

Política agrícola na era da digitalização

Book Chapter

Author(s):

[Ehlers, Melf-Hinrich](#) ; [Huber, Robert](#) ; [Finger, Robert](#) 

Publication date:

2021

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000512214>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Política agrícola na era da digitalização¹

Melf-Hinrich Ehlers
Robert Huber
Robert Finger

Estima-se que a digitalização venha a transformar radicalmente o setor agrícola alimentar, em vista de seu potencial para, por exemplo, auxiliar a produção por meio da agricultura de precisão e o comércio por meio de plataformas *online* e de sistemas de rastreabilidade (Aceto *et al.*, 2019; Kamble *et al.*, 2020; Poppe *et al.*, 2013; Walter *et al.*, 2017, entre outros). Ao mesmo tempo, as tecnologias digitais estão se tornando parte do ferramental de política agrícola, auxiliando o monitoramento da conformidade à regulação, o intercâmbio e a análise de dados (European Court of Auditors, 2020; OECD, 2019). No entanto, apesar de avisos contundentes sobre a necessi-

¹ Este capítulo foi previamente publicado em inglês na revista *Food Policy* (v. 100, abr. 2021) com o título *Agricultural policy in the era of digitalisation*, copyright Elsevier. Traduzido por Regina Vargas.

dade premente de aumentar a eficácia da política agrícola (De Schutter *et al.*, 2020; Gawith; Hodge, 2019; Grethe, 2017; Pe'er *et al.*, 2014), o potencial da tecnologia digital para induzir sua mudança nessa direção ainda não se evidenciou.

Este artigo investiga em que medida tecnologias digitais, como sensoriamento remoto ou análise de dados integrados, (1) podem originar instrumentos alternativos de política agrícola, (2) oferecer alternativas para as linhas de instrumentos e (3) possibilitar novas linhas diretrizes para abordar os problemas de forma mais eficaz e eficiente. Desenvolvemos um modelo analítico focado nas dimensões de política fundamentais de projetos de instrumentos digitalizados, para explorar os efeitos da digitalização na escolha de instrumentos e linhas de política agrícola.

O uso de tecnologias digitais em políticas agrícolas segue sendo disperso (OECD, 2019). Não se sabe até que ponto seu potencial tem sido explorado e que questões emergem de sua aplicação (Klerkx *et al.*, 2019). A literatura menciona esporadicamente suportes digitais na implementação de políticas (p. ex., Coble *et al.*, 2018; Finger *et al.*, 2019; Zilberman; Millock, 1997). As vantagens esperadas do uso de tecnologia digital na política agrícola incluem maiores eficácia e eficiência, em razão de seu potencial para monitoramento e focalização (Weersink *et al.*, 2018) e uso mais eficiente de insumos agrícolas nocivos ao meio ambiente (Finger *et al.*, 2019). Ela também pode reduzir as assimetrias de informação e os custos de transação na implementação de políticas. No entanto, os instrumentos de política e as tecnologias de implementação atuais estão em grande medida alinhados, pois as escolhas e as linhas dos instrumentos de política agrícola estão restritas ao que é considerado factível em face dos discursos dominantes, das restrições políticas, dos recursos administrativos e da tecnologia (Erjavec; Erjavec, 2015; Henke *et al.*, 2018; McCann, 2013; Weersink *et al.*, 1998). Diante disso, em que medida as tecnologias digitais podem romper esse alinhamento e possibilitar outras opções e modelos de instrumentos de política agrícola? Literatura específica nesse tema recém começa a surgir, a partir de um relatório da OCDE sobre política agroambiental digital (OECD, 2019). Outras contribuições não abordam especificamente a tecnologia digital para a política agrícola, apenas apontando os méritos da digitalização para essa política, incluindo análise de *big data* e agricultura de precisão (Finger *et al.*, 2019; Mockel, 2015; Weersink *et al.*, 2018). Apesar da expectativa de que a digitalização venha a apoiar políticas mais focadas e orientadas a resultados, dada sua maior capacidade de monitoramento, a tecnologia digital não tem sido vinculada explicitamente a instrumentos e linhas de política específica.

Até o momento, não há pesquisa dedicada ao uso de tecnologia digital na política agrícola.

Buscamos preencher esta lacuna examinando como as tecnologias digitais podem afetar a política agrícola europeia em dimensões específicas, tais como graus de enfoque espacial e de distribuição de custos, e quais suas implicações para a escolha de instrumentos de política e suas linhas diretrizes. Nosso modelo analítico baseia-se em teorias econômicas e de análise de políticas. Partindo do trabalho pioneiro de Richards (2000), o modelo define um conjunto de dimensões que descreve de forma sistemática instrumentos de política agrícola e suas linhas, visando avaliar os efeitos da tecnologia digital. O conceito de dimensões de política possibilita uma diferenciação fundamental e abrangente entre os instrumentos de política e suas linhas, que vai além das abordagens de comando e controle *versus* abordagens baseadas em incentivos (Richards, 2000). Assim, cumpre o objetivo deste estudo, que é apoiar formuladores de políticas e investigadores na identificação das alternativas para projetos e linhas de política agrícola, oferecidas pela digitalização. Nossa análise conceitual é ilustrada com casos práticos da Europa e reflexões a partir da literatura.

Observamos que as principais tecnologias digitais melhoram o monitoramento e facilitam a análise integrada entre bancos de dados, quando possível, georreferenciados. Certas dimensões da política são particularmente afetadas: a digitalização pode (1) melhorar a aferição das correlações entre insumos agrícolas e resultados relevantes para a política, (2) aumentar a especificidade local das linhas de instrumentos e (3) afetar a capacidade de controle pelo governo das práticas no âmbito das unidades agrícolas quando da implementação de instrumentos de política. A digitalização torna mais atrativas as linhas de políticas que requerem altos níveis de informação, mas não privilegia instrumentos de política propriamente específicos, como subsídios ou impostos. Tanto as unidades agrícolas quanto os formuladores de políticas beneficiam-se de oportunidades de aprendizagem que podem vir a informar melhor a escolha e as linhas dos instrumentos. Nossa análise traz uma mensagem clara: a política agrícola digital não se limita a substituir as tecnologias analógicas usadas na política agrícola tradicional; antes, oferecem alternativas a ela, incluindo linhas inovadoras para enfrentar os desafios de forma mais eficaz.

Neste artigo, primeiro delimitamos o escopo de nossa análise e definimos o que entendemos por política agrícola digital. Em seguida, desenvolvemos nossa abordagem analítica, introduzindo as dimensões de políticas utilizadas para analisar os efeitos das tecnologias digitais sobre os instrumentos

de política agrícola. Após, apresentamos as implicações do uso de tecnologias digitais para essas dimensões, antes de passar para a discussão das principais conclusões e implicações para as políticas e a pesquisa.

Contexto e escopo da análise

Definimos política agrícola digital como o uso de tecnologia digital para geração, transmissão, processamento e análise de dados na formulação, definição da agenda, estabelecimento, implementação e avaliação das políticas. O advento dos computadores, na década de 1950, marcou um primeiro passo em direção à política agrícola digital. No entanto, o uso de tecnologias digitais esteve centrado no armazenamento de dados e, em certa medida, em avaliações de impacto *ex ante* por meio de programação linear (Jones *et al.*, 2017). Deve-se distinguir entre a mera *digitisation* de dados existentes e aquela que envolve geração de novos dados e processamento e análise em grandes quantidades, incluindo retroalimentação automatizada (Parviainen *et al.*, 2017). Embora a *digitisation* de dados existentes já esteja consolidada, prometendo reduções nos custos de transação sem mudanças sistêmicas, ela oferece poucos benefícios adicionais. A política agrícola digital, por outro lado, não se limita a substituir as tecnologias analógicas usadas na política tradicional (por exemplo, para documentar a adesão às normas). Ainda que os custos e riscos iniciais possam ser maiores, uma digitalização mais abrangente promete maiores benefícios, por proporcionar mudanças sistêmicas mais profundas e economias nos custos de transação, especialmente no longo prazo. Ela proporciona alternativas mais eficazes para enfrentar os desafios da política agrícola no que diz respeito aos objetivos das políticas ambiental e alimentar.

Utilizamos o conceito de ciclo de política (Figura 1) para melhor especificar nossa contribuição (Jann; Wegrich, 2007). Várias tecnologias digitais podem ser utilizadas nas diferentes fases do ciclo da política agrícola – na definição de agenda, delimitação de problemas, formulação e implementação da política, bem como em sua avaliação (ver OECD, 2019). A Figura 1 ilustra as possíveis aplicações de tecnologias digitais, como sensoriamento remoto, sensores, armazenamento e compartilhamento de dados em diferentes estágios do ciclo da política agrícola. Identificamos o estágio de formação e implementação do ciclo da política agrícola (Figura 1, em azul e negrito), focando em como a digitalização impacta as escolhas de instrumentos de política e suas linhas diretrizes. É nesse estágio que a formulação

e execução da política seleciona seus instrumentos e define suas linhas ao longo de dimensões distintas. No entanto, as interseções com o estágio de avaliação também devem ser consideradas. As tecnologias digitais, como *big data* e sensoriamento remoto, são importantes quando os resultados são monitorados para avaliar o sucesso da implementação (por exemplo, Bégué *et al.*, 2018; Sitokonstantinou *et al.*, 2018; Weersink *et al.*, 2018). Esse monitoramento retroalimenta diretamente o estágio de implementação, especialmente em termos de conformidade, efeitos sobre os resultados desejados e custos públicos e privados. Nosso foco analítico limita-se a isso. Contudo, as avaliações de curto prazo podem informar a delimitação de problemas e a definição da agenda no longo prazo e, assim, surgir em algum ponto da fase de formação e implementação (Giest, 2017; Hochtl *et al.*, 2016; OECD, 2019). Além disso, avanços digitais, como redes sociais, também influenciam a delimitação das políticas agroalimentares (Stevens *et al.*, 2016; 2018). Embora esses avanços sejam importantes para uma perspectiva mais ampla de desenho de políticas (Howlett, 2009; Schneider; Ingram, 1997; Schneider; Sidney, 2009), nossa análise se concentra na seleção e formulação de instrumentos nas fases de formação, implementação e avaliação do ciclo da política.

A atual política agrícola europeia utiliza instrumentos que cobrem toda uma gama de opções de políticas, desde o fornecimento de informações até a regulamentação e incentivos econômicos. Contudo, quando implementados, esses instrumentos são, com frequência, ineficazes no apoio à sustentabilidade ambiental, econômica e social (Navarro; Lopez-Bao, 2018; Pe'er *et al.*, 2019). A Política Agrícola Comum (PAC) da UE também é criticada pela falta de indicadores e sistemas que permitam monitoramento e execução eficazes (Pe'er *et al.*, 2020). A tecnologia digital pode aumentar a eficácia e a eficiência da política agrícola, apoiando instrumentos que visem objetivos espaciais e temporais precisos e possibilitando o desenho de instrumentos adaptados a características específicas de localidades e unidades agrícolas (van Tongeren, 2008). Tal tecnologia torna mais transparente os intercâmbios (*trade-offs*) e a cooperação (*jointness*) na produção, atenua a assimetria de informações, facilita o monitoramento e a busca de tecnologias e práticas, o enfoque espacial e o desenvolvimento de instrumentos e linhas de políticas alternativas (Jacobsen; Hansen, 2016; OECD, 2019). Assim, a análise da política agrícola digital deve decompor as políticas públicas em seus instrumentos específicos e em suas respectivas linhas e diretrizes. Desse modo, pode-se evidenciar como a tecnologia digital funciona ao combinar-se com diferentes instrumentos.



Figura 1 – Digitalização nos estágios gerais do ciclo de política agrícola, com exemplos de aplicações de tecnologias em itálico e foco analítico em azul e negrito.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As políticas também podem visar o uso de tecnologia digital em unidades agrícolas e em empresas do setor agroalimentar. Exemplos são as tecnologias de agricultura de precisão e de rastreabilidade de alimentos voltadas à melhoria da pegada ecológica e à segurança alimentar (Finger *et al.*, 2019). Os dados e resultados pertinentes às políticas produzidos por essas tecnologias podem retroalimentar o ciclo de política, também nas fases de implementação e avaliação. Nosso foco, contudo, recai no uso de tecnologias digitais para a formulação, implementação e avaliação de instrumentos de política e não no uso de tecnologias digitais em unidades agrícolas e empresas agroalimentares como alvos de políticas públicas. Nossa análise também se restringe à governança da produção agrícola.

Modelo analítico

Analisamos o uso de tecnologias digitais para apoiar instrumentos e modelos de políticas agrícolas em relação às suas dimensões, as quais descrevem analiticamente seus instrumentos e linhas diretrizes (ver Richards, 2000; Weersink; Wossink, 2005). As dimensões de políticas interconectadas definem funções específicas tanto do governo quanto da tecnologia digital. As funções relevantes do governo envolvem decisões sobre magnitude ou custos dos impactos ambientais, incluindo suas localizações. As funções da tecnologia digital, por sua vez, podem ser as de estimar magnitudes ou custos dos impactos ambientais e de identificar suas localizações.

Durante a formulação e implementação de políticas, os formuladores escolhem instrumentos e seus modelos de acordo com essas dimensões políticas. A digitalização afeta as dimensões das políticas, seja direta ou indiretamente (Figura 2). Nossa análise explora como as tecnologias digitais estão implicadas nessas dimensões interconectadas das políticas, que são resumidas nos parágrafos a seguir e analisadas em detalhes, com exemplos europeus, no Quadro 1.

A digitalização afeta diretamente três dimensões das políticas. Primeiro, um instrumento pode estar voltado aos insumos, como taxação sobre fertilizantes; a tecnologias e práticas, como zonas tampão; ou aos resultados, como cotas de emissão de nitratos. Além disso, os instrumentos podem ter como alvo subunidades agrícolas (por exemplo, cultivos) ou âmbitos mais amplos (por exemplo, toda uma unidade agrícola ou bacias hidrográficas e regiões) para alcançar um resultado correlato, como uma meta em relação ao teor de nitratos na água potável. Isso é descrito pela dimensão de *correlação insumo-resultado*, na qual a tecnologia digital pode gerar novos dados e estabelecer correlações mais fortes entre insumos, resultados e metas. Em segundo lugar, a digitalização afeta diretamente a dimensão da *especificidade local* das políticas, que é facilitada pelo georreferenciamento digital. Em terceiro lugar, os bancos de dados e o monitoramento digital afetam diretamente a dimensão da *flexibilidade intertemporal*, que envolve ajustes das quantidades reguladas e níveis de preços, impostos ou subsídios.

A tecnologia digital influencia de forma mais indireta as demais dimensões das políticas. Isso inclui a dimensão do *locus de discricionariedade* que captura o ganho ou perda de discricionariedade pelos agricultores em como cumprir ou obter um resultado, em relação à perda ou ganho de liberdade de autoridades, como governos ou indústrias alimentícias, para impor, em maior ou menor medida, quantidades, tecnologias e práticas às unidades

agrícolas. A dimensão de *preços vs. quantidades* define se um instrumento de política tem como alvo os preços, por exemplo, através da taxação de insumos agrícolas, ou as quantidades, através da regulação direta das quantidades desses insumos. Outra dimensão envolve a *distribuição de custos* entre governo, unidades agrícolas e outros atores. A dimensão do *grau de participação* descreve se os instrumentos e linhas afetam universalmente as unidades agrícolas. Podem incluir isenções e podem ser voluntários ou desincentivar ou incentivar as unidades agrícolas a participar. Os dados são armazenados e transferidos a domínios específicos, que vão do privado (por exemplo, unidades agrícolas, provedores de tecnologia ou processadoras de alimentos) ao público. Isso é descrito por meio da *dimensão domínio de dados*. Finalmente, a dimensão de *governança da informação* especifica se os instrumentos das políticas são usados para gerar informações sobre a agricultura e seus impactos, ao invés de intervir na produção e controlar os impactos diretamente. Nossa análise revela como a tecnologia digital afeta cada uma dessas dimensões interconectadas. Ao focar essas dimensões, a análise ajuda a obter inferências para futuras escolhas e desenho de instrumentos de política agrícola, considerando sua viabilidade jurídica e política.

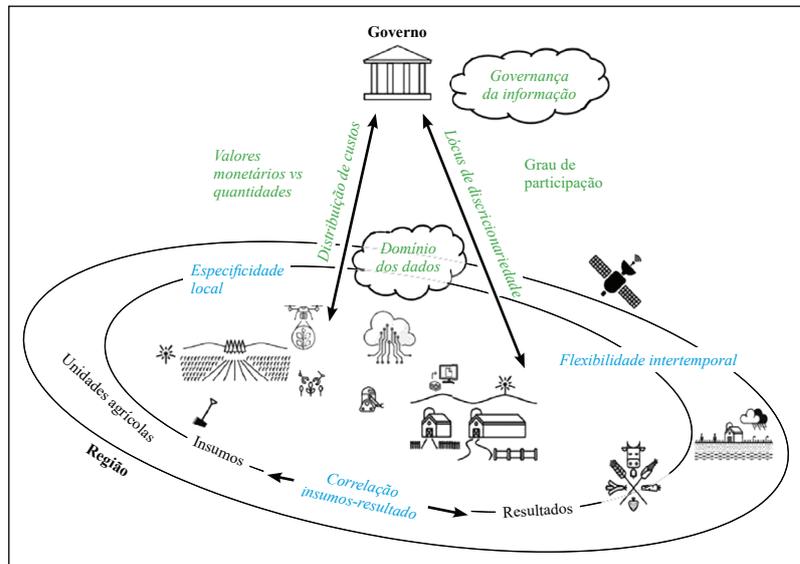


Figura 2 – Dimensões (em itálico) de instrumentos e linhas diretrizes de políticas agrícolas informatizadas. Em azul: dimensões diretamente afetadas pela tecnologia digital. Verde: dimensões indiretamente afetadas pela tecnologia digital.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Efeitos da digitalização sobre as dimensões da política agrícola

As dimensões das políticas servem como categorias analíticas que demarcam conceitualmente os potenciais efeitos da digitalização nas fases de formulação, implementação e avaliação do ciclo da política agrícola (Figura 1). Determinamos como a tecnologia digital poderia, teoricamente, afetar cada uma dessas dimensões e, quando possível, corroboramos esses achados com observações de casos empíricos documentados e da literatura de pesquisa. Os efeitos da digitalização sobre cada uma das dimensões de políticas e as principais implicações para a escolha e formulação dos instrumentos estão resumidos no Quadro 1, a seguir. Eles são analisados em mais detalhes nesta seção, que revela intercâmbios entre as dimensões, explorados de forma mais minuciosa nas seções subsequentes.

QUADRO 1
Digitalização de instrumentos e linhas de políticas em suas diferentes dimensões
nos estágios de formulação e implementação do ciclo de política agrícola

Dimensão	Definição	Exemplo	Principais implicações da digitalisation em dimensões específicas para a escolha de instrumentos e programas
Correlação entre insumos e resultados	Diferencia entre utilizar insumos de produção e resultados de produção como medidas de desempenho em unidades agrícolas ou em níveis superiores, como regiões. Indicadores de desempenho são insumos, tecnologias e práticas ou produtos que se correlacionam com os resultados ou objetivos da política.	Modelagem georreferenciada para estabelecer correlação entre dados digitais de áreas de cultivo intermediário de unidades agrícolas e a lixiviação de nitratos em bacias hidrográficas (resultado) por estação.	Identificação de correlações mais fortes entre insumos, tecnologias ou práticas, produtos e resultados da agricultura. Possibilidade de estabelecer resultados de políticas em âmbitos espaciais mais amplos, como bacias hidrográficas ou regiões, associados a insumos agrícolas correlacionadas a eles. Novas oportunidades para formulação de instrumentos que visem diretamente os resultados, ou indicadores estabelecidos apenas com tecnologia digital. Melhor orientação para agricultores sobre como alcançar resultados por meio de insumos, tecnologias e práticas.
Especificidade local	Problemas como erosão são específicos de determinadas localidades, enquanto outros, como emissão de gases de efeito estufa, são mais generalizados. O grau de especificidade local de um instrumento de política determina a utilidade de seus objetivos relacionados a características e problemas localizados.	Detentores de cotas negociáveis são digitalmente rastreados para identificar pontos críticos sujeitos a tetos específicos por localidade para quantidades totais.	Melhor enfoque espacial por meio de novas escolhas de instrumentos e programas com enfoque local mais desagregado. Agricultores respondem com mais eficiência aos instrumentos de política em todos os locais. Monitoramento de conformidade com foco em locais específicos. Facilitação da comparação localmente focada entre instrumentos de política e respostas agrícolas.

(Continua)

(Continuação)

Dimensão	Definição	Exemplo	Principais implicações da digitalisation em dimensões específicas para a escolha de instrumentos e programas
Flexibilidade intertemporal	Determina se o cumprimento da meta pode ser movido temporariamente, acumulado ou calculado pela média ao longo de um período, na expectativa de alcançá-lo a custos mais baixos no futuro ou para refletir as condições económicas e ambientais variáveis.	Banco de dados digital que registra os excedentes sazonais de nitrato de unidades agrícolas, cuja média é calculada ao longo de várias estações para cumprir com excedente máximo, ou permite acúmulo de excedentes a ser mitigado com tecnologia mais eficiente em uma data posterior.	Melhor rastreabilidade e execução do acúmulo intertemporal de cotas. Melhor ajuste intertemporal de subsídios, quantidades reguladas e impostos vigentes e novos a condições ambientais ou económicas variáveis. Aprendizagem cronológica por tentativa e erro da eficácia de programas e respostas da agricultura.
Dimensões da política afetadas indiretamente			
Locus de discricionariedade	Grau de controle do governo sobre as práticas e tecnologias daqueles que são alvo de instrumentos de política. Em um extremo: as práticas e tecnologias são prescritas e, portanto, a discricionariedade fica com o governo. No outro extremo: o governo fornece incentivos ou prescrições gerais para alcançar um resultado, deixando aos agricultores liberdade de escolha das práticas e tecnologias mais adequadas.	O governo monitora (digitalmente) os níveis de resíduos de pesticidas e fertilizantes nos corpos d'água e deixa a critério dos agricultores como reduzi-los; ou assume o arbítrio e zonas tampão nas unidades agrícolas para reduzir o influxo de pesticidas e fertilizantes nos corpos d'água e monitora sua manutenção, limitando assim a discricionariedade dos agricultores para usar abordagens alternativas.	Os agricultores podem usar seus próprios critérios sobre como alcançar uma meta da política, quando correlações entre insumos-resultado são fortes. Governo e empresas de alimentos ganham poder discricionário ao determinar como os agricultores devem buscar atingir uma meta, quando as correlações entre insumos-resultado são fortes. Agricultores perdem margem discricionária para esquivar-se ao regulamento, sonegar impostos ou reivindicar mais subsídios ou cotas do que o permitido. Governo, empresas alimentícias e agricultores perdem poder discricionário quando as tecnologias digitais tornam seu dados mais transparentes e acessíveis a provedores de tecnologia e modeladores de dados. <i>Lois</i> de discricionariedade difusos, quando completas tecnologias digitais interconectadas são utilizadas.

(Continua)

(Continuação)

Dimensão	Definição	Exemplo	Principais implicações da digitalisation em dimensões específicas para a escolha de instrumentos e programas
Valores monetários <i>versus</i> quantidades	Instrumentos que especificam um resultado quantitativo visam atingir uma meta sem conhecimento dos custos marginais. Instrumentos que definem valores monetários (impostos ou subsídios) para incentivar agricultores a alcançar um resultado sugerem uma aproximação eficiente ao invés do cumprimento de uma quantidade precisa.	O governo tributa o excedente de nitratos através de abordagem baseada em valores monetários para níveis estabelecidos por modelos digitais para estimativa de quantidades excedentes e as unidades agrícolas as reduzem a custos marginais; ou o governo estabelece cotas de nitratos por meio de modelos digitais para que as unidades agrícolas atendam exatamente à meta de quantidade estipulada.	A tecnologia digital pode apoiar igualmente instrumentos baseados em valores monetários e em quantidades. Melhores correlações entre os valores de impostos e subsídios e o resultado pretendido aumentam sua semelhança com os instrumentos baseados em quantidade. Novas oportunidades para a política vincular subsídios a requisitos regulatórios, por exemplo, reforço das condicionalidades para o recebimento de subsídios. Suporte digital para a negociação e alocação de cotas e permissões torna mais atraentes os instrumentos baseados em quantidades.
Distribuição de custos	Distribuição dos custos decorrentes de um instrumento de política entre entes públicos e privados. O cumprimento de uma meta incorre em custos para os produtores, enquanto o público ou outras partes envolvidas arcam com os custos (residuais).	O governo tributa os excedentes de nitrato com base em modelos digitais e unidades agrícolas os diminuem a taxas eficientes individualmente; ou o governo define critérios para o uso de nitratos pelos agricultores com base nos modelos, sem incentivos para economizar custos.	Mais margem para os agricultores minimizarem os custos de conformidade e redução quando a digitalisation dá suporte a novos instrumentos de cotas com base em valores monetários e negociáveis ou programas focados em resultados. Monitoramento mais rígido reduz a margem dos agricultores para redução de custos. Redução dos custos de busca, alocação, contratação e documentação de subsídios e cotas negociáveis. Maiores foco e adequação às especificidades de localização, tipo de unidade agrícola, e período reduzem os custos públicos, pois o orçamento público é aplicado de forma mais eficaz, assim como os custos sociais residuais, pois restam menos impactos indesejados.

(Continua)

(Continuação)

Dimensão	Definição	Exemplo	Principais implicações da digitalisation em dimensões específicas para a escolha de instrumentos e programas
Grau de participação	Os instrumentos de política podem ter como alvo todas as unidades agrícolas ou apenas alguns tipos ou número delas. Os agricultores podem aderir livremente a determinados instrumentos de política e, portanto, os graus de participação variam de acordo com a atratividade desses.	A triagem informatizada de pedidos de subsídios seleciona aquelas unidades agrícolas cuja participação é desejada ou cumpre um objetivo de distribuir um subsídio entre o maior número possível de unidades.	Aumento dos custos públicos de curto prazo de implementação de tecnologias digitais que diminuem no longo prazo. Melhor adequação espacial, por tipo de unidade agrícola, entre outras, diferencia a participação e implica uma participação menos abrangente. Novos requisitos para uso de tecnologias digitais podem limitar a participação entre os que carecem de recursos digitais. Novos programas que requerem a participação de várias unidades agrícolas se beneficiam de coordenação informatizada e de incentivo à colaboração.
Domínio de dados	Os dados para instrumentos de política podem ser gerados, armazenados e usados em domínios privados, governamentais, públicos ou comunitários.	Monitoramento de conformidade com base em dados de satélite de domínio público ou com base em sensores montados em um trator, de domínio privado.	Mais dados agrícolas privados passando para os domínios governamental, público, comunitário e privado de outros atores. Novos subsídios em troca da liberação de dados agrícolas privados.
Governança da informação	Se a política governamental está voltada à intervenção direta na agricultura visando uma meta, ou voltada a melhorar as informações relevantes para a realização da meta, como pesquisa, educação, facilitação da divulgação de informações de entes privados, ou incentivo não financeiros.	Divulgação dos volumes de fertilizantes usados pelas unidades agrícolas em website governamental para a redução do excesso de nitratos como um objetivo de política.	Novas oportunidades para prover informações relevantes ao alcance das metas políticas, ao invés de instrumentos focados diretamente nas metas. Uso de novos regulamentos e subsídios para divulgar informações digitalizadas de unidades agrícolas e outros atores. Novas políticas de incentivo com base em informações e aplicativos de gestão rural sejam estes complementares aos instrumentos ou independentes.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A determinação precisa dos resultados das políticas é desafiadora para a política agrícola (ver Erjavec; Erjavec, 2015). Normalmente, os instrumentos de política visam insumos, práticas e tecnologias ou a produção das unidades agrícolas ou de suas subunidades (por exemplo, cultivos) como representativas dos resultados de política desejados no âmbito da unidade agrícola. Insumos ou resultados em âmbitos espaciais mais amplos, como bacias hidrográficas ou regiões, raramente são definidos, mesmo que melhorem os serviços ambientais (Gawith; Hodge, 2019). Pagamentos por agrupamentos (Banerjee *et al.* 2017) ou por projetos de gestão coletiva da região (Prager, 2015) representam abordagens adequadas. Em tais contextos, a integração digital de fontes de dados associadas, incluindo monitoramento direto de resultados, pode estabelecer correlações mais próximas entre insumos e resultados em diferentes níveis. Em primeiro lugar, a tecnologia digital facilita um monitoramento mais eficiente das práticas que os instrumentos de política visam apoiar como representativas (*proxies*) dos serviços ambientais. Ela possibilita monitorar os resultados dos serviços ambientais de maneira mais direta, possivelmente até em tempo real, para melhor identificação das correlações insumo-resultado (OECD, 2019). Isso pode conduzir a novos *proxies* que, de outra forma, não poderiam ser determinados. Certas práticas agrícolas exigidas para receber pagamentos diretos sob as normas de ecocondicionalidade no PAC já podem ser detectadas remotamente (Sitokonstantinou *et al.*, 2018) ou registradas em bancos de dados (Bertoni *et al.*, 2018). O sensoriamento remoto da biodiversidade é uma fonte de grandes expectativas (Turner, 2014). O monitoramento digital de datas de corte, cultivo do solo ou zonas tampão parece ser a mais avançada aplicação de sensoriamento remoto, que pode se correlacionar fortemente com os objetivos de resultado (Bégué *et al.*, 2018; Kolecka *et al.*, 2018). A tecnologia padrão de satélite e de sistemas de informação geográfica (SIG) já pode auxiliar no monitoramento e controle da conversão de pastagens em terras aráveis, pois os resultados observados em níveis regionais estão fortemente correlacionados com a localização e época das práticas de conversão (D'Andrimont *et al.*, 2018). No entanto, o monitoramento eficiente de indicadores para serviços ambientais não fortalece as correlações entre insumo e resultado em si. Essas só são fortalecidas quando as unidades agrícolas aprendem as melhores práticas de manejo ao estabelecer vínculos causais entre níveis específicos de resultados e ações (Stupak *et al.*, 2019; Uthes; Matzdorf, 2013). As opções digitais incluem comparações cronológicas de tentativa e erro para locais específicos de

uma gama de fatores ambientais, usando sensores, sensoriamento remoto ou modelos de análise de *big data* (Weersink *et al.*, 2018; Wolfert *et al.*, 2017).

Em segundo lugar, a modelagem de resultados pode ser uma alternativa mais viável quando o monitoramento digital de resultados é difícil e, especialmente, quando os custos de medição são altos (Bartkowski *et al.*, 2019). Por exemplo, para implementar sua atual política sobre nitratos, a Dinamarca utiliza modelos que estimam resultados no nível das bacias hidrográficas e sua correlação com insumos em nível de unidades agrícolas com a ajuda de vários dados digitais. Isso inclui o Sistema Integrado de Administração e Controle (SIAC) da UE, estoque e movimentação de animais, vendas de fertilizantes, comércio de estrume e bancos de dados climáticos que são amplamente georreferenciados (DEPA, 2017, 2012; Gault *et al.*, 2015). No entanto, a Dinamarca ainda depende da inserção manual de registros de pulverização para monitorar os resultados da política de pesticidas (Kudsk *et al.*, 2018). Alternativamente, dados automatizados alimentados diretamente por equipamentos de aplicação de insumos na lavoura ou por aplicativos de manejo agrícola podem fornecer dados para estimar correlações com resultados em âmbitos espaciais muito reduzidos, mas também em âmbitos espaciais mais amplos, como bacias hidrográficas, incluindo insumos heterogêneos como esterco. Por sua vez, sistemas operacionais de gestão rural podem auxiliar essas unidades a gerenciar sua conformidade à legislação e a busca por metas de política mais amplas, como sustentabilidade (Knuth *et al.*, 2018; Lindblom *et al.*, 2017; Rose *et al.*, 2016). Em geral, eles podem importar os respectivos dados, mas, novamente, fortes correlações entre insumos e resultado são essenciais para apoiar a tomada de decisão com regras factíveis (Kuhlmann; Brodersen, 2001; Sørensen *et al.*, 2011).

Especificidade local – enfoque espacial

O rastreamento georreferenciado do uso de insumos, das tecnologias, práticas, produtos ou resultados agrícolas facilita o enfoque espacial por meio da escolha de instrumentos e linhas de políticas direcionadas a localidades específicas. Monitoramento digital e integração de bancos de dados são tecnologias cada vez mais aplicadas para a identificação de níveis de poluição e serviços ambientais de locais específicos e ajudam a implementar tanto instrumentos de políticas já estabelecidos como novos. A Dinamarca, por exemplo, integra vários bancos de dados, que são georreferenciados ou vinculados a determinadas unidades agrícolas, para determinar e contabilizar o uso de fertilizantes à base de nitratos e a conformidade às normas, por

localidade e por unidade agrícola, bem como para direcionar o controle a pontos específicos e ajustar medidas complementares (DEPA, 2017; Gault *et al.*, 2015). Da mesma forma, registros de pulverização de lavouras e diversos bancos de dados georreferenciados dão suporte ao cálculo dos níveis de carga de pesticidas por localidade e dos impactos correlatos até o nível distrital (Jørgensen *et al.*, 2019). Quando relacionados aos dados do ecossistema local, os pontos críticos de exposição e lixiviação de pesticidas podem ser determinados para informar os sistemas de alerta precoce e monitoramento da conformidade com outras regulamentações de pesticidas, como distâncias a corpos d'água e zonas tampão (MMAA, 2017). Dados georreferenciados gerados por aplicativos de manejo ou por máquinas agrícolas podem informar a avaliação de risco por localidade e a aplicação de insumos agrícolas de forma muito mais completa do que a simples *digitisation* hoje em uso. Novas linhas de instrumentos de política, como subsídios com enfoques locais, podem basear-se em tal tecnologia. Leilões virtuais, por exemplo, podem alocar cotas e subsídios de acordo com objetivos localmente definidos, refletindo serviços ambientais (por exemplo, Hanley *et al.*, 2012; Reeson *et al.*, 2011). Os efeitos da alocação e da negociação de cotas sobre a distribuição espacial dos impactos da agricultura podem então ser virtualmente monitorados para informar cotas máximas complementares ou tributação sobre áreas críticas de poluição.

O georreferenciamento geralmente facilita a comparação e o rastreamento em locais específicos de uma série de impactos ambientais para identificar pontos críticos e não críticos e informar a implementação e avaliação de políticas localizadas e a resposta dos agricultores, bem como sua conformidade à regulamentação. Contribui, também, para melhorar os âmbitos espaciais dos enfoques, da pequena a grande desagregação territorial. Por exemplo, o Sistema de Identificação de Parcelas de Terra (SIPT) da UE auxilia na detecção zoneada da conformidade e das áreas corretas, como parte do Sistema Integrado de Administração e Controle (SIAC), para pagamentos atuais do PAC (Devos *et al.*, 2018b; Tóth; Kučas, 2016). Combinado a dados adicionais e interfaces entre poder público e agricultores, o georreferenciamento poderia ser usado para projetar e promover novas medidas agroambientais voltadas a áreas específicas. Informações disponíveis na Internet e ferramentas de planejamento baseadas em sistemas de georreferenciamento (SIG) podem ajudar os agricultores a identificar as medidas agroambientais adequadas. Além disso, os provedores de pagamentos podem obter dados de unidades agrícolas e dos ecossistemas locais por meio de interfaces virtuais e da integração de bancos de dados. Assim, podem sugerir apenas aquelas

medidas adequadas a uma determinada área, ou que proporcionem o maior benefício a ela. Agricultores e seus consultores também podem apreender as respostas da política específicas para a área, ao identificar relações causais entre os resultados e as ações, com base na comparação entre fatores ambientais e agrícolas do local. Por fim, o monitoramento dos resultados, por exemplo, por meio de sensoriamento remoto, pode facilitar os pagamentos com base nos resultados de locais específicos.

Flexibilidade intertemporal – enfoque temporal

No que tange à dimensão da flexibilidade intertemporal, tecnologias digitais são usadas para rastrear resultados das políticas e seus catalizadores, facilitando a flexibilidade das respostas ao longo do tempo. Na Dinamarca, por exemplo, análise e modelagem computadorizadas, com base em bancos de dados integrados, já oferecem suporte a normas relativas a nitratos que mudam com o tempo – são alteradas anualmente, dependendo dos impactos medidos (DEPA, 2017; Gault *et al.*, 2015). O monitoramento em tempo real e análise apoiada em bancos de dados oferecem novas oportunidades que abrangem desde subsídios, alíquotas tributárias e cotas que mudam ao longo do tempo, até acúmulo de cotas ou atividades de conformidade intertemporais (ver, por exemplo, Cullenward *et al.*, 2019; Maron *et al.*, 2012). Isso tudo pode refletir resultados desejados que mudam com o tempo, incluindo serviços ambientais temporalmente contingentes. Por exemplo, o monitoramento virtual do uso de pesticidas ao longo dos anos pode informar medidas intertemporalmente flexíveis para reduzir as cargas de pesticidas, controlar a resistência a eles e vigiar seu uso (Kudsk *et al.*, 2018; Milner; Boyd, 2017). Além disso, a variação intertemporal do influxo de fertilizantes usados na agricultura para os corpos d'água pode ser monitorada em tempo real (Yeshno *et al.*, 2019). Por fim, monitoramento e análise virtuais podem embasar atividades de tentativa e erro ao longo do tempo e a comparação dos resultados, para facilitar a aprendizagem e, conseqüentemente, os ajustes no desenho dos instrumentos das políticas ao longo do tempo.

Lócus de discricionarietà – níveis de prescritividade

Correlações entre insumos e resultado fortalecidas por tecnologias digitais levam a duas opções principais: 1) o lócus de discricionarietà recai sobre os agricultores que podem aproveitar o aprimoramento das correla-

ções para cumprir com mais segurança as medidas visando resultados; ou 2) o locus de discricionariedade recai sobre quem tem poder de decisão (por exemplo governo ou empresa de alimentos), que se apoia nas correlações aprimoradas para buscar resultados com instrumentos focados nos insumos, tecnologias ou práticas correlacionadas àqueles.

A implementação de instrumentos de políticas que envolvam fluxos de informação das unidades agrícolas para as autoridades, visando sua conformidade e o monitoramento da política, reduz a discricionariedade dos agricultores, aumentando a das autoridades. Por exemplo, os novos satélites Sentinel melhoram a qualidade dos dados para monitorar os atuais pagamentos do PAC, o que aumenta o arbítrio do governo e de seus analistas (Devos *et al.*, 2019). As propostas para liberação automática de pagamentos, contanto que o SIAC confirme a elegibilidade (Deutscher Bauernverband, 2018), envolvem uma forma de governança algorítmica que reduz a discricionariedade dos agricultores. Eles passam a dispor de menor poder para assumir riscos morais contrários às normas, sonegar impostos ou reivindicar mais subsídios ou cotas do que as regras permitem, uma vez que a digitalização torna o monitoramento mais preciso e fortalece as correlações entre insumos e resultado. Novos estímulos comportamentais (p. ex., Just, 2017; Kuhfuss *et al.*, 2016) também podem reduzir a livre escolha dos agricultores em relação às autoridades e provedores de tecnologia, uma vez que a tecnologia digital torna mais transparentes as atividades agrícolas. Além disso, sistemas operacionais de gestão rural projetados para orientar a gestão das atividades agrícolas podem incluir o envio automatizado de dados do sistema de manejo agrícola ou do maquinário aos provedores de tecnologia, aumentando assim o arbítrio dos algoritmos e sistemas, em detrimento dos agricultores. Finalmente, a modelagem de resultados transfere a discricionariedade para os profissionais de modelagem, pois esses podem usar modelos e dados de diferentes modos, por exemplo, para relaxar ou restringir normas relativas a uso de nitratos, como ocorre atualmente na Dinamarca (Veihe *et al.*, 2006). Consequentemente, os instrumentos de políticas podem se tornar mais prescritivos, deixando aos agricultores menos capacidade discricionária para redução de custos e inovação. No entanto, a discricionariedade dos agricultores também pode aumentar, a partir de uma mudança para instrumentos que visem diretamente aos resultados, dando-lhes, então, mais margem de manobra para decidir sobre como perseguir os resultados.

Geralmente, as autoridades que dependem do fornecimento externo de sistemas, análise de dados e liberação de informações para perseguir objetivos de políticas perdem capacidade discricionária quando os provedores

de tecnologia são responsáveis pela instalação e manutenção da inteligência artificial e dos algoritmos envolvidos. O manejo de dados mais precisos pelas autoridades pode facilitar a implementação, mas sua discricionariedade diminui quando são obrigadas a usar um determinado sistema de apoio à decisão (Lemmen *et al.*, 2015). Da mesma forma, o uso de tecnologia digital para organizar procedimentos de licitação em leilões e para verificar as limitações, por exemplo, de novas medidas agroambientais, diminui o poder discricionário de uma autoridade para implementar acordos individuais com agricultores. Nesse contexto, uma maior descentralização do conhecimento agrícola e sistemas de assessoramento informatizados acarretam *loci* mais difusos de discricionariedade (Carolan, 2020; Fielke *et al.*, 2020).

Preços versus quantidades – incentivos financeiros ou regulação

Tanto os instrumentos baseados em preços, como impostos e subsídios, quanto os instrumentos baseados em quantidade, como padrões regulatórios e cotas negociáveis, beneficiam-se de correlações mais precisas entre insumos e resultado obtidas por meio de tecnologia digital. Os pagamentos atuais da PAC incluem condicionantes baseados em quantidades, como medidas de proteção ambiental apoiadas pelo SIAC, e tecnologias digitais complementares para determinar áreas e locais e para monitoramento, inclusive por sensoriamento remoto (Devos *et al.*, 2019; European Court of Auditors, 2020). Tecnologias similares, outros bancos de dados e plataformas *online* de negociação podem servir de suporte a cotas e permissões baseadas em quantidade. Elas expõem os preços através de uma alocação inicial, por meio de leilões e por meio da negociação, e ajudam a obter um nível de quantidade abrangente com o menor custo. A tecnologia digital tem efeitos similares quando melhora as correlações entre níveis de impostos e subsídios e os resultados pretendidos.

Os regimes de cotas costumavam ser populares na política agrícola, mas muitos, como as cotas de leite e açúcar, foram abandonados. Essas raramente envolviam comércio, ao passo que as cotas tarifárias seguiram sendo importantes para as importações e exportações agrícolas. Regimes mais recentes de cotas agrícolas regem os padrões ambientais de quantidades. No entanto, apesar de elevados requisitos na gestão de dados, eles podem surgir incentivos à fraude na alocação inicial e na negociação, como ocorreu com o caro sistema holandês de contabilidade de cotas de esterco, o Minas (Oenema, 2004; van Grinsven *et al.*, 2016; Backus, 2017), que integrava, de forma abrangente, fertilizantes e auditorias financeiras (Breembroek *et al.*, 1996).

Da mesma forma, não houve progresso na integração da agricultura ao comércio de carbono, porque os custos de transação são considerados altos (p. ex., Ancev, 2011; Grosjean *et al.*, 2018).

A correta execução e, portanto, monitoramento, são particularmente críticos para cotas negociáveis, pois o comércio leva a mudanças de propriedade e a soma das cotas deve atender ao padrão geral. Tecnologias digitais podem apoiar-se em bancos de dados sobre insumos ou produção de unidades agrícolas específicas para fundamentar direitos adquiridos e reduzir a assimetria de informações. No entanto, a principal diferença que trazem é o rastreamento das licenças negociadas e o monitoramento de seu uso. Isso é útil em mercados de licenças que apresentam transações frequentes. A Holanda, por exemplo, estabeleceu um novo modelo de Avaliação Anual do Ciclo de Nutrientes (AACN) para contabilização de cotas de esterco, o qual é de aplicação mais simples do que o Minas e oferece menos chances de fraude, embora tenha um escopo mais limitado (Aarts *et al.*, 2015). Portanto, as tecnologias digitais que dão suporte a esquemas de cotas negociáveis podem ser adaptadas de acordo com as experiências. Tecnologias digitais também podem monitorar os efeitos da alocação e do comércio de cotas na distribuição espacial dos impactos da agricultura para informar outras medidas políticas. De forma mais geral, instrumentos baseados em preços e em quantidades vêm se tornando menos diferenciáveis e mais interligados à medida que a tecnologia digital gera e processa informação relevante para sua implementação.

Distribuição de custos – alocação de custos dos instrumentos de política

A digitalização pode afetar a magnitude e a distribuição de custos dos instrumentos das políticas. Custos de transação incorridos pelo governo, agricultores e empresas, custos de conformidade e de redução de contaminantes pelas unidades agrícolas, despesas do orçamento público e custos residuais privados e públicos decorrentes dos impactos da agricultura são particularmente relevantes. Em geral, as tecnologias digitais afetam vários custos simultaneamente.

A digitalização afeta as quantidades e a distribuição dos custos de transação dos instrumentos de política. Seja qual for o instrumento, as autoridades podem se beneficiar de custos de transação mais baixos, mesmo quando os novos modelos se tornam mais detalhados e, especialmente, quando as tecnologias digitais oferecem economias de escala e de escopo. Relatórios automáticos podem reduzir os custos de transação tanto para as unidades agrí-

colas quanto autoridades, se os custos de investimento em tecnologia forem suficientemente baixos. Os sistemas digitais de alocação, monitoramento e rastreamento de cotas negociáveis e subsídios podem reduzir os custos das unidades agrícolas, principalmente quando as transações são frequentes. Por exemplo, o modelo AACN para contabilização de cotas de esterco agrícola na Holanda promete ser simples (Aarts *et al.*, 2015). Os agricultores encontram custos mais baixos do que com o complexo sistema Minas (Breembroek *et al.*, 1996), que acarretou altos custos de monitoramento e fiscalização para as unidades agrícolas e autoridades públicas (Oenema, 2004; van Grinsven *et al.*, 2016; Backus, 2017). Contudo, a mera *digitisation* dos dados existentes não leva necessariamente à redução geral dos custos. Por exemplo, embora os novos satélites Sentinel melhorem os dados para monitorar pagamentos da PAC, unidades agrícolas e autoridades verão seus custos administrativos aumentarem se os procedimentos tradicionais de execução, controle, pagamento ou sanção não forem substituídos por um novo sistema baseado na prevenção do não cumprimento e interação *ex ante* com as unidades agrícolas (Devos *et al.*, 2019). Isso se deve à necessidade de garantir a exatidão dos dados (Devos *et al.*, 2018b; 2018a). Em geral, os impactos das tecnologias digitais sobre os custos de transação dos instrumentos de política são circunstanciais e dependem da tecnologia, e das características das transações e dos modelos de política.

A digitalização também pode ter impactos significativos sobre outros custos. Tributos, regulamentos e cotas negociáveis especificamente aplicados a determinados locais e períodos fazem com que nem todas as unidades agrícolas arquem com os custos de conformidade e de redução de poluentes, levando assim a uma redução geral dos custos privados. O direcionamento digitalizado de subsídios em lugar de sua disseminação ampla também reduz despesas do orçamento público (Carpentier *et al.*, 1998) e os sistemas de classificação digital facilitam a alocação mais focada de subsídios, otimizando a execução dos orçamentos públicos. Os provedores de pagamentos podem obter dados sobre as unidades agrícolas e os ecossistemas locais por meio de interfaces *online* e da integração de bancos de dados, o que lhes permite propor apenas as medidas que ofereçam o maior benefício ou correspondam às preferências dos agricultores. Essas tecnologias também podem reduzir os custos de busca e solicitação de subsídios pelas unidades agrícolas (ver Varian, 2009). Por fim, o monitoramento digital que dá suporte a novas linhas de instrumentos baseadas em resultados confere liberdade aos agricultores para implantar medidas que minimizem o custo da respectiva conformidade ou redução de impactos ambientais em todas as políticas. Na

Dinamarca, por exemplo, os níveis de nitratos digitalmente determinados para as estações de cultivo deixam hoje aos agricultores menos margem de manobra para economia de custos do que faria um imposto sobre saldos de nitrato. Normalmente, mais prescrições governamentais implicam menos discricionariedade aos agricultores e, portanto, menos oportunidades de redução de custos privados e de inovação.

Os serviços virtuais de consultoria e extensão rurais também têm implicações de custo. Eles podem proporcionar aos agricultores informações e intercâmbio interativo a custos possivelmente menores (Fielke *et al.*, 2020; Klerkx *et al.*, 2019; Science Hub, 2019), além de oferecer mais oportunidades a eles para acessar informações. Alternativas com menores custos de acesso à informação e novos dados e análises podem reduzir os custos de conformidade às políticas e de alcance dos objetivos privados. No entanto, a distribuição de custos também depende de tais sistemas serem publicamente disponibilizados, serem de código aberto, ou de basearem-se em modelos comerciais privados.

Grau de participação – níveis de envolvimento

Diversos mecanismos podem afetar o grau em que as unidades agrícolas participam da política digital. A varredura de banco de dados digitais e georreferenciamento podem identificar pontos críticos de impacto ou ajudar a determinar locais, unidades agrícolas ou empresas a montante e a jusante da cadeia de suprimento a serem visadas por um determinado instrumento de política. Incentivos à participação incluem benefícios das tecnologias digitais para a gestão das unidades agrícolas, como redução dos custos de transação ou correlações úteis entre insumos e resultados da lavoura até o nível regional. No entanto, o aumento da transparência das operações agrícolas pode ter um efeito desencorajador. A digitalização pode reduzir os custos de busca e solicitação de subsídios e facilitar seu direcionamento e adaptação. Isso pode tanto restringir como facilitar a participação. A digitalização individual pode acarretar custos de transação mais elevados, especialmente para unidades agrícolas que carecem de estrutura e habilidades informáticas (Fielke *et al.*, 2019). Além disso, os custos iniciais de tecnologia e aprendizagem podem ser elevados, e inibir a participação, especialmente se não houver alternativas analógicas as quais recorrer e incentivos ou exigência universal para o uso de tecnologia digital.

A cocriação e a coplanificação da tecnologia digital podem reduzir as barreiras ao uso dessas tecnologias no contexto agrícola. Tais barreiras in-

cluem diferenças regionais, falta de interoperabilidade entre dados, pouco reflexo dos resultados desejados, falta de adaptação das práticas de negócios ou a provisão ineficaz de conteúdo digital (p. ex., Ayre *et al.*, 2019; Eastwood *et al.*, 2017b; Ingram; Gaskell, 2019). Cocriação e coplanificação podem encorajar agricultores a participar quando a participação não é obrigatória. Além disso, tecnologias digitais como redes sociais e nuvens podem apoiar a cocriação e coplanificação de plataformas virtuais voltadas à implementação de instrumentos de política agrícola. Contudo, a participação nesta fase (ver Ortner *et al.*, 2016) só aumenta se os objetivos predefinidos na plataforma corresponderem aos objetivos dos agricultores (ver Knox *et al.*, 2019). Essas tecnologias incluem acesso a dados georreferenciados sobre insumos e resultados e a suas correlações em nível regional. Podem reduzir os custos de coordenação e incentivar a participação em linhas de políticas voltadas a iniciativas coletivas, como pagamentos por aglomerações (Banerjee *et al.*, 2017) ou gestões colaborativas, que visam resultados no nível regional (Prager, 2015). As unidades agrícolas podem ter seus custos reduzidos e os instrumentos de política ter sua eficiência ampliada pela facilitação da participação pelos meios eletrônicos.

Domínio de dados – propriedade e transparência dos dados

Quando estabelecimentos rurais participam em políticas agrícolas digitais isso normalmente implica em que uma maior quantidade dos seus dados seja transferida para domínios públicos ou governamentais. A transparência dessas unidades aumenta com o registro e o monitoramento de conformidade em relação à política e avaliação de seus resultados. Normalmente, a discricionariedade dos domínios que recebem dados aumenta, enquanto a dos domínios que fornecem dados diminui, se esses não puderem restringir a disponibilidade dos mesmos (ver van der Burg *et al.*, 2019). Por exemplo, a modelagem de resultados de políticas transfere o domínio sobre os dados aos modeladores. Se os regulamentos de proteção de dados o permitem, as autoridades já podem conectar os bancos de dados agrícolas, como o SIAC, a bancos de dados ambientais para examinar a legalidade das práticas de manejo da terra (Nitsch *et al.*, 2010). Novos dados de domínios privados podem ser adicionados, como na Dinamarca, onde as unidades agrícolas registram o uso de pesticidas em um banco de dados *online* que está vinculado a um banco de dados de comercialização de pesticidas e ao SIAC. Isso é possibilitado por uma legislação que fomenta o domínio público de dados (Dinamarca, 2013). Quando esses dados fluem automaticamente de

um aplicativo de gestão rural ou de uma máquina agrícola, o seu domínio é transferido para o governo e, possivelmente, também para os provedores de tecnologia (Carolan, 2018; Kamilaris *et al.*, 2017; Sykuta, 2016). Por fim, provedores de pagamento por serviços ambientais e outros subsídios podem obter dados sobre unidades agrícolas e ecossistemas por meio de interfaces *online*, sensoriamento remoto e integração entre bancos de dados, transferindo, desse modo, os dados para seu próprio domínio, que pode ser privado, governamental ou público.

Instrumentos de política voltados à provisão de informações, como a atual exigência de uso de bancos de dados virtual sobre a movimentação animal, transferem os dados para o domínio governamental e, possivelmente, para domínios públicos e privados, como empresas de alimentos. Da mesma forma, dados e *software* de código aberto que auxiliam na tomada de decisões de autoridades e agricultores implicam mudanças no domínio dos dados e, conseqüentemente, também na transparência e na responsabilidade dos envolvidos (Attard *et al.*, 2015; Kamilaris *et al.*, 2017). À medida que a digitalização amplia a diversidade no conhecimento agrícola e nos sistemas de consultoria rural, o domínio dos dados parece tornar-se mais difuso, ao passo que, em geral, aumenta a transparência da atividade agrícola (Fielke *et al.*, 2020). Por outro lado, os agricultores também ganham acesso a domínios de dados governamentais, públicos e privados quando utilizam aplicativos ou serviços públicos de monitoramento. Assim, a digitalização de instrumentos de política pode implicar mudanças multidirecionais em domínios de dados.

Governança da informação – enfoque na provisão de informação

Medidas informacionais geralmente complementam os instrumentos de política agrícola, por exemplo, para informar sobre as políticas. Elas podem também ter abordagens distintas, emitidas por meio de instrumentos que visam a provisão de informações. Isso inclui normas que estipulam a divulgação de informações por meio de rótulos de alimentos ou comunicados públicos, subsídios para pesquisas, educação, aconselhamento e campanhas de persuasão moral por meio de contratos ou fornecidas diretamente pelo governo (Howlett, 2009; Richards, 2000; Vedung, 1998). As tecnologias digitais podem reduzir os custos de provisão de informações. Portanto, um governo pode ampliar instrumentos para incluir a regulação ou incentivo da divulgação e uso de informações, ao invés de intervir diretamente nas operações agrícolas e nos mercados. Isso significa que o governo abre mão

de parte do seu arbítrio, enquanto o domínio dos dados se abre e torna mais transparente.

A geração e o fornecimento de dados digitais sobre atributos e impactos relevantes da agricultura para as políticas podem fazer parte de governos abertos e de iniciativas de negócios (Attard *et al.*, 2015). As ferramentas de comunicação digital podem aumentar o impacto dessas iniciativas e efetivar a transparência, especialmente quando promovem o envolvimento da comunidade e ações de atores privados e públicos em apoio aos objetivos das políticas. Isso pode envolver novos modelos de negócios que utilizam informação digital para disponibilizar serviços agrícolas que apoiem os objetivos das políticas, como a oferta de serviços de proteção de safras em substituição aos pesticidas (Chappell *et al.*, 2019).

Tecnologias digitais podem apoiar medidas informacionais para facilitar a implementação de outros instrumentos e em áreas onde as alternativas falham. O incentivo baseado em informação (Just, 2017) complementa muitas abordagens informacionais de políticas, quando integrado às tecnologias digitais usadas para implementar instrumentos de política agrícola. Isso inclui instruções aos agricultores ou etapas de interação *online* entre esses e as autoridades. Aplicativos *online* de planejamento e informação podem, por exemplo, tanto promover medidas de política como incentivar agricultores a determinados contratos de subsídio (Kuhfuss *et al.*, 2016). Além disso, serviços de consultoria e extensão rural digitais podem usar várias vias para prover informações aos agricultores e facilitar a troca interativa visando atingir mais unidades agrícolas e de forma mais eficaz (Fielke *et al.*, 2020; Klerkx *et al.*, 2019; Science Hub, 2019).

As tecnologias digitais incluem sistemas de gestão rural para apoiar agricultores ou seus consultores no alcance dos objetivos de política ou para gerenciar negócios em consonância com metas de sustentabilidade mais amplas e facilitar a conformidade (p. ex., Lindblom *et al.*, 2017; Rose *et al.*, 2016). Entre os exemplos estão o sistema de gestão de fertilizantes agrícolas, FaST, sob consideração para a implementação da Diretiva sobre Nitratos da UE (European Commission, 2019), ou um *software* de auditoria dos níveis de carbono do solo (de Gruijter *et al.*, 2019). Pesquisas na Alemanha têm sugerido a necessidade de sistemas integrados de gestão agrícola para auxiliar a conformidade com os esquemas de regulamentação e certificação, mas os sistemas hoje disponíveis não são suficientemente amigáveis (Knuth *et al.*, 2018). Eles teriam de ser, também, compatíveis com as tecnologias e capacidades dos consultores que desempenham essas funções e precisam de uma atualização de suas competências individuais (ver Eastwood *et al.*, 2017a,

2017b; Leventon *et al.*, 2017). Conseqüentemente, a digitalização pode ter um efeito marcante na governança da informação, embora seus efeitos na implementação de instrumentos de política não sejam claros.

Perspectivas da política agrícola digital

A partir dos impactos da digitalização identificados nas dimensões das políticas, emerge uma perspectiva mais geral relativa aos seus impactos em instrumentos genéricos de política agrícola e em seus desenhos alternativos. Nossa abordagem analítica não permite uma avaliação sistemática dos aspectos positivos e negativos desses efeitos. No entanto, ela sugere possibilidades que vão além da mera *digitisation* que apenas reduz custos de transação dos instrumentos de política agrícola. E o que é mais importante, os novos dados e tecnologias digitais ampliam as oportunidades para aprimorar a estimativa das correlações entre insumos e resultado, alcançar especificidade local e apoiar a flexibilidade intertemporal na implementação desses instrumentos. Isso aumenta a precisão e, portanto, a eficácia da política agrícola: podem ser usadas linhas orientadas a resultados com foco espacial e que reflitam a dinâmica intertemporal. Eles são complementados com novas opções de desenho vinculadas às demais dimensões da política:

- *O lócus de discricionabilidade pode ser transferido aos agricultores para aumentar tanto sua adesão à política como a eficiência dos instrumentos.*
- *A distribuição de custos entre unidades agrícolas e orçamento público pode ser mais bem alinhada para aumentar a eficiência e a aceitação da política pelos agricultores e pelo público.*
- *Preços podem substituir os requisitos de quantidade em maior medida com vistas a melhorar a eficiência alocativa entre as unidades agrícolas e entre comerciantes.*
- *Graus de participação em instrumentos de política podem refletir pontos críticos e não críticos de externalidades agrícolas e oportunidades de colaboração até em âmbitos regionais.*
- *O domínio de dados pode ser transferido para o domínio público para aumentar a transparência das atividades agrícolas e do abastecimento de alimentos.*
- *A governança da informação pode complementar os instrumentos e estender as opções de linhas de política por meio da divulgação de informações, aconselhamento e incentivo.*

Há uma série de implicações para as escolhas na categorização tradicional de instrumentos entre regulamentação, incentivos e provisão de informações. A digitalização representa a geração de novos dados e análise integrada que fortalece as correlações entre insumos e resultado e oferece novas opções orientadas para os resultados. Os resultados podem ser regulados para se adequarem a locais específicos, tipos de unidades agrícolas, bem como períodos no tempo. Um monitoramento mais eficiente reduz a assimetria de informação entre agricultores e autoridades, mudando assim a distribuição de discricionariedade e de custos. Para os governos, isso poderia tornar mais atrativa a regulamentação. No entanto, tais benefícios recaem também nos instrumentos econômicos, que podem ser mais atrativos do que a regulamentação, pois geralmente possibilitam aos agricultores mais flexibilidade na alocação de seus recursos e nos níveis de participação. A digitalização também pode facilitar o intercâmbio entre coletivos de participantes, como unidades agrícolas que precisam coordenar o alcance de resultados no nível regional, com base nas correlações entre insumos e resultado nos níveis individuais. Subsídios e impostos tornam-se atrativos para o governo quando a digitalização estabelece correlações próximas entre níveis de preços e quantidades nos resultados.

A redução dos custos de transação propiciada pela digitalização aumenta a atratividade de instrumentos intensivos em informação, como cotas negociáveis. Além disso, os subsídios acarretam oportunidades de pagar aos agricultores por dados agrícolas transferidos de seu domínio. Tais dados podem, então, ser usados para aprendizado com foco em resultados, possivelmente envolvendo inteligência artificial, para melhorar o desenho de qualquer instrumento. Por fim, a provisão de informações e o incentivo de base informacional podem se tornar instrumentos cada vez mais úteis, uma vez que a digitalização afeta a dimensão da governança da informação e põe em questão a dos dados. Apoiando-se em dados digitais e opções tecnológicas avançadas, ela pode até mesmo substituir instrumentos que intervêm diretamente para obter resultados semelhantes, por exemplo, quando a transparência significa que os agricultores estão expostos a sanções sociais ou podem ser convencidos diretamente pela informação.

Esta perspectiva analítica mostra como as escolhas e o desenho de instrumentos de política agrícola podem se desenvolver na era da digitalização ao longo de dimensões políticas interligadas. Duas dimensões-chave emergem como essenciais para a concepção de futuros instrumentos de política agrícola: as *correlações entre insumos e resultado*, ou seja, a certeza de atingir um resultado de política desejado em um determinado âmbito (por exemplo, a

unidade agrícola ou a região) e o *locus de discricionariiedade*, ou seja, se são os agricultores ou as autoridades quem escolhe as ações específicas necessárias para alcançar um resultado desejado. A interconexão entre essas dimensões implica importantes compensações. As políticas agrícolas atuais raramente visam aos resultados diretamente. Isso tende a deixar aos agricultores pouca liberdade de ação para desenvolver respostas individuais, reduzindo os incentivos à inovação, especialmente quando elas regulamentam ou subsidiam tecnologias e práticas. No entanto, independentemente da tecnologia digital de monitoramento, ela deve correlacionar-se com o resultado desejado, os insumos e as práticas de gestão das unidades agrícolas-alvo. Caso contrário, essas unidades irão lutar para produzir o resultado desejado.

A tecnologia digital auxilia na estimativa dessas correlações, mesmo quando estas incluem fontes não pontuais e metas de resultados em nível regional. Teoricamente, o foco em resultados deixa a maior parte do arbítrio aos agricultores (desenho de política focada em resultados na Figura 3), mas sua discricionariiedade é limitada quando a tecnologia digital estabelece correlações próximas com insumos, tecnologias e práticas. Isso implica negociações, visto que as autoridades poderiam igualmente passar a estabelecer prescrições de insumos, tecnologia ou de práticas, ganhando assim maior arbítrio em detrimento das unidades agrícolas (desenho de política focada na prática na Figura 3). Consequentemente, surgem duas opções genéricas e divergentes: (1) a política agrícola poderia fazer uso de linhas apoiadas em tecnologia digital e focadas em resultados, com o *locus de discricionariiedade* no nível da unidade agrícola. Exemplos podem incluir cotas alocadas e comercializadas *online* ou medidas agroambientais voluntárias monitoradas a partir da perspectiva de níveis superiores ao da unidade agrícola. (2) A política agrícola poderia adotar linhas focadas nas práticas. Aqui, o *locus de discricionariiedade* recai sobre as autoridades, pois essas prescrevem e controlam os insumos e o manejo agrícola. Exemplos são regulamentação e impostos com regras e padrões específicos, possivelmente com foco local para problemas de fontes difusas. No entanto, à medida que diminui o arbítrio dos agricultores, seu incentivo para inovar e se adaptar às circunstâncias locais não observáveis pelas autoridades também enfraquece. A agricultura pode tornar-se mais padronizada e menos resiliente. Embora nossa análise seja agnóstica a esse respeito, é essencial que seja dada atenção adequada a esses dilemas e riscos mais amplos que extrapolam as dimensões e estágios do ciclo de políticas que cobrimos aqui. A próxima seção trata das implicações e riscos gerais da tecnologia digital, que afetam as escolhas e o desenho de instrumentos de política agrícola.

Discussão

Nossos achados mostram como a tecnologia digital pode influenciar as escolhas e especificações dos instrumentos de política agrícola. Os grandes avanços na gestão da informação digital sugerem que os futuros instrumentos de política agrícola estarão mais profundamente permeados por tecnologia digital e mais informatizados. No entanto, todos os atuais instrumentos de política agrícola podem se beneficiar das tecnologias digitais. Elas fazem a maior diferença no estágio de implementação, quando a digitalisation não apenas apoia o enfoque, a adaptação, o monitoramento e o controle, mas também gera novos dados que aprimoram a tecnologia de avaliação de políticas estabelecidas. A seguir, discutimos quatro aspectos críticos de nossos achados.

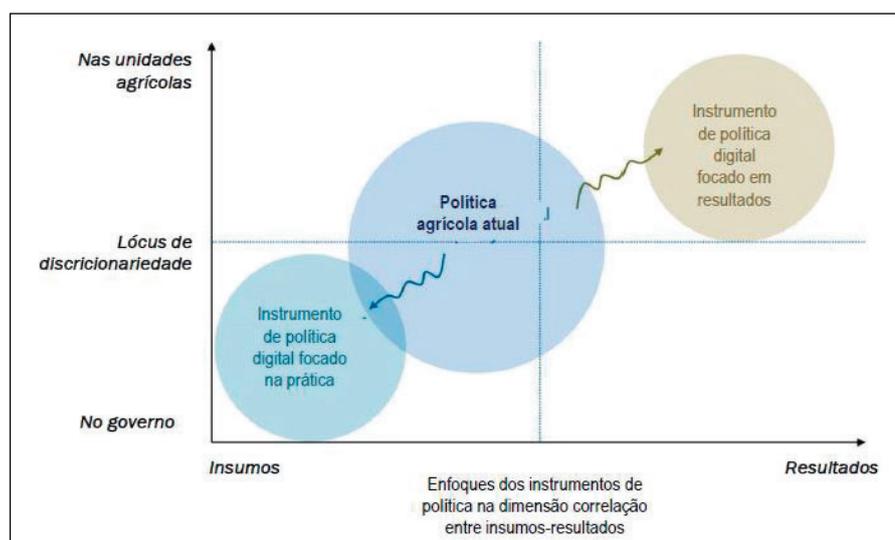


Figura 3 – Opções de política agrícola digital nas principais dimensões da política: insumos ou resultados como alvos de instrumentos de política em relação ao locus de discricionariedade que varia de autoridades governamentais a agricultores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em primeiro lugar, a digitalização da política agrícola depende do uso de tecnologias digitais no setor agrícola. Barreiras importantes para o engajamento em tecnologias digitais incluem capacidades de agricultores e autoridades, existência de alternativas analógicas, desenvolvimento orientado

ao usuário e isenções ou apoio a pequenas propriedades rurais. Além disso, custos e *loci* de discricionariedade podem afetar a participação dos agricultores nos programas digitais de política agrícola, pois sua distribuição pode ser considerada injusta e certos grupos de agricultores podem ser excluídos. As unidades agrícolas também podem não ter a capacidade de responder com eficiência a linhas de política focadas em resultados. Tudo isso reflete o papel da exclusão digital na política agrícola e os riscos associados a acesso à tecnologia, propriedade de dados, controle e segurança (Klerkx; Rose, 2020; Regan, 2019; Rotz *et al.*, 2019). No entanto, os incentivos à participação podem ser incorporados como requisitos de regulações e subsídios para uso de tecnologias digitais.

Da mesma forma, programas de tributação, regulamentação e cotas negociáveis podem incorporar benefícios das tecnologias digitais, por exemplo, para a gestão da atividade agrícola. Incluir subsídios ao uso de tecnologias digitais nos instrumentos de política agrícola também aumenta as chances de participação. Serviços de consultoria, tradicionalmente, auxiliam os agricultores na implementação das políticas e na participação (p. ex., Leventon *et al.*, 2017; Sutherland *et al.*, 2013). Quando a digitalização implica foco em resultados nos níveis de unidade agrícola e regional, podem ser necessários consultores para facilitar a ação coletiva (p. ex., Prager, 2015; Westerink *et al.*, 2017) e fazer a mediação entre a tecnologia digital e as unidades agrícolas e suas práticas (Eastwood *et al.*, 2019; Lundstrom; Lindblom, 2018). Embora a tecnologia digital possa melhorar os serviços de consultoria, os custos podem aumentar e a tecnologia, como instruções *online*, por exemplo, substituir o aconselhamento interpessoal (Rijswijk *et al.*, 2019; van der Burg *et al.*, 2019). Isso pode transferir a discricionariedade para o governo e os provedores de tecnologia. Aqui, mas também em outros casos para além dos sistemas de consultoria, a discricionariedade pode transferir-se para a governança algorítmica, com consequências questionáveis (Klerkx *et al.*, 2019). Portanto, deve-se tomar cuidado para que agricultores, consultores e autoridades conservem sua liberdade para desenvolver soluções criativas e inovar, ao invés de estabelecer dependência de trajetória da digitalização da política agrícola (ver Flyverbom; Murray, 2018; Sætra, 2019).

A dependência de trajetória digital pode limitar a capacidade de agricultores, consultores e governo de responder a desafios imprevistos, tornando-os menos resilientes. Portanto, um problema estratégico da política é o de decidir sobre investir em tecnologias específicas para instrumentos específicos que possibilitem a diversidade e o aprendizado, ou investir em tecnologias menos avançadas, mas com propósitos mais amplos. Como no caso

da agricultura digitalizada, as inovações digitais de apoio à política agrícola podem ser abordadas com pesquisa e inovação responsáveis, para prevenir tais riscos e eliminar dilemas (p. ex., Bronson, 2018; Klerkx; Rose, 2020; Rose; Chilvers, 2018).

Em segundo lugar, nossa análise supôs objetivos e desafios de política agrícola persistentes na Europa, como assimetrias de informação e fontes difusas de impactos da agricultura. Até certo ponto, a digitalização enfrenta esses desafios, especialmente quando facilita o aprendizado e a adaptação. No entanto, novos objetivos podem surgir a partir da avaliação e reestruturação com base em novas informações obtidas por meios digitais. A digitalização da política agrícola também pode desencadear novos desafios, como o de garantir que os atores envolvidos sejam capazes de utilizar tecnologia digital relevante (Regan, 2019), a interoperabilidade (Phillips *et al.*, 2019; Tóth; Kučas, 2016) e a ética de dados, incluindo questões de privacidade (Sykuta, 2016; van der Burg *et al.*, 2019).

Em terceiro lugar, provisão, compartilhamento e análise de dados, incluindo seus benefícios e riscos conexos, são essenciais para o estabelecimento de instrumentos de política agrícola digitais. Aplicativos digitais que tornam mais transparentes as unidades agrícolas e os ambientes em que elas operam costumam afetar o domínio dos dados. Os dados envolvidos deixam de ser privados. Alguns se tornam públicos, enquanto outros são acessados ou mantidos por diferentes domínios privados, como provedores de tecnologia, ou se tornam descentralizados na forma de cadeias de dados bloqueadas (*blockchains*) (Miles, 2019; Rotz *et al.*, 2019). A relutância em abrir domínios de dados agrícolas pode, então, restringir a participação em instrumentos de política agrícola digitais. Portanto, escopo para automação teria mais probabilidade de surgir quando os dados e a legislação sejam inequívocos, o que pode implicar a exclusão de certos dados e práticas agrícolas (Miles, 2019). Além disso, a análise de dados agrícolas, ambientais e comportamentais georreferenciados, gerados e vinculados por meio de tecnologias digitais, poderia apoiar a reformulação de instrumentos e a seleção de novos instrumentos a fim de gerar conhecimento comportamental e transformar comportamentos (Varian, 2014; Zuboff, 2019). Isso pode apoiar a regulamentação preventiva (Yeung, 2018). Nesse ponto, medidas voluntárias oferecem oportunidades para gerar dados que os agricultores relutam em fornecer. Os dados podem ajudar a formar modelos que auxiliem na avaliação de medidas, *ex ante*, para informar as escolhas e linhas de instrumentos de política agrícola. Deve-se dar a devida atenção a esses usos da tecnologia digital na política agrícola. A facilitação do aprendizado da

política por meios digitais é importante para os agricultores, por exemplo, quando as linhas de política voltadas para resultados lhes dão mais liberdade para desenvolver práticas e tecnologias que geram resultados com eficiência.

Em quarto lugar, ao examinar o contexto político da escolha e da formulação do instrumento submetido à digitalização, surge a questão de como a viabilidade jurídica e política se desenvolverá. O escopo para subsídios de digitalização deve ser comparativamente grande, uma vez que os instrumentos de política desse tipo seriam politicamente mais viáveis quando agricultores e outros atores envolvidos com a política se beneficiam com a digitalização. No entanto, sem um marco legislativo de apoio, a viabilidade jurídica pode ser muito circunstancial. Oportunidades para avaliação em tempo real e repercussão na estrutura e formação poderiam ser exploradas em maior grau no ciclo de políticas, como já se observa em padrões de pesquisa *online* (Schaub *et al.*, 2020). Um resultado poderia ser o entrelaçamento complexo entre formulação da política e digitalização, uma vez que os atores e sistemas da política se tornam dependentes do fornecimento e análise de dados informatizados. Essa complexidade aumenta ainda mais quando a política agrícola se torna integrada aos sistemas de governança alimentar (De Schutter *et al.*, 2020), como está sendo tentado atualmente com a estratégia *Farm-to-Fork* da UE (Schebesta; Candel, 2020). Em vez da agricultura, o governo também poderia regular as empresas e certificadoras da cadeia alimentar, que podem gerar amplos dados sobre as unidades agrícolas e controlá-las por meio de contratos privados (Poppe *et al.*, 2013). No entanto, tais abordagens podem aumentar as lacunas que separam governo e sociedade da agricultura e colocar em risco a adaptabilidade (Miles, 2019). Basicamente, a disponibilidade de informação determina se o governo poderá atribuir e adjudicar direitos e deveres ou se será obrigado a agir como um regulador que define e impõe metas (Richards, 2000). O primeiro papel pode ser atraente para um governo, no qual a digitalização reduz muito os custos de governar os direitos de propriedade entre as partes envolvidas. O governo também pode adicionar regras de responsabilização quando for possível estabelecer valores representativos dos danos às partes. A tecnologia digital pode facilitar a adjudicação ao reduzir os custos de análise dos respectivos casos envolvidos e de estabelecimento de tais valores. Essas possibilidades implicam a transformação do papel fundamental do governo de regulador para facilitador da resolução de conflitos agrícolas.

Conclusões

Todo o potencial das tecnologias digitais sob consideração para a política agrícola está longe de ser plenamente explorado. Localizamos a digitalização de instrumentos no ciclo de política e desenvolvemos um modelo analítico focado nas dimensões da política que podem ser afetadas pela digitalisation nas fases de formulação e implementação. A análise subsequente revela os efeitos da digitalização sobre as principais dimensões dos instrumentos e linhas de política agrícola. Ela fornece uma panorama das escolhas e das linhas de instrumentos de política agrícola informatizados, que pode ajudar os formuladores de políticas a identificar instrumentos e linhas de política alternativos que surgem com a digitalisation.

O modelo analítico poderia ser aplicado a instrumentos de política digitais em outros campos de políticas públicas. Enfatizamos as implicações teóricas em lugar de examinar evidências empíricas sobre a política agrícola digital. Os exemplos europeus a que nos referimos são ilustrativos e não exaustivos. Os problemas enfrentados pela agricultura e os objetivos da política agrícola podem ser diferentes no futuro e em outros ambientes. No entanto, nossa análise conclui que a tecnologia digital geralmente aumenta a precisão dos instrumentos, principalmente porque pode melhorar a identificação de fortes correlações entre insumos e resultado, assim como a especificidade local. Outros efeitos podem ser ambíguos, por exemplo, os relacionados à discricionariedade de autoridades e agricultores, à distribuição de custos e ao domínio de dados.

Duas mensagens importantes para a política emergem de nosso estudo. Em primeiro lugar, uma vez que a agricultura é multifacetada, os instrumentos de política continuarão sendo variados e a digitalisation não favorece instrumentos de política específicos. No entanto, ela aumenta suas escolhas de linhas e facilita a adaptação de instrumentos a problemas agrícolas específicos, aumentando assim a eficiência e eficácia da política agrícola. Portanto, governos e grupos de interesse poderiam buscar estrategicamente opções de linhas informatizadas para aumentar a legitimidade das políticas, mesmo que sejam inicialmente baseadas em projetos-piloto. Em segundo lugar, as vantagens mais imediatas se materializam especialmente em monitoramento e controle, nos quais a digitalisation reduz os custos de transação. No entanto, esse tipo de *digitisation* não é um que abarque toda a política agrícola, a qual depende de partes interessadas informaticamente competentes e de instituições adequadas. O envolvimento ativo no planejamento da digitalisation é essencial, porque os benefícios de uma política agrícola informatizada só

podem ser realizados por meio do aprendizado e da capacitação de todo o setor. O governo poderia usar pesquisa séria e abordagem inovativa para integrar perspectivas de alimentos, agricultura e outras partes interessadas para desenvolver inovações adequadas de política agrícola digital. A digitalisation também pode ajudar nisso, pois os dados digitais disponíveis sobre insumos, produtos e resultados de instrumentos de política podem ampliar o escopo para testar diferentes opções de programas. A experimentação e o aprendizado estratégico são necessários, especialmente quando a política agrícola digital passa da intervenção direta na produção agrícola para a governança da informação, em que o governo apenas usa, prescreve ou incentiva a tecnologia digital para gerar e divulgar informações agrícolas.

Uma questão crucial, tanto para pesquisa quanto para política, é se agricultores, grupos de interesse e governo estão dispostos e são capazes de lidar com as ramificações de uma digitalisation mais abrangente da política agrícola. Isso dependeria das capacidades e da vontade do governo, dos agricultores e de outros atores envolvidos para usar as tecnologias digitais. Depende também da evolução das futuras demandas e digitalisation da política. A previsão sistemática de futuros plausíveis da política agrícola informatizada é, portanto, necessária.

Referências

- AARTS, H. F. M.; DE HAAN, M. H. A.; SCHRODER, J. J.; HOLSTER, H. C.; DE BOER, J. A.; REIJS, J.; OENEMA, J.; HILHORST, G. J.; SEBEK, L. B.; VERHOEVEN, F. P. M.; MEERKERK, B. Quantifying the environmental performance of individual dairy farms - the Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA). Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2015, p. 377-380.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPE, A. A survey on information and communication technologies for industry 4.0: state-of-the-art, taxonomies, perspectives, and challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, n. 21, p. 3.467-3.501, 2019. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2938259>.
- ANCEV, T. Policy considerations for mandating agriculture in a greenhouse gas emissions trading scheme. *Appl. Econ. Perspect. Policy*, n. 33, p. 99-115, 2011. <https://doi.org/10.1093/aep/ppq031>.
- ATTARD, J.; ORLANDI, F.; SCERRI, S.; AUER, S.; 2015. A systematic review of open government data initiatives. *Gov. Inf. Q.*, n. 32, p. 399-418. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.07.006>.
- AYRE, M.; MC COLLUM, V.; WATERS, W.; SAMSON, P.; CURRO, A.; NETTLE, R.; PASCHEN, J.-A.; KING, B.; REICHEL, N. Supporting and practising digital innovation with advisers in smart farming. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.* p. 90-91, 2019, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.05.001>.

- BACKUS, G. B. C. *Manure management: an overview and assessment of policy instruments in the Netherlands* (Working Paper No. 122924). World Bank Group, Washington, DC. 2017.
- BANERJEE, S.; CASON, T. N.; DE VRIES, F. P.; HANLEY, N. Transaction costs, communication and spatial coordination in payment for ecosystem services schemes. *J. Environ. Econ. Manage.*, n. 83, p. 68-89, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.12.005>.
- BARTKOWSKI, B.; DROSTE, N.; LIEß, M.; SIDEMO-HOLM, W.; WELLER, U.; BRADY, M. V. Implementing result-based agri-environmental payments by means of modelling. ArXiv190808219. *Econ Q-Fin.*, 2019.
- BÉGUÉ, A.; ARVOR, D.; BELLON, B.; BETBEDER, J.; DE ABELLEYRA, D.; FERRAZ, P. D. R.; LEBOURGEOIS, V.; LELONG, C.; SIMOES, M.; VERÓN, R. S. Remote sensing and cropping practices: a review. *Remote Sens*, n. 10, p. 99, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>.
- BERTONI, D.; ALETTI, G.; FERRANDI, G.; MICHELETTI, A.; CAVICCHIOLI, D.; PRETOLANI, R. Farmland use transitions after the CAP greening: a preliminary analysis using Markov chains approach. *Land Use Policy*, n. 79, p. 789-800, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.012>.
- BREEMBROEK, J. A.; KOOLE, B.; POPPE, K. J.; WOSSINK, G. A. A. Environmental farm accounting: the case of the Dutch nutrients accounting system. *Agric. Syst.*, n. 51, p. 29-40, 1996. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)00020-6](https://doi.org/10.1016/0308-521X(95)00020-6).
- BRONSON, K. Smart farming: including rights holders for responsible agricultural innovation. *Technol. Innov. Manag. Rev.*, n. 8, p. 7-14. 2018. <https://doi.org/10.22215/timreview/1135>.
- CAROLAN, M. Automated agrifood futures: robotics, labor and the distributive politics of digital agriculture. *J. Peasant Stud.*, n. 47, p. 184-207, 2020. <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1584189>.
- CAROLAN, M. "Smart" farming techniques as political ontology: access, sovereignty and the performance of neoliberal and not-so-neoliberal worlds. *Sociol. Rural.*, n. 58, 745-764, 2018. <https://doi.org/10.1111/soru.12202>.
- CARPENTIER, C. L.; BOSCH, D. J.; BATIE, S. S. Using spatial information to reduce costs of controlling agricultural nonpoint source pollution. *Agric. Resour. Econ. Rev.*, n. 27, p. 72-84, 1998. <https://doi.org/10.1017/S1068280500001714>.
- CHAPPELL, T. M.; MAGAREY, R. D.; KURTZ, R. W.; TREXLER, C. M.; PALLIPARAMBIL, G. R.; HAIN, E. F. Perspective: service-based business models to incentivize the efficient use of pesticides in crop protection. *Pest Manag. Sci.*, n. 75, p. 2.865-2.872, 2019.
- COBLE, K. H.; MISHRA, A. K.; FERRELL, S.; GRIFFIN, T. Big data in agriculture: a challenge for the future. *Appl. Econ. Perspect. Policy*, n. 40, p. 79-96, 2018. <https://doi.org/10.1093/aep/pxp056>.
- CULLENWARD, D.; INMAN, M.; MASTRANDREA, M. D. Tracking banking in the Western Climate Initiative cap-and-trade program. *Environ. Res. Lett.*, n. 14, 2019, 124037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab50df>.

- D'ANDRIMONT, R.; LEMOINE, G.; VAN DER VELDE, M. Targeted grassland monitoring at parcel level using sentinels, street-level images and field observations. *Remote Sens.*, n. 10, p. 1.300, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10081300>.
- DE GRUIJTER, J. J.; WHEELER, I.; MALONE, B. P. Using model predictions of soil carbon in farm-scale auditing - a software tool. *Agric. Syst.*, n. 169, p. 24-30, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.11.007>.
- DE SCHUTTER, O.; JACOBS, N.; CLEMENT, C. A “Common Food Policy” for Europe: how governance reforms can spark a shift to healthy diets and sustainable food systems. *Food Policy*, 2020101849. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101849>.
- DEPA. *Nitrate Action Programme* [WWW Document]. Nitrate Action Programme. 2017. Disponível em: <https://eng.mst.dk/trade/agriculture/nitrates-directive/nitrate-action-programme>. Acesso em: 20 jun 2019.
- DEPA. *Danish Nitrate Action Programme 2008-2015*. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency, 2012.
- DEUTSCHER BAUERNVERBAND. Agrarantrag 4.0 – Auf dem Weg vom Agrarantrag zur digitalen Check-Liste [WWW Document]. bauernverband.de. 2018. Disponível em: <http://www.bauernverband.de/agrariantrag-der-zukunft>. Acesso em: 21 jun. 2019.
- DEVOS, W.; LEMOINE, G.; LOUDJANI, P.; MILENOV, P.; SIMA, A. *Towards Sentinel based monitoring of the Common Agricultural Policy area subsidies*. Presented at the Living Planet Symposium, Milan, 2019.
- DEVOS, W.; LEMOINE, G.; MILENOV, P.; FASBENDER, D. *Technical guidance on the decision to go for substitution of OTSC by monitoring (No. EUR 2937)*. Joint Research Centre/Publications Office of the European Union, Ispra, 2018a.
- DEVOS, W.; LEMOINE, G.; MILENOV, P.; FASBENDER, D.; WIRNHARDT, C.; SIMA, A.; GRIFFITHS, P. *Second discussion document on the introduction of monitoring to substitute OTSC: rules for processing applications in 2018-2019 (No. EUR 29369 EN)*. Joint Research Centre/Publications Office of the European Union, Ispra, 2018b.
- DINAMARCA. Ministério do Meio Ambiente e Alimentação. Danish National Actionplan on Pesticides 2017-2021 – Facts, Caution and Consideration. Copenhagen: Ministry of Environment and Food of Denmark, 2017.
- DINAMARCA. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Alimentação, Agricultura e Pesca, 2013. Protect Water, Nature and Human Health – Pesticides Strategy 2013-2015. Disponível em: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_sup_nap_dan_en.pdf. Acesso em: 7 jul 2019.
- EASTWOOD, C.; AYRE, M.; NETTLE, R.; DELA RUE, B. Making sense in the cloud: farm advisory services in a smart farming future. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100298 <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.004>.
- EASTWOOD, C.; KLERKX, L.; NETTLE, R. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *J. Rural Stud.*, n. 49, p. 1-12, 2017a. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008>.

- EASTWOOD, C. R.; RUE, B. T. D.; GRAY, D. I. Using a “network of practice” approach to match grazing decision-support system design with farmer practice. *Anim. Prod. Sci.*, n. 57, p. 1.536-1.542, 2017b. <https://doi.org/10.1071/AN16465>.
- ERJAVEC, K.; ERJAVEC, E. “Greening the CAP” – Just a fashionable justification? A discourse analysis of the 2014–2020 CAP reform documents. *Food Policy*, n. 51, p. 53-62, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.12.006>.
- EU SCIENCE HUB. Monitoring Agricultural ResourceS (MARS) [WWW Document]. *EU Sci. Hub - Eur. Comm.*, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>. Acesso em: 26 set. 2019.
- EUROPEAN COMMISSION. A New Tool to Increase the Sustainable Use of Nutrients Across the EU [WWW Document]. *Eur. Comm. - Eur. Comm.*, 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/news/new-tool-increase-sustainable-use-nutrients-across-eu-2019-feb-19_en. Acesso em: 29 out. 2019.
- EUROPEAN COURT OF AUDITORS. *Using New Imaging Technologies to Monitor the Common Agricultural Policy: Steady Progress Overall, But Slower for Climate and Environment Monitoring* (No. Special Report 04/2020). Luxembourg: European Court of Auditors, 2020.
- FIELKE, S. J.; GARRARD, R.; JAKKU, E.; FLEMING, A.; WISEMAN, L.; TAYLOR, B. M. Conceptualising the DAIS: implications of the ‘digitalisation of agricultural innovation systems’ on technology and policy at multiple levels. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100296. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.002>.
- FIELKE, S. J.; TAYLOR, B.; JAKKU, E. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: a state-of-the-art review. *Agric. Syst.*, n. 180, 2020, 102763 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102763>.
- FINGER, R.; SWINTON, S. M.; BENNI, N. E.; WALTER, A. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment. *Ann. Rev. Resour. Econ.*, n. 11, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>.
- FLYVERBOM, M.; MURRAY, J. Datastructuring – organizing and curating digital traces into action. *Big Data Soc.*, n. 5, 2018. <https://doi.org/10.1177/2053951718799114>.
- GAULT, J.; GUILLET, M.; GUERBER, F.; HUBERT, C.; PAULIN, F.; SOULIÈ, M. C. *Analysis of Implementation of the Nitrates Directive by Other Member States of the European Union* (No. 010012–01/14123). Paris: Ministry of Ecology, Sustainable Development and Forestry & Ministry of Agriculture, Agri-food and Forestry, 2015.
- GAWITH, D.; HODGE, I. Focus rural land policies on ecosystem services, not agriculture. *Nat. Ecol. Evol.*, n. 3, p. 1.136-1.139, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0934-y>.
- GUEST, S. Big data for policymaking: fad or fast-track? *Policy Sci.*, n. 50, p. 367-382, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11077-017-9293-1>.
- GRETHE, H. The economics of farm animal welfare. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, n. 9, p. 75-94, 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053419>.
- GROSJEAN, G.; FUSS, S.; KOCH, N.; BODIRSKY, B. L.; CARA, S. D.; ACWORTH, W. Options to overcome the barriers to pricing European agricultural emissions. *Clim. Policy*, n. 18, p. 151-169, 2018. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1258630>.

- HANLEY, N.; BANERJEE, S.; LENNOX, G. D.; ARMSWORTH, P. R. How should we incentivize private landowners to 'produce' more biodiversity? *Oxf. Rev. Econ. Policy*, n. 28, p. 93-113, 2012. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grs002>.
- HENKE, R.; BENOS, T.; FILIPPIS, F. D.; GIUA, M.; PIERANGELI, F.; D'ANDREA, M. R. P. The new common agricultural policy: how do member states respond to flexibility? *JCMS J. Common Mark. Stud.*, n. 56, p. 403-419, 2018. <https://doi.org/10.1111/jcms.12607>.
- HOCHTL, J.; PARYCEK, P.; SCHÖLLHAMMER, R. Big data in the policy cycle: policy decision making in the digital era. *J. Organ. Comput. Electron. Commer.*, n. 26, p. 147-169, 2016. <https://doi.org/10.1080/10919392.2015.1125187>.
- HOWLETT, M. Government Communication as a Policy Tool: a Framework for Analysis. *Can. Polit. Sci. Rev.*, n. 3, p. 23-37, 2009.
- INGRAM, J.; GASKELL, P. Searching for meaning: co-constructing ontologies with stakeholders for smarter search engines in agriculture. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.006>.
- JACOBSEN, B. H.; HANSEN, A. L. Economic gains from targeted measures related to non-point pollution in agriculture based on detailed nitrate reduction maps. *Sci. Total Environ.*, n. 556, p. 264-275, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.103>.
- JANN, W.; WEGRICH, K.; 2007. Theories of the policy cycle. In: FISCHER, F.; MILLER, G. J.; SIDNEY, M. S. (ed.). *Handbook of Public Policy Analysis: Theory, Politics, and Methods*. Boca Raton: CRC Press, p. 43-62.
- JONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T.; FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSEN, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agricultural systems modeling. *Agric. Syst.*, n. 155, p. 240-254, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014>.
- JØRGENSEN, L. N.; KUDSK, P.; ØRUM, J. E. Links between pesticide use pattern and crop production in Denmark with special reference to winter wheat. *Crop Prot.*, n. 119, p. 147-157, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.024>.
- JUST, D. R. The behavioral welfare paradox: practical, ethical and welfare implications of nudging. *Agric. Resour. Econ. Rev.*, n. 46, p. 1-20, 2017. <https://doi.org/10.1017/age.2017.2>.
- KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *Int. J. Inf. Manage.*, n. 52, 2020, 101967. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>.
- KAMILARIS, A.; KARTAKOULLIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Comput. Electron. Agric.*, n. 143, p. 23-37, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>.
- KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>.

- KLERKX, L.; ROSE, D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Glob. Food Secur.*, n. 24, 2020, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.
- KNOX, J.; WILLIAMSON, B.; BAYNE, S. Machine behaviourism: future visions of 'learnification' and 'datafication' across humans and digital technologies. *Learn. Media Technol.*, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1623251>.
- KNUTH, U.; AMJATH-BABU, T. S.; KNIERIM, A. Adoption of Farm Management Systems for Cross Compliance – an empirical case in Germany. *J. Environ. Manage.*, n. 220, p. 109-117, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.087>.
- KOLECKA, N.; GINZLER, C.; PAZUR, R.; PRICE, B.; VERBURG, P. H. Regional scale mapping of grassland mowing frequency with sentinel-2 time series. *Remote Sens.*, n. 10, p. 1.221, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10081221>.
- KUDSK, P.; JØRGENSEN, L. N.; ØRUM, J. E. Pesticide load – a new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy*, n. 70, p. 384-393, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010>.
- KUHFUSS, L.; PREGET, R.; THOYER, S.; HANLEY, N.; COENT, P. L.; DÉSOLÉ, M. Nudges, social norms, and permanence in agri-environmental Schemes. *Land Econ.*, n. 92, p. 641-655, 2016. <https://doi.org/10.3368/le.92.4.641>.
- KUHLMANN, F.; BRODERSEN, C. Information technology and farm management: developments and perspectives. *Comput. Electron. Agric.*, n. 30, p. 71-83, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00157-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00157-5).
- LEMMEN, C.; VAN OOSTEROM, P.; BENNETT, R. The land administration domain model. *Land Use Policy*, n. 49, p. 535-545, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.01.014>.
- LEVENTON, J.; SCHAAL, T.; VELTEN, S.; DANHARDT, J.; FISCHER, J.; ABSON, D. J.; NEWIG, J. Collaboration or fragmentation? Biodiversity management through the common agricultural policy. *Land Use Policy*, n. 64, p. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.009>.
- LINDBLOM, J.; LUNDSTROM, C.; LJUNG, M.; JONSSON, A. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. *Precis. Agric.*, n. 18, p. 309-331, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9491-4>.
- LUNDSTROM, C.; LINDBLOM, J. Considering farmers' situated knowledge of using agricultural decision support systems (AgriDSS) to Foster farming practices: the case of CropSAT. *Agric. Syst.*, n. 159, p. 9-20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.10.004>.
- MARON, M.; HOBBS, R. J.; MOILANEN, A.; MATTHEWS, J. W.; CHRISTIE, K.; GARDNER, T. A.; KEITH, D. A.; LINDENMAYER, D. B.; MCALPINE, C. A. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies. *Biol. Conserv.*, n. 155, p. 141-148, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.003>.
- MCCANN, L. Transaction costs and environmental policy design. *Ecol. Econ.*, n. 88, p. 253-262, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.12.012>.

- MILES, C. The combine will tell the truth: on precision agriculture and algorithmic rationality. *Big Data Soc.*, n. 6, 2019. <https://doi.org/10.1177/2053951719849444>.
- MILNER, A. M.; BOYD, I. L. Toward pesticide vigilance. *Science*, n. 357, p. 1.232-1.234, 2017. <https://doi.org/10.1126/science.aan2683>.
- MÖCKEL, S. “Best available techniques” as a mandatory basic standard for more sustainable agricultural land use in Europe? *Land Use Policy*, n. 47, p. 342-351, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.04.021>.
- NAVARRO, A.; LOPEZ-BAO, J. V. Towards a greener common agricultural policy. *Nat. Ecol. Evol.*, n. 2, p. 1.830–1.833, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0724-y>.
- NITSCH, H.; OSTERBURG, B.; LAGGNER, B.; ROGGENDORF, W. *Wer schützt das Grünland? – Analysen zur Dynamik des Dauergrünlands und entsprechender Schutzmechanismen. Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse.* Presented at the 50. Jahrestagung der GEWISOLA, 2010, p. 11.
- OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. *Digital Opportunities for Better Agricultural Policies.* Paris: OECD Publishing, 2019.
- OENEMA, O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture. *J. Anim. Sci.*, n. 82, p. E196-E206, 2004. https://doi.org/10.2527/2004.8213_supplE196x.
- ORTNER, E.; MEVIUS, M.; WIEDMANN, P.; KURZ, F. Design of interactional decision support applications for e-Participation in smart cities. *Int. J. Electron. Gov. Res.*, n. 12, p. 18-38, 2016. <https://doi.org/10.4018/IJEGR.2016040102>.
- PARVIAINEN, P.; TIHINEN, M.; KÄÄRIÄINEN, J.; TEPPOLA, S. TACKLING The digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice. *Int. J. Inf. Syst. Proj. Manag.*, n. 5, p. 63-77, 2017.
- PE’ER, G.; BONN, A.; BRUELHEIDE, H.; DIEKER, P.; EISENHAUER, N.; FEINDT, P. H.; HAGEDORN, G.; HANSJÜRGENS, B.; HERZON, I.; LOMBA, A.; MARQUARD, E.; MOREIRA, F.; NITSCH, H.; OPPERMANN, R.; PERINO, A.; RODER, N.; SCHLEYER, C.; SCHINDLER, S.; WOLF, C.; ZINNGREBE, Y.; LAKNER, S. Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People Nat.*, n. 2, p. 305-316, 2020. <https://doi.org/10.1002/pan3.10080>.
- PE’ER, G.; DICKS, L. V.; VISCONTI, P.; ARLETTAZ, R.; BALDI, A.; BENTON, T. G.; COLLINS, S.; DIETERICH, M.; GREGORY, R. D.; HARTIG, F.; HENLE, K.; HOBSON, P. R.; KLEIJN, D.; NEUMANN, R. K.; ROBIJNS, T.; SCHMIDT, J.; SHWARTZ, A.; SUTHERLAND, W. J.; TURBÉ, A.; WULF, F.; SCOTT, A. V. EU agricultural reform fails on biodiversity. *Science*, n. 344, p. 1.090-1.092, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1253425>.
- PE’ER, G.; ZINNGREBE, Y.; MOREIRA, F.; SIRAMI, C.; SCHINDLER, S.; MÜLLER, R.; BONTZORLOS, V.; CLOUGH, D.; BEZAK, P.; BONN, A.; HANSJÜRGENS, B.; LOMBA, A.; MÖCKEL, S.; PASSONI, G.; SCHLEYER, C.; SCHMIDT, J.; LAKNER, S. A greener path for the EU Common Agricultural Policy. *Science*, n. 365, p. 449-451, 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aax3146>.

- PHILLIPS, P. W. B.; RELF-ECKSTEIN, J.-A.; JOBE, G.; WIXTED, B. Configuring the new digital landscape in western Canadian agriculture. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100295. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.001>.
- POPPE, K. J.; WOLFERT, S.; VERDOUW, C.; VERWAART, T. Information and communication technology as a driver for change in agri-food chains. *EuroChoices*, n. 12, p. 60-65, 2013. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12022>.
- PRAGER, K. Agri-environmental collaboratives for landscape management in Europe. *Curr. Opin. Environ. Sustain. Govern Transform.*, n. 12, p. 59-66, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.10.009>.
- REESON, A. F.; RODRIGUEZ, L. C.; WHITTEN, S. M.; WILLIAMS, K.; NOLLES, K.; WINDLE, J.; ROLFE, J. Adapting auctions for the provision of ecosystem services at the landscape scale. *Ecol. Econ. Special Section – Govern. Commons: Learning Field Laborat. Experiments*, n. 70, p. 1.621-1.627, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.03.022>.
- REGAN, A.; 2019. “Smart farming” in Ireland: a risk perception study with key governance actors. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>.
- RICHARDS, K. R. Framing Environmental Policy Instrument Choice. *Duke Environ. Law Policy Forum*, n. 10, p. 221-285, 2000.
- RIJSWIJK, K.; KLERKX, L.; TURNER, J. A. Digitalisation in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: initial understandings and emerging organisational responses to digital agriculture. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, p. 90-91, 2019, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100313>.
- ROSE, D. C.; CHILVERS, J. Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Front. Sustain. Food Syst.*, n. 2, 2018 <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>.
- ROSE, D. C.; SUTHERLAND, W. J.; PARKER, C.; LOBLEY, M.; WINTER, M.; MORRIS, C.; TWINING, S.; FFOULKES, C.; AMANO, T.; DICKS, L. V. Decision support tools for agriculture: towards effective design and delivery. *Agric. Syst.*, n. 149, p. 165-174, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.009>.
- ROTZ, S.; DUNCAN, E.; SMALL, M.; BOTSCHNER, J.; DARA, R.; MOSBY, I.; REED, M.; FRASER, E. D. G. The politics of digital agricultural technologies: a preliminary review. *Sociol. Rural.*, n. 59, p. 203-229, 2019. <https://doi.org/10.1111/soru.12233>.
- SÆTRA, H. S. Freedom under the gaze of Big Brother: preparing the grounds for a liberal defence of privacy in the era of Big Data. *Technol. Soc.*, n. 58, 2019, 101160. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101160>.
- SCHAUB, S.; HUBER, R.; FINGER, R. Tracking societal concerns on pesticides – a Google Trends analysis. *Environ. Res. Lett.*, n. 15, 084049.
- SCHEBESTA, H.; CANDEL, J. J. L. Game-changing potential of the EU’s Farm to Fork Strategy. *Nat. Food*, n. 1, p. 586-588, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00166-9>.

SCHNEIDER, A. L.; INGRAM, H. M. *Policy Design for Democracy*. Lawrence: University Press of Kansas, 1997.

SCHNEIDER, A.; SIDNEY, M. What is next for policy design and social construction theory? *Policy Stud. J.*, n. 37, p. 103-119, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0072.2008.00298.x>.

SITOKONSTANTINOOU, V.; PAPOUTSIS, I.; KONTOES, C.; LAFARGA ARNAL, A.; ARMESTO ANDRES, A.P.; GARRAZA ZURBANO, J. A. Scalable parcel-based crop identification scheme using Sentinel-2 data time-series for the monitoring of the Common Agricultural Policy. *Remote Sens.*, n. 10, p. 911, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10060911>.

SØRENSEN, C. G.; PESONEN, L.; BOCHTIS, D. D.; VOUGIOUKAS, S. G.; SUOMI, P. Functional requirements for a future farm management information system. *Comput. Electron. Agric.*, n. 76, p. 266-276, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.005>.

STEVENS, T.; AARTS, N.; TERMEER, C.; DEWULF, A. Social media as a new playing field for the governance of agro-food sustainability. *Curr. Opin. Environ. Sustain.; Sustainability governance and transformation 2016: Informational governance and environmental sustainability*, n. 18, p. 99-106, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.11.010>.

STEVENS, T. M.; AARTS, N.; TERMEER, C. J. A. M.; DEWULF, A. Social media hypes about agro-food issues: activism, scandals and conflicts. *Food Policy*, n. 79, p. 23-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.04.009>.

STUPAK, N.; SANDERS, J.; HEINRICH, B. The role of farmers' understanding of nature in shaping their uptake of nature protection measures. *Ecol. Econ.*, n. 157, p. 301-311, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.022>.

SUTHERLAND, L.-A.; MILLS, J.; INGRAM, J.; BURTON, R. J. F.; DWYER, J.; BLACKSTOCK, K. Considering the source: commercialisation and trust in agri-environmental information and advisory services in England. *J. Environ. Manage.*, n. 118, p. 96-105, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.020>.

SYKUTA, M. E. Big data in agriculture: property rights, privacy and competition in ag data services. *Int. Food Agribus. Manag. Rev.*, n. 19, p. 57-74, 2016.

TÓTH, K.; KUČAS, A. Spatial information in European agricultural data management. Requirements and interoperability supported by a domain model. *Land Use Policy*, n. 57, p. 64-79, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.05.023>.

TURNER, W. Sensing biodiversity. *Science*, n. 346, p. 301-302, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1256014>.

UTHES, S.; MATZDORF, B. Studies on Agri-environmental measures: a survey of the literature. *Environ. Manage.*, n. 51, p. 251-266, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9959-6>.

VAN DER BURG, S.; BOGAARDT, M.-J.; WOLFERT, S. Ethics of smart farming: current questions and directions for responsible innovation towards the future. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, n. 90-91, 2019, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.01.001>.

- VAN GRINSVEN, H. J. M.; TIKTAK, A.; ROUGOOR, C. W. Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive. *NJAS - Wagening. J. Life Sci.*, n. 78, p. 69-84, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.010>.
- VAN TONGEREN, F. *Agricultural Policy Design and Implementation*. Paris: OECD, 2008.
- VARIAN, H. R. Beyond Big Data. *Bus. Econ.*, n. 49, p. 27-31, 2014. <https://doi.org/10.1057/be.2014.1>.
- VARIAN, H. R. Economic aspects of personal privacy. In: LEHR, W. H.; PUPILLO, L.M. (ed.), *Internet Policy and Economics: Challenges and Perspectives*. Boston, MA: Springer, US, 2009, p. 101-109.
- VEDUNG, E. Policy instruments: typologies and theories. In: BEMELMANS-VIDEC, M.-. L.; RIST, R.C.; VEDUNG, E. (ed.), *Carrots, Sticks and Sermons*. New York: Routledge, 1998, p. 21-58.
- VEIHE, A.; JENSEN, N. H.; BOEGH, E.; PEDERSEN, M. W.; FREDERIKSEN, P. The power of models in planning: the case of daisygis and nitrate leaching. *Geogr. Ann. Ser. B Hum. Geogr.*, n. 88, p. 215-229, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3684.2006.00216.x>.
- WALTER, A.; FINGER, R.; HUBER, R.; BUCHMANN, N.; 2017. Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 6148–6150. <https://doi.org/10.1073/pnas.1707462114>.
- WEERSINK, A.; FRASER, E.; PANNELL, D.; DUNCAN, E.; ROTZ, S. Opportunities and challenges for big data in agricultural and environmental analysis. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, n. 10, p. 19-37, 2018. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053654>.
- WEERSINK, A.; LIVERNOIS, J.; SHOGREN, J.F.; SHORTLE, J.S.; 1998. Economic instruments and environmental policy in agriculture. *Can. Public Policy* 14, 309–327.
- WEERSINK, A.; WOSSIP, A.; 2005. Lessons from agri-environmental policies in other countries for dealing with salinity in Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 45, 1481–1493. <https://doi.org/10.1071/EA04156>.
- WESTERINK, J.; JONGENEEL, R.; POLMAN, N.; PRAGER, K.; FRANKS, J.; DUPRAZ, P.; METTEPENNINGEN, E. Collaborative governance arrangements to deliver spatially coordinated agri- environmental management. *Land Use Policy*, n. 69, p. 176-192, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.002>.
- WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M.-J. Big data in smart farming – a review. *Agric. Syst.*, n. 153, p. 69-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>.
- YESHNO, E.; ARNON, S.; DAHAN, O. Real-time monitoring of nitrate in soils as a key for optimization of agricultural productivity and prevention of groundwater pollution. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n. 23, p. 3.997–4.010, 2019. <https://doi.org/10.5194/hess-23-3997-2019>.
- YEUNG, K. Algorithmic regulation: a critical interrogation. *Regul. Gov.*, n. 12, p. 505-523, 2018. <https://doi.org/10.1111/rego.12158>.

ZILBERMAN, D.; MILLOCK, K. Pesticide use and regulation: making economic sense out of an externality and regulation nightmare. *J. Agric. Resour. Econ.*, n. 22, p. 321-332, 1997.

ZUBOFF, S. *The age of surveillance capitalism: the fight for the future at the new Frontier of Power*. London: Profile Books, 2019.