcS20210151. Disponível em: <https://www.rbcSjournal.org/article/soil-management-practices-adopted-by-farmers-and-how-they-perceive-conservation-agriculture/>.

TOSI, Marcos. **Erros no plantio direto fazem erosão voltar “com força” ao Paraná**. 2018. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/erros-no-plantio-direto-fazem-erosao-voltar-com-forca-ao-parana-dwnkhgmu0laorenr33xhxtwh0/>. Acesso em: 6 jun. 2022.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2016**. New York: UN, 2016. v. 53
DOI: 10.18356/3405d09f-en. Disponível em: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210582599>.

VELOSO, M. G.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; BAYER, C. Carbon accumulation and aggregation are mediated by fungi in a subtropical soil under conservation agriculture. **Geoderma**, [S. l.], v. 363, p. 114159, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114159. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706119320336>.








VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000400001. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcS/a/rSb9bsbsgjBqw4t9b9jrDBC/?lang=pt>. Acesso em: 8 jul. 2021.

APÊNDICE A - Artigo “*Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view*”



Division - Soil Use and Management | Commission - Soil and Water Management and Conservation

Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view

Edivan José Possamai^{(1)*} , Paulo Cesar Conceição⁽²⁾ , Caroline Amadori⁽²⁾ , Marie Luise Carolina Bartz⁽³⁾ , Ricardo Ralisch⁽⁴⁾ , Marcelo Vicensi⁽⁵⁾  and Ericson Fagundes Marx⁽⁶⁾ 

⁽¹⁾ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil.

⁽³⁾ Centro de Ecologia Funcional, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

⁽⁴⁾ Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil.

⁽⁵⁾ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil.

⁽⁶⁾ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil.

ABSTRACT: The concept of a no-tillage system (NTS), or “Sistema Plantio Direto,” was established in Brazil from the evolution of no-tillage (NT) or “Plantio Direto,” given the edaphoclimatic conditions and the need to promote chemical, physical and biological improvements in cultivated soils. While “Plantio Direto” is a conservationist practice, “Sistema Plantio Direto” presents itself as an agricultural production system based on the simultaneous adoption of minimum soil disturbance, maintenance of permanent soil cover and crop rotation. This study reviews the concepts of “Plantio Direto” and “Sistema Plantio Direto” in the Brazilian literature and uses two case studies in Paraná State to demonstrate the practical implications of these concepts. These two terms and their variations are recurrent themes in Brazilian scientific research and the professional environment, and may occur erroneously, hindering their adoption, results and implications. Regarding the “Sistema Plantio Direto,” we highlight the need to clarify the concepts of its basic practices to parameterize and characterize this process. The definition of crop rotation, for example, requires limits on the number of species along a given time scale, thus enabling their identification. Regarding the case studies, most grain crops conducted in Paraná State did not adopt the “Sistema Plantio Direto,” mainly neglecting the component of crop rotation. Nevertheless, the use of the “no-tillage system participatory quality index” (PQI) tool can contribute to the assessment and monitoring of the quality of the “Sistema Plantio Direto.” However, it requires adjustments to differentiate the “Sistema Plantio Direto” from the “Plantio Direto.”


Keywords: conservation agriculture, participatory quality index, soil management, crop rotation, no-tillage system.

* Corresponding author:
E-mail: edivanjp@idr.pr.gov.br

Received: July 30, 2021

Approved: October 21, 2021

How to cite: Possamai EJ, Conceição PC, Amadori C, Bartz MLC, Ralisch R, Vicensi M, Marx EF. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re) view. Rev Bras Cienc Solo. 2022;46:e0210104. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210104>

Editors: José Miguel Reichert and Gustavo Henrique Merten 

Copyright: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided that the original author and source are credited.



<https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210104>

1

Disponível em:

- <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210104>
- <https://www.rbcjournal.org/pt-br/article/adoption-of-the-no-tillage-system-in-parana-state-a-review/>
- <https://www.scielo.br/j/rbc/a/tHkrjWBmMjJCwt4D4BtRgGL/>