LAÍS FRANCHINI PUCCI

LIXIVIAÇÃO, EFEITO RESIDUAL E CARRYOVER DE HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL E TEMPERADO: META ANÁLISE E PESQUISA DE LITERATURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis

RIO PARANAÍBA-MINAS GERAIS

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T
P977l
2020

Pucci, Laís Franchini, 1994-
Lixiviação, efeito residual e *carryover* de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas em condições de clima tropical e temperado : meta análise e pesquisa de literatura / Laís Franchini Pucci. – Rio Paranaíba, MG, 2020.
52 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.
Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: 35-42.

1. Acetolactato sintase. 2. Residual. 3. Meia-vida. 4. Lixiviação. 5. Dinâmica. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). II. Título.

632.954

LAÍS FRANCHINI PUCCI

LIXIVIAÇÃO, EFEITO RESIDUAL E CARRYOVER DE HERBICIDAS DO GRUPO QUÍMICO DAS IMIDAZOLINONAS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL E TEMPERADO: META ANÁLISE E PESQUISA DE LITERATURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de março de 2020.

Assentimento:

Laís F. Pucci

Laís Franchini Pucci
Autora

Marcelo Rodrigues dos Reis
Orientador

Dedico aos meus pais,

Por todo apoio e dedicação.

Ao meu namorado pelo companheirismo.

Toda família e amigos pelo incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Deus por ser a força e coragem em todos os momentos, permitindo alcançar mais esse sonho!

Aos meus pais, por me proporcionarem todo apoio emocional, psicológico e financeiro para cumprir e alcançar com êxito a finalização dessa etapa.

Ao meu namorado Eduardo por toda paciência, carinho, incentivo e por sempre me apoiar em todos os meus sonhos.

Ao meu orientador Professor Doutor Marcelo Rodrigues dos Reis por toda a paciência, incentivo, transferência de conhecimento e empenho com que sempre me orientou durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço o apoio e parceria que me transformaram como profissional e ser humano.

Aos Professores Éder Matsuo e Kassio Ferreira Mendes por toda ajuda durante a realização da pesquisa.

Ao Pós Doutor e amigo Gustavo Antônio Mendes Pereira por todo auxílio na pesquisa, além do apoio emocional e amizade nesse período.

Á minha querida e grande amiga Valesca Pinheiro Miranda que apesar da distância se manteve presente todos os dias me dando todo apoio e segurança para seguir em frente.

Aos membros e amigos do grupo de pesquisa NEHPSOL.

Ao meu amigo Carlos Diego pelo incentivo e companheirismo desde os tempos de graduação.

A Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e a Fundação de Apoio a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

A todos que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho o meu muito obrigada!

“Pedras no caminho?

Guardo todas,

um dia vou construir meu castelo”.

(Fernando Pessoa)

BIOGRAFIA

Laís Franchini Pucci nasceu em Franca no dia 08 de abril de 1994. Em 2011 concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual Torquato Caleiro, na cidade de Franca-MG. Em 2012, iniciou o Curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Participou de trabalhos de pesquisa nas áreas de entomologia (ênfase em manejo integrado de pragas), manejo de irrigação de pastagens e manejo integrado de plantas daninhas (ênfase em herbicida no solo). Em 2017, graduou-se Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba (UFV-CRP), Minas Gerais, Brasil. Em agosto de 2017, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 12 de março de 2020.

RESUMO

PUCCI, Laís Franchini, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Lixiviação, efeito residual e carryover de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas em condições de clima tropical e temperado: Meta análise e pesquisa de literatura.** Orientador: Marcelo Rodrigues dos Reis.

O uso de herbicidas é o método de manejo mais adotado no controle de plantas daninhas, independentemente do nível tecnológico do agricultor. Ao atingirem o solo essas moléculas estão sujeitas a diferentes processos físico-químicos, cuja interação com as condições edafoclimáticas irá regular o efeito residual (*carryover*) no solo. Esse, por sua vez, consiste na injúria de culturas sensíveis cultivadas em sucessão a aplicação de herbicidas. Os herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) têm sido reconhecidos por boa eficiência de controle de plantas daninhas e elevada persistência no solo, porém são escassas as informações sobre sua dinâmica em clima tropical. Neste contexto, a presente pesquisa teve por objetivo gerar informações sobre o comportamento de herbicidas inibidores da ALS nos solos de diferentes zonas climáticas e detectar condições que apresentem potencial risco de lixiviação, persistência e *carryover*. Esta pesquisa foi fundamentada em referência bibliográfica cujos artigos científicos foram pesquisados nas bases de dados bibliográficos Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES/MEC, Scopus e Web of Science. Todos os artigos existentes nas bases de dados consultadas para os herbicidas inibidores da ALS, indicando as informações de lixiviação, persistência e *carryover* em clima temperado e tropical foram coletados, visando à construção de um banco de dados. Essas variáveis para cada herbicida e clima, foram submetidos à análise exploratória por meio do gráfico "Box-Plot", normalidade, independência e homogeneidade. No geral, o efeito residual de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas foi maior em clima temperado que em clima tropical, com exceção do herbicida imazapic. A lixiviação apresentou em ambos os climas mediana em torno de 20 cm, sendo que a média foi superior em clima tropical apenas para a molécula de imazaquin. A variável de meia-vida apresentou a mesma tendência das demais, com maiores valores em clima temperado, sendo exceção apenas as moléculas de imazamox e imazethapyr com meia-vida em torno de 26 e 360 dias em clima tropical, respectivamente. Assim, notou-se que os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas de modo geral, estão sujeitos a maior efeito residual, lixiviação e tempo de meia-vida em clima temperado. Entretanto, notou-se que existem diversas peculiaridades ao analisar os herbicidas separadamente.

Palavras-chave: Acetolactato sintase. Residual. Meia-vida. Lixiviação. Dinâmica.

ABSTRACT

PUCCI, Laís Franchini, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2020. **Leaching, residual effect and carryover of herbides from the chemical group of imidazolinones in tropical and temperate climate conditions: Meta analysis and literature search.**. Adviser: Marcelo Rodrigues dos Reis.

The use of herbicides is the most widely adopted management method for weed control, regardless of the farmer's technological level. Upon reaching the soil, these molecules are subject to different physical-chemical processes, whose interaction with edaphoclimatic conditions will regulate the residual or carryover effect. This, in turn, consists of the injury of sensitive crops grown in succession with the application of herbicides. The herbicides of acetolactate synthase (ALS) inhibitors has been recognized for good control efficiency and high persistence in the soil, however, information about its dynamics in tropical climate is scarce. In this context, this research aimed to generate information on the behavior of ALS-inhibiting herbicides in soils from different climatic zones and to detect conditions that present a potential risk of leaching, persistence and carryover. This research was based on bibliographic research whose scientific articles were searched in the Google Scholar bibliographic databases, CAPES / MEC Journal Portal, Scopus and Web of Science. All existing works in the databases consulted for ALS-inhibiting herbicides, indicating the leaching, persistence and carryover information in temperate and tropical climate were collected, aiming at the construction of a database. These variables for each herbicide and climate, were submitted to exploratory analysis using the “Box-Plot” graph, normality, independence and homogeneity. In general, the residual effect of imidazolinones was greater in temperate than in tropical climate, with the exception of the herbicide imazapic. The leaching showed a median of about 20 cm in both climates, the average being higher in tropical climate only for the imazaquin molecule. The half-life variable showed the same trend as the others, with higher values in temperate climates, with the exception of only the imazamox and imazethapyr molecules with a half-life of around 26 and 360 days in a tropical climate. Thus, it was noted that herbicides in the chemical group of imidazolinones in general, are subject to greater residual effect, leaching and half-life in temperate climate. However, it was noted that there are several peculiarities when analyzing the herbicides separately.

Keywords: Acetolactato sintase. Residual. Half-life. Leaching. Dynamics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. MATERIAL E MÉTODOS 11

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 15

3.1 Efeito residual no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas 15

3.2 Lixiviação de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas 22

3.3 Meia-vida no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas 28

4. CONCLUSÕES..... 35

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 35

6. ANEXO I 43

1. INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas na agricultura é um dos manejos que mais influenciam no cenário produtivo atual (Refatti et al., 2017). Tal fato se deve as grandes perdas causadas pela competição exercidas pela presença de plantas daninhas na lavoura, quando o manejo não é adotado. O uso de herbicidas é prática tão comum, que independentemente do nível tecnológico adotado pelo produtor, na maioria dos casos, o manejo químico é o mais adotado. Com isto, são comuns os casos de uso incorreto destes produtos, que acabam resultando em problemas em cultivos sucessores, além dos casos frequentes de contaminação ambiental. Isto tem acontecido porque o solo é o principal aceptor destas moléculas, que são aplicados diretamente no solo ou na parte aérea das plantas daninhas nos estádios iniciais de crescimento (Mancuso et al., 2011).

Ao atingirem o solo, os herbicidas estão sujeitos a diversos processos físico-químicos incluindo degradação física, química e/ou biológica (Nalini et al., 2016), fotólise, lixiviação, retenção, volatilização e escoamento superficial (Mancuso et al., 2011; Oliveira Jr. et al., 2011). Processos estes, que irão influenciar no destino do herbicida no ambiente.

O resultado da interação desses processos com as condições edafoclimáticas pode regular a persistência das moléculas desses produtos ativos causando injúrias nas culturas sucessoras sensíveis, fenômeno denominado de efeito residual ou *carryover* (Melo et al., 2016). As injúrias ocasionadas pelo residual de herbicidas no solo são influenciadas por diversos fatores, como a cultura sucessora e sua suscetibilidade, a molécula utilizada, a concentração aplicada, as propriedades do solo e o clima (Zhang et al., 2000; Greenland, 2003).

Assim, observa-se que o comportamento dos herbicidas no solo é complexo e depende das interações das características dos solos, das propriedades físico-químicas das moléculas desses produtos e das condições climatológicas (Mancuso et al., 2011). Em condições de clima tropical e temperado várias distinções têm sido observadas quanto ao destino dos herbicidas.

As elevadas temperaturas e chuvas concentradas nas regiões tropicais têm demonstrado aumento na vaporização, hidrólise, fotólise e degradação biológica de herbicidas quando comparados com regiões temperadas (Klein, 1989; Magallona, 1989 e 1994). Entretanto, Laabs et al. (2007) não verificaram diferenças entre a dissipação de herbicidas em ambientes aquáticos em zonas temperadas e tropicais. Essas informações contradizem o raciocínio lógico de que em regiões de clima tropical a persistência de herbicidas seja inferior às de clima temperado.

Neste contexto, os herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) vêm sendo amplamente utilizados devido à baixa toxicidade a mamíferos, à alta eficiência em baixas doses

e a persistência prolongada no solo (Vargas et al., 2001; Concenço et al., 2007). Dentro deste mecanismo de ação destaca-se o grupo químico das imidazolinonas, que apresentam alto risco de contaminar cursos de água devido à alta solubilidade em água e alta persistência no ambiente (Kraemer et al., 2009).

Os herbicidas integrantes desse grupo químico apresentam em suas moléculas o imidazol como estrutura comum, e como segunda estrutura cíclica podem apresentar a quinolina, o benzeno, ou ainda a piridina (Kraemer et al., 2009). Além disso, as imidazolinonas apresentam comportamento anfótero podendo se comportar como ácidos fracos ou bases fracas, ou seja, de acordo com os atributos do solo essas moléculas podem predominar em formas neutras, catiônicas ou aniônicas (Acker, 2005; Reginato, 2001; Shaner, 2005).

Desse modo, Hollaway e Noy (1998) evidenciaram efeito residual de imazethapyr até 1095 dias após a aplicação (DAP) em solos alcalinos sob condições tropicais. Goetz et al. (1990) detectaram a molécula até 365 DAP em solos siltosos, pertencentes a zona temperada. Em contrapartida, para o herbicida imazapic, observou-se efeito residual de 150 dias em Latossolo Vermelho Amarelo em zona tropical (Souza et al., 2016); contudo Radovanov (2017) verificou a molécula até 400 DAP em solo arenoso, sob condições temperadas.

Neste contexto, nota-se que devido ao grande número de variáveis envolvidas a dinâmica dos herbicidas no solo é diferente mesmo tratando-se de moléculas do mesmo grupo químico. Diante dessa complexidade, Weber et al. (2000) e Mendes et al. (2014) utilizaram os valores de K_d e K_{oc} de herbicidas disponíveis na literatura científica com o objetivo de ajustar modelos matemáticos para predizeram o comportamento dos herbicidas nos solos.

Desse modo, devido à escassez de informações sobre herbicidas do grupo químico das imidazolinonas no solo em condições tropicais, objetivou-se a criação de banco de dados desses herbicidas em clima temperado e tropical juntamente com as variáveis que influenciaram nas respostas obtidas em dados de artigos científicos presentes na literatura. Com o propósito de comparar e gerar informações sobre o comportamento de herbicidas nos solos de diferentes zonas climáticas e detectar condições que apresentem potencial risco de lixiviação, persistência e *carryover*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

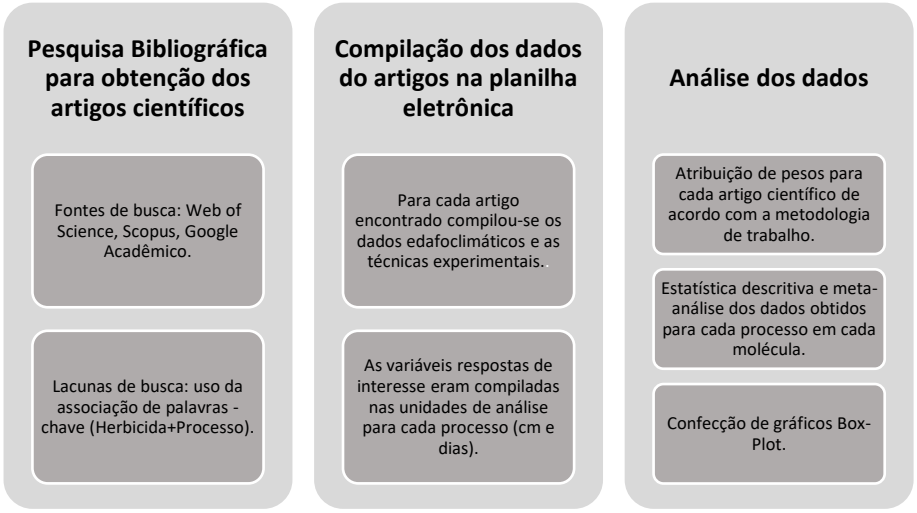
Esta pesquisa foi fundamentada em pesquisa bibliográfica realizada com objetivo de obtenção de informações sobre o comportamento de herbicidas em países de clima tropical e

temperado. Os artigos científicos foram pesquisados nas bases de dados bibliográficos Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES/MEC, Scopus e Web of Science.

As palavras chaves lixiviação (*leaching*), persistência (*persistence*) e efeito residual constituíram as lacunas da busca, juntamente com os nome das moléculas dos herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas (imazethapyr, imazapyr, imazaquin, imazapic e imazamox).Todos os artigos existentes nas bases de dados consultadas para essas moléculas, indicando as informações de lixiviação, persistência e efeito residual em clima temperado e tropical foram coletados, visando à construção de um banco de dados.

As características do solo foram alinhadas em uma planilha eletrônica, incluindo classificação taxonômica brasileira e americana, textura, capacidade de troca catiônica, pH, mineralogia, teor de matéria orgânica e carbono orgânico. Além disso, a planilha também foi preenchida com as condições climatológicas (temperatura máxima, mínima e média, precipitação anual, classificação climática do local e estação do ano em que os experimentos foram realizados).

Além disso, foram compiladas na planilha eletrônica as propriedades físico-químicas dos herbicidas em estudo para fomentar as discussões. A capacidade de dissociação eletrolítica (pK_a), solubilidade em água (S_w), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), a pressão de vapor (PV), o tempo de meia-vida em laboratório, coeficientes de sorção (K_d e K_{oc}) obtidas a partir do *Pesticide Properties DataBase* (PPDB, 2020), que consiste em um banco de dados da Universidade de Hertfordshire, que apresenta a identidade química, dados físico-químicos, riscos à saúde humana e riscos ecotoxicológicos dos pesticidas.



Fluxograma 1. Resumo das atividades de pesquisa bibliográfica.

Após a coleta dos dados foram atribuídos pesos, variáveis entre 5 e 0.5, para cada um dos artigos científicos coletados, como pré-requisito para proceder a meta-análise. Os maiores pesos foram atribuídos aos artigos com a metodologia mais elaborada, como experimento de campo, mais de dois anos de coleta de amostras e leituras com equipamentos laboratoriais de alta precisão.

Quadro 1. Critérios analisados nos artigos científicos para atribuição dos pesos.

Pesos atribuídos aos artigos científicos	**Artigos científicos com tema efeito residual**	**Artigos científicos com tema lixiviação**	**Artigos científicos com tema meia-vida**
5,0	Experimento de tempo maior ou igual a 2 anos em culturas no campo e a bioindicadora for igual a própria cultura. E, ou, com a técnica de cromatografia gasosa.	Experimento no campo, com análise das amostras em laboratório utilizando-se HPLC.	Experimento no campo de tempo maior ou igual a 2 anos, coletando-se amostras e utilizando HPLC.
4,5	Experimento de tempo maior ou igual a 2 anos em culturas no campo e a bioindicadora for uma cultura diferente.	Experimento no campo, com análise das amostras em casa de vegetação utilizando-se bioensaio.	Experimento no campo de tempo maior ou igual a 1 ano, coletando-se amostras e utilizando HPLC.
4,0	Experimento de tempo maior ou igual a 2 anos no campo e o solo for levado para casa de vegetação para bioensaio.	Experimento no campo, utilizando-se canos de PVC, com análise das amostras em laboratório utilizando-se HPLC.	Experimento em casa de vegetação de tempo maior ou igual a 2 anos, coletando-se amostras e utilizando HPLC.
3,5	Experimento de tempo maior ou igual a 2 anos em culturas no campo, o herbicida for aplicado no solo, e posteriormente forem semeadas em culturas de rotação.	Experimento em casa de vegetação, utilizando-se canos de PVC, com análise das amostras em laboratório utilizando-se HPLC.	Experimento em casa de vegetação de tempo maior ou igual a 1 ano, coletando-se amostras e utilizando HPLC.
3,0	Experimento de tempo maior ou igual a 1 ano em culturas no campo e a bioindicadora for a própria cultura. E, ou, com a técnica de cromatografia gasosa.	Experimento no campo, utilizando-se canos de PVC, com análise das amostras em casa de vegetação utilizando-se bioensaio.	Experimento de campo tempo maior ou igual a 2 anos, coletando-se amostras e utilizando-se carbono marcado.
2,5	Experimento de tempo maior ou igual a 1 ano em culturas no	Experimento em casa de vegetação, utilizando-se canos de PVC, com análise	Experimento de campo tempo maior ou igual a 1 ano, coletando-se

	campo e a bioindicadora for uma cultura diferente.	das amostras em laboratório utilizando-se bioensaio.	amostras e utilizando-se carbono marcado.
2,0	Experimento de tempo maior ou igual a 1 ano em culturas no campo e o bioensaio for realizado na casa de vegetação.	Experimento em campo, lavoura, durante 2 anos, utilizando-se lisímetro, com análise das amostras em medidor visual.	Experimento de laboratório tempo maior ou igual a 2 anos, utilizando-se carbono marcado.
1,5	Solo sem histórico de produção, bioensaio com aplicação de herbicida e semeadura das bioindicadoras.	Experimento em campo, lavoura, durante 1 ano, utilizando-se lisímetro, com análise das amostras em medidor visual.	Experimento de laboratório tempo maior ou igual a 1 ano, utilizando-se carbono marcado.
1,0	Experimento com aplicação de herbicidas no solo em condições de campo, apenas com residual, sem culturas. Bioensaio em campo, 1 ano após a aplicação.	Experimento em campo, durante 2 anos, utilizando-se lisímetro, com análise das amostras em medidor visual.	Cálculo de meia-vida utilizando-se fórmulas matemáticas baseada no Koc, Kd, GUS.
0,5	Experimento com aplicação de herbicidas no solo em condições de campo, apenas com residual, sem culturas. Bioensaio em casa-de-vegetação, 1 ano após a aplicação.	Experimento em campo, durante 1 anoo, utilizando-se lisímetro, com análise das amostras em medidor visual.	Cálculo de meia-vida utilizando-se fórmulas matemáticas baseada no Koc.

Os dados de persistência, lixiviação e *carryover*, para cada herbicida e clima, foram submetidos à análise exploratória no *software* R por meio do gráfico “Box-Plot”, que indica os valores de máximo, mínimo, primeiro e terceiro quartil e mediana dos dados analisados. Quando esses apresentaram distribuição normal procedeu-se a meta-análise através obtendo-se a estimativa combinada dos dados, que representa o resultado das variáveis estudadas em cada clima, de acordo com adaptações da metodologia apresentada por Natel Custódio et al. (2012). Além disso, por meio dos gráficos “Box-Plot” foram extraídos os valores máximos, mínimos e medianas adicionados dos desvios padrões dos parâmetros avaliados para cada um dos herbicidas pesquisados. Com base no modelo de Sanchez-Bayo e Hyne (2011), a relação entre clima tropical (T) e não tropical (NT) foi estabelecida. Quando T/NT foi menor que 1, os valores das variáveis foram menores em condições tropicais, enquanto razões maiores que 1 indicam o contrário.

A persistência obtida em cada um dos artigos foi dividida pela dose utilizada do respectivo herbicida, gerando um índice da quantidade de dias necessários para degradar uma grama de herbicida (dias/g). Posteriormente, os dias/g foram divididos pela quantidade de carbono orgânico (CO) fornecido pelo respectivo artigo, fornecendo um índice de dias por grama por CO (dias/g/CO).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados 131 artigos científicos correspondentes aos processos de efeito residual, lixiviação e tempo de meia-vida das moléculas de imazethapyr, imazapyr, imazaquin, imazapic e imazamox em diferentes climas. Os artigos científicos pertenceram aos países África do Sul, Austrália, Brasil e Índia correspondentes ao clima tropical, e ao Argentina, Canadá, Estados Unidos, Itália, Japão, União Europeia correspondentes ao clima temperado.

3.1 Efeito residual no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

O imazamox em clima temperado apresentou variação de efeito residual no solo entre 0 e 730 dias e mediana de 44 dias (Figura 1 (a)). Já em clima tropical, essa molécula variou de 0 a 170 dias aproximadamente, com mediana de 78 dias (Figura 1 (b)).

Ao analisar isoladamente os efeitos residuais obtidos no banco de dados nota-se grande variação de residual dentro dos dois climas estudados. Em clima temperado, cerca de 30,97 % das pesquisas apresentaram efeito residual entre 365 e 730 dias. Nesses artigos, no geral, a condução foi realizada na primavera, com temperaturas médias variáveis entre 23,7 e 6 ºC, em solos com pH e teor de matéria orgânica de cerca de 7,0, 6,6, 3,0% e 1,5%, (O'sullivan e Bouw, 1998; Miller, 2003).

Assim, nota-se que o elevado efeito residual de imazamox em clima temperado ocorreu devido à sua predominância na forma aniônica em pH de aproximadamente 7, em que o herbicida foi repelido pelas cargas negativas dos coloides minerais e orgânicos do solo (Monquero et al., 2010). Em seguida, em clima temperado, observou-se ainda que cerca de 14,08% dos artigos apresentaram residual de apenas 35 dias. Essa peculiaridade pode ser explicada pelo fato dos experimentos terem sido realizados em casas de vegetação, em período com temperatura média de 38 ºC (Panacci et al., 2005).

Esses resultados corroboram com os de Jenkins et al. (2000), em que aumentos de temperatura (aproximadamente 35 ºC) resultaram em elevada sorção de imidazolinonas no solo, reduzindo, portanto, a concentração de herbicida absorvida pelas plantas indicadoras de resíduo.

No clima tropical, cerca de 24,32% não apresentaram efeito residual. As condições responsáveis pela ausência de residual foram pH 7,6, solo com 52% de areia e baixo teor de carbono orgânico (Yadav e Bhullar, 2014). As imidazolinonas apresentam dessorção conforme

a quantidade de matéria orgânica do solo é reduzida (Kraemer et al., 2009), como visto nessas condições as moléculas se tornam mais concentradas em solução do solo, passíveis de sofrerem processos de transporte, transformação e/ou degradação (Carter, 2000).

Apenas 5,4% das pesquisas apresentaram efeito residual de 168 dias, sendo a ocorrência em ambiente com solo siltoso, de pH 5,7, teor de matéria orgânica de 4,7% e temperatura média anual de 25 ºC e a cultura sucessora o girassol (Cassino et al., 2017). Em contraposição, no mesmo experimento, o uso de milho em sucessão não apresentou injúrias aos resíduos de imazamox (Cassino et al., 2017). Brighenti et al. (2000) e Dan et al. (2012) evidenciaram grande sensibilidade do girassol ao *carryover* de herbicidas pertencentes ao grupo das imidazolinonas e sulfonilúreias.

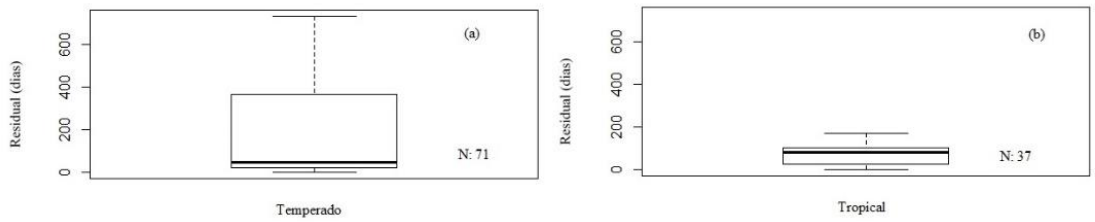


Figura 1. Efeito residual (dias) de imazamox em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

A molécula imazapic apresentou residual no solo variando entre 0 e 540 dias em clima temperado, enquanto, em clima tropical o residual foi entre 0 e 365 dias (Figuras 2 (a) e (b)). Cerca de 38,03% dos experimentos no clima temperado indicaram efeito residual de 365 dias, enquanto apenas 1,4% representou residual de 540 dias.

Nota-se nesses experimentos semelhanças quanto aos teores de pH e argila e uso de sucessão de algodão ao amendoim, entretanto, a precipitação anual foi de 940 e 1161 mm, no residual de 540 e 365 dias, respectivamente (York et al., 2000; Matocha et al., 2003; Grinchar et al., 2016). Com o aumento da umidade do solo a taxa de decomposição da matéria orgânica pode apresentar incremento de até 19%, consequentemente a atividade microbiana é intensificada devido a maior adição de C no sistema (Bona et al., 2006; Oliveira et al., 2008).

Apesar da reduzida quantidade de dados para imazapic em clima tropical (N=4), 60% dos dados indicaram residual de 365 dias. Enquanto, os 40% restantes, ficaram divididos entre 540 e 130 dias de residual, respectivamente.

O menor *carryover* (130 dias) foi obtido em área com teores de argila de 55%, pH de 5,8, MOS de 2,5% e temperatura média anual de 25ºC (Carvalho et al., 2012). Enquanto, os maiores residuais (540 e 365 dias) ocorreram em solos com teores de argila de 15,4 e 14,4% e

MOS de 1,2 %, respectivamente (Pinto et al., 2009; Marchesan et al., 2010;). Esses dados foram oriundos de experimentos realizados no Rio Grande do Sul, onde, segundo a classificação de Köppen (1928), o clima é classificado como Cfb. Isso significa clima temperado com verão ameno, onde as chuvas são uniformemente distribuídas (precipitação anual de 1100 a 2000 mm) e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22ºC (EMBRAPA, 2019).

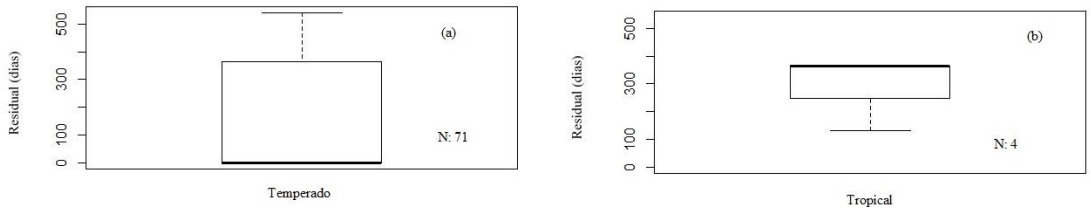


Figura 2. Efeito residual (dias) de imazapic em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

O herbicida imazaquin apresentou efeito residual variável entre 0 e 700 dias, e entre 0 e 150 dias em clima temperado e tropical, respectivamente (Figuras 3 (a) e (b)). Em clima temperado, cerca de 59,09% dos dados não apresentaram efeito residual. As porcentagens de 25 e 11,36% foram referentes a residuais de 365 e 730 dias, respectivamente.

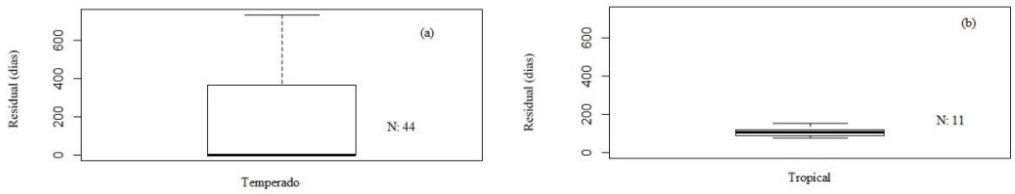


Figura 3. Efeito residual (dias) de imazaquin em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Essa ausência de *carryover* foi verificada ao serem utilizadas baixas dosagens de imazaquin. No estudo de Loux e Reese (1993) ao se dobrar a dose aplicada desse herbicida (0,14 para 0,28 kg de i.a. ha^{-1}), o residual passou de 0 para 364 dias, em cultivo de milho sucedido por soja. Johnson e Talbert (1996), ao cultivar algodão pós soja, observaram que o incremento da dose de 0,07 para 0,14 e 0,28 kg de i.a. ha^{-1} acarretou redução da massa da matéria seca de parte aérea, da produtividade e da qualidade de plumas do algodoeiro.

Outros autores também relataram que o incremento da dose aplicada de imidazolinonas resulta em aumento da fitotoxidez e, consequente, aumento do *carryover* (Gazziero et al., 1997; Oliveira Jr, 2001;). Além disso, as maiores injúrias observadas nas culturas sucessoras e bioensaios ocorreram conforme se aumentou a dosagem (Pinto et al., 2009; Sousa et al., 2012).

Além disso, em zonas temperadas, observou-se que em solos com teor de MOS entre 1,5 e 2,9, pH de 6,2 a 6,4, o possível diferencial para alterar o *carryover* de 365 para 730 dias foram precipitações anuais de 1090 e 322,8 mm, respectivamente (Krausz et al., 1992; Seifert et al., 2001).

Em solos secos, alguns microorganismos reduzem sua atividade metabólica, reduzindo assim as possíveis alterações nas moléculas herbicidas (Christoffoleti et al., 2008); o que contribui para maior disponibilidade das moléculas no solo. Além disso, o imazaquin é considerado altamente lixiviável assim, nas condições de alta pluviosidade, seu transporte vertical pode ser favorecido, reduzindo o efeito residual nas plantas.

Em clima tropical, a maior porcentagem detectada no conjunto de dados do imazaquin foi de 46,14% corresponde ao efeito residual variável entre 90 e 120 dias. Nesses experimentos, o aumento da dose de 0,12 para 0,45 kg de i. a. ha^{-1} causou esse aumento de 30 dias na variável (Gazziero et al., 1997).

Em seguida, notou-se que 15,38% dos dados foi referente a ausência de efeito residual, e essa porcentagem se repetiu no maior residual verificado de 150 dias. Este maior valor foi obtido ao se utilizar pepino pós soja (Gazziero et al., 1997); o pepino consiste em uma planta bioindicadora, altamente sensíveis a resíduos de herbicidas no solo, utilizada para averiguar as contaminações no solo com esse herbicida (Dias et al., 2017).

Em ambos os climas estudados, a molécula imazethapyr apresentou efeito residual de 0 a 730 dias (Figuras 4 (a) e (b)). No clima temperado, 32,7% e 21,5% dos dados representaram residual de 365 e 730 dias, respectivamente. Esses valores foram obtidos em experimentos com os caracteres dos solos e climas semelhantes (MOS de 1 a 2%, precipitação anual entre 487 e 501 mm), com aplicação de doses de imazethapyr de 0,035 e 0,7 kg de i.a. ha^{-1}, que acarretaram em *carryover* no algodão e olerícolas (repolho, tomate e pepino) aos 365 e 730 dias após a aplicação, respectivamente (O'sullivan e Bouw, 1998; Grichar et al., 2004).

Ainda em clima temperado, observou-se que o imazethapyr em 15,8% dos experimentos não apresentou efeito residual, entre esses podemos citar os experimentos de Johnson e Talbert (1996), em que diferentes doses de imazethapyr (0.035 e 0.07 kg de i.a. ha^{-1}) e solos distintos (siltoso e argiloso) não intoxicaram o cultivo de algodão em sucessão. Esse estudo foi realizado no Arkansas, cuja precipitação anual é cerca de 1266 mm (US Climate Data, 2019), assim, com o aumento da quantidade de água no solo, a atividade microbiana foi intensificada, pois essa é a principal via de dissipação das imidazolinonas no solo (Flint e Witt, 1997; Prata e Lavorenti, 2000).

Em clima tropical, para a molécula de imazethapyr, os dados encontrados foram dispersos, sendo que 11,1% dos dados indicaram ausência, 97, 371 e 722 dias de *carryover*, respectivamente. Esses dois últimos valores correspondem a experimentos realizados nos munícipios de Santa Maria (RS) e Pelotas (RS), que apresentam temperaturas médias anuais de 19,3ºC e 18ºC, respectivamente, com clima classificado como temperado (Marchesan et al., 2010; Refatti et al., 2017; Climate data, 2019). Já a ausência de efeito residual, foi verificada em estudos realizados em Londrina (PR), cujo clima é subtropical úmido (Cfa), com pluviosidade bem distribuída, não apresentando estação seca e com temperatura média anual de 21ºC (Köppen, 1928).

Assim, quando em solos com alta umidade, o imazethapyr, que apresenta alta solubilidade em água (1400 mg L^{-1}), pode ficar livre na solução do solo, tornando-se passível aos processos de transporte (lixiviação, deriva e escoamento superficial) (Carter, 2000);

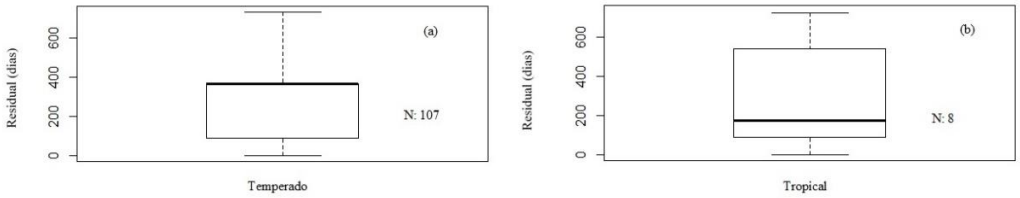


Figura 4. Efeito residual (dias) de imazethapyr em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

O imazapyr no clima tropical em todas as observações apresentou efeito residual de 300 dias (Tabela 1 e Figura 5 (b)), em contrapartida, em condições temperadas essa variável ficou entre 0 e 870 dias aproximadamente (Figura 6 (a)).

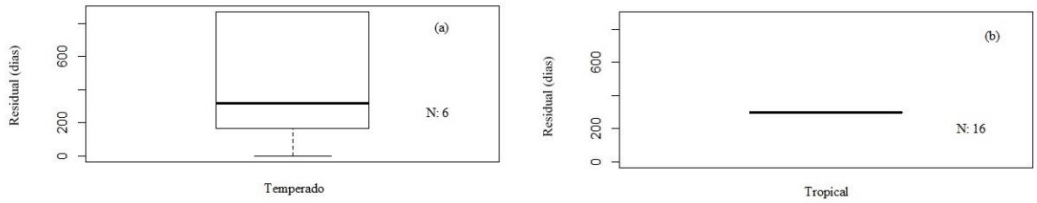


Figura 5. Efeito residual (dias) de imazapyr em clima temperado (a) e tropical (b).

Apesar da escassez de dados para imazapyr no clima tropical, notou-se que em solos com diferentes teores de argila (78 e 28%), MOS (3,5 e 4,7%) e pH (4,7 e 5,8) o residual foi de 300 dias, apenas o clima se assemelhou nessas condições, com temperatura média de aproximadamente 20ºC (Ulbrich et al., 2005). Nessa condição em que o pH do solo é maior que o pKa da molécula (3,6), ocorre o predomínio da forma COO^- das moléculas, que podem ser

repelidas pelas cargas negativas do solo, permanecendo mais disponíveis na solução do mesmo (Kraemer et al., 2009).

No conjunto de dados de clima temperado, observou-se que a utilização de altas doses de imazapyr (4 kg de i.a. ha^{-1}) ocasionou em maiores residuais (870 dias) (Vizantinopoulos e Lolos, 1994). Entretanto, mesmo em aplicações a partir de 0,02 kg de i.a. ha^{-1} desse herbicida houve injúria de braquiária, soja, milho, feijão, pepino aos 365 dias após a aplicação (Bovey e Senseman, 1998). A ausência de *carryover* apenas foi observada ao utilizar aveia como cultura sucessora (Scursoni et al., 2017); certas culturas apresentam mecanismos de metabolização de herbicidas, como compartimentalização vacuolar, enzimas específicas capazes de tornar a molécula tóxica em não tóxica (EMBRAPA, 2006).

Dentro do grupo químico das imidazolinonas é possível verificar isoladamente peculiaridades para cada molécula quanto ao efeito residual (Tabela 1). Nota-se que os herbicidas imazamox, imazapyr, imazaquin e imazethapyr apresentaram médias maiores de efeito residual em clima temperado comparado com tropical. Em clima temperado, essas quatro moléculas apresentaram residuais cerca de 2,9, 1,4, 1,9 e 1,1 vezes maior que o clima tropical. Contrariamente a esses observados, a média do efeito residual de imazapic foi maior em clima tropical que em temperando, sendo de 353 e 170,02 dias, respectivamente (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelos estudos realizados por Marchesan et al. (2010) e Pinto et al. (2009) em que foram realizados no Brasil, cujo clima é tropical, porém com a longa extensão territorial do país, as condições experimentais desses estudos foram de clima temperado, que acomete a região Sul, condicionando no maior efeito residual observado desse herbicida.

Tabela 1. Meta-análise dos dados de efeito residual referentes aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Herbicida	**Clima**			
	Tropical		**Temperado**	
	Estimativa combinada	**SD combinado[/1]**	**Estimativa combinada**	**SD combinado[/1]**
Imazethapyr	290,0	93,7	313,70	24,80
Imazaquin	110,18	12,54	176,07	7,06
Imazapyr	-	-	423,00	136,68
Imazapic	306,25	50,88	170,02	21,38
Imazamox	71,0	8,23	210,93	33,19

[/1]: SD combinado corresponde ao desvio padrão combinado encontrado na meta-análise.

A estimativa combinada indica quantos dias os herbicidas apresentam de residual após sua aplicação em clima tropical e temperado. Com exceção do herbicida imazapic, todas as moléculas estudadas apresentaram maior residual em zonas temperadas.

As elevadas temperaturas e chuvas concentradas nas regiões tropicais têm demonstrado aumento na vaporização, hidrólise, fotodecomposição e degradação biológica de herbicidas quando comparados com regiões temperadas (Mancuso et al., 2011). Em climas temperados os invernos rigorosos, com baixas temperaturas e congelamento da superfície do solo conservam as estruturas químicas dos herbicidas aplicados, aumentando o tempo de dissipação dessas moléculas comparado ao clima tropical (Sánchez-Bayo e Hyne, 2011).

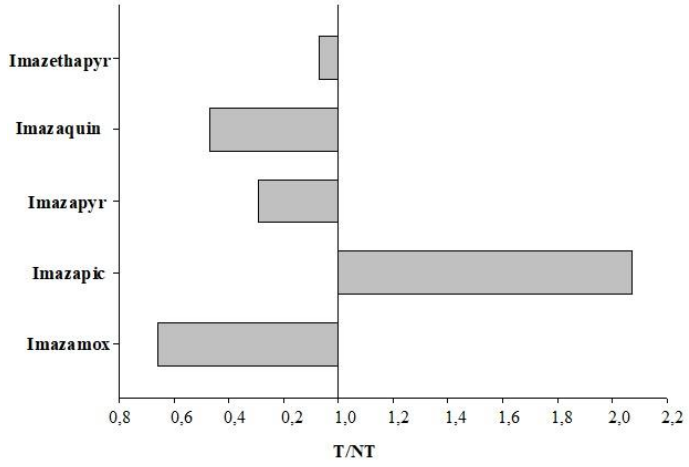


Figura 6. Comparação entre o efeito residual dos herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas em clima tropical e temperado.

A razão T/NT estabelecidas para as moléculas ressaltam o observado anteriormente, que no geral as imidazolinonas apresentam a variável residual menor em condições tropicais.

Tabela 2. Índices dias por grama (dias g^{-1}) e dias por grama por carbono orgânico (dias g CO^{-1}) em clima tropical e temperado.

Herbicida	Clima			
	Tropical		Temperado	
	Dias g^{-1} /1	Dias g CO^{-1} /2	Dias g^{-1} /1	Dias g CO^{-1} /2
Imazethapyr	11,78	19,63	48,70	106,70
Imazaquin	3,15	0,84	1,17	0,29
Imazapyr	12,86	1,86	4,50	1,62
Imazapic	4,09	0,59	28,73	63,20
Imazamox	1,41	0,69	1,40	0,85

/1: Dias g $^{-1}$ corresponde ao número de dias necessários para degradar 1 grama do herbicida**.**
/2: Dias g CO^{-1} corresponde ao número de dias necessários para degradar 1 grama do herbicida de acordo com o teor de carbono orgânico presente no solo.

Dos herbicidas estudados, notou-se que o imazaquin e o imazapyr apresentaram maior número de dias necessários para degradar uma grama dessas moléculas em clima tropical, que em clima temperado (Tabela 2). Para o imazamox, os dias grama^{-1} foi igual em ambos os climas. Esse resultado não corroborou aos encontrados anteriormente, porém, por ser uma variável dependente da dosagem aplicada, essa discrepância encontrada pode ser explicada pela aplicação indiscriminada dos agricultores de países emergentes tropicais (Daam e Brink, 2009); em que as bulas são pouco informativas à cerca dos riscos de aplicação.

Para o imazethapyr e o imazapic essa variável foi cerca de 4,13 e 7,02 vezes maior em clima temperado comparado com o tropical. Para esses herbicidas, o dias g CO^{-1} em clima temperado foi 5,43 e 107,11 vezes maior que em tropical. Assim, notou-se que mesmo com diferentes doses aplicadas em solos com diferentes teores de carbono orgânico a dissipação dessas moléculas foi mais rápida em zonas tropicais que temperadas.

3.2 Lixiviação no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Notou-se que o herbicida imazamox movimentou-se semelhante no perfil do solo em ambos os climas estudados (Figuras 7 (a) e (b)). Em condições temperadas, as amostras indicaram mediana, limites inferiores e superiores iguais, sendo esses equivalentes a 10 cm (Figura 7 (a)). Em condições tropicais, a mediana encontrada também foi de 10 cm, porém a lixiviação dessa molécula oscilou entre 7,5 e 12,5 cm (Figura 7 (b)).

Em clima temperado, os experimentos realizados por Sakaliene et al. (2007) indicaram que em sete solos distintos, a lixiviação de imazamox foi apenas até 10 cm de profundidade. Esses solos apresentaram características diferentes, com pH entre 7,2 e 5,7, com texturas variáveis (argilosas, arenosas e siltosas) e precipitação de cerca de 285 mm. Além disso, nesse estudo a metodologia para medir a lixiviação foi por meio de GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems), que calcula a lixiviação via as características de sorção e do fator de retardação (RF).

No banco de dados do clima tropical, metade das amostras corresponderam a 12,5 cm de lixiviação em estudo realizado em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, contendo 8% de argila. Os outros 50% equivaleram a lixiviação de 7,5 cm, obtida em Latossolo Vermelho Escuro álico, com 75% de argila. Essas informações são do estudo de Pasqualetto et al. (1999)

em que o experimento foi realizado com colunas de PVC e cultivo de bioindicadora, com simulação de 60 mm de precipitação.

A proximidade da lixiviação do imazamox encontrada nos climas tropical e temperado pode ter ocorrido devido a metodologia utilizada por Sakaliene et al. (2007), em que a lixiviação foi calculada por meio do modelo matemático GLEAMS que consiste em modelo concentrado, ou seja, não determina a distribuição espacial, assim as condições climáticas foram desconsideradas para obtenção do resultado (Malta, 2009). Desse modo, a lixiviação do imazamox em clima temperado pode ter sido subestimada por este método. A metodologia do bioensaio foi feita em colunas de PVC para medir o transporte do imazamox em clima tropical, essa ferramenta é útil para a detecção da quantidade de herbicida disponível no solo (Dias et al., 2017). O inconveniente desta técnica é que a quantificação dos contaminantes é apenas por dose resposta, sem exatidão, assim detectam apenas a quantidade biodisponível e não a quantidade total (Walperes et al., 2015; Jovanović-Radovanov, 2017).

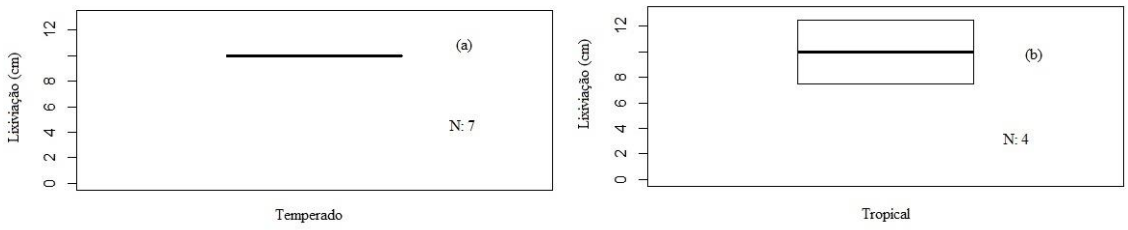


Figura 7. Lixiviação (cm) de imazamox em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Não foram encontrados dados referentes a lixiviação de imazapic em clima temperado, entretanto, um número representativo de amostras desse herbicida foi coletado em clima tropical (N: 25) (Figura 8). Nesta condição, o movimento dessa molécula variou entre 5 e 40 cm, com mediana igual a 20 cm.

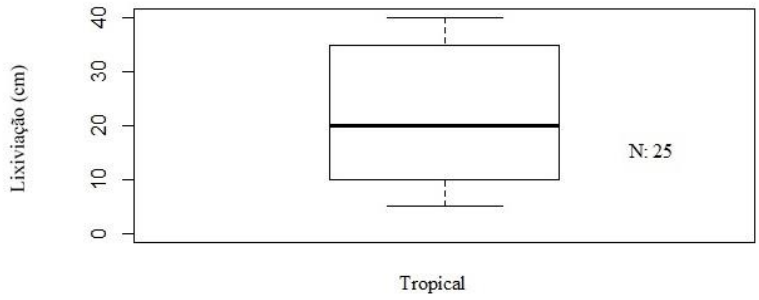


Figura 8. Lixiviação (cm) de imazapic em clima tropical.

O imazapic não apresenta registro para uso em cultivos em regiões norte americanas (clima temperado), sendo utilizado apenas em áreas não agrícolas, para o controle de plantas daninhas em estradas, ferrovias e parques (U. S. EPA, 2008).

Observou-se que o herbicida imazaquin não apresentou oscilação da lixiviação dentro dos climas estudados (Figura 9 (a) e (b)). Assim, os limites superiores e inferiores, primeiro e terceiro quartil, mediana, foram iguais, sendo representados graficamente por um traço.

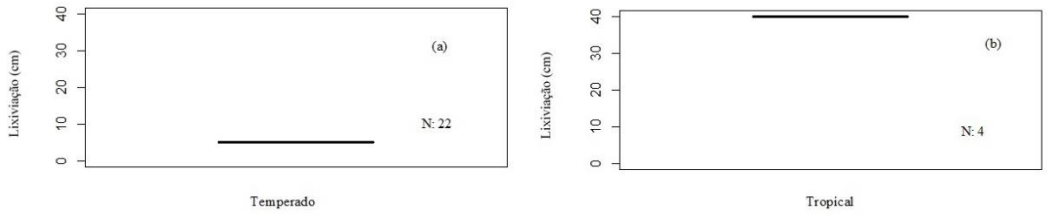


Figura 9. Lixiviação (cm) de imazaquin em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Neste contexto, a lixiviação desse herbicida foi de 40 cm em clima tropical (Figura 9 (b)), em ensaio de colunas de PVC, realizado com solos de textura contrastantes (arenoso e argiloso), com pH em torno de 6,0 e precipitação de 30 e 90 mm, para esses dois solos, respectivamente (Inoue et al., 2002). Essa pluviosidade concentrada (90 mm) aliada a elevada solubilidade do imazaquin (102000 mg L^{-1}) aumentou o potencial de lixiviação em condições tropicais (Christoffoleti et al., 2008).

Enquanto em clima temperado a lixiviação foi de 5 cm, em experimento de campo, com solos diferentes, pH variável entre 7,0 e 7,2 e matéria orgânica em torno de 4.5% (Curran et al., 1991). O imazaquin é um ácido fraco (pKa = 3,45), assim maiores valores de pH do solo aumentaram a disponibilidade dessa molécula em solução do solo, e, consequentemente, a possibilidade de ocorrer processos de transporte, como a lixiviação (Christoffoleti et al., 2008). Entretanto, em zonas temperadas, apesar dos elevados valores de pH, a lixiviação foi menor, isso pode ter ocorrido devido à afinidade do imazaquin com as porções positivas da MOS (Kraemer et al., 2009).

Para o imazethapyr, em clima temperado, os dados de lixiviação apresentaram limite inferior de 12 cm, enquanto a mediana e o limite superior foram equivalentes, sendo de 150 cm (Figura 10 (a)). Nessas amostras, notou-se que 56,25% e 37,50% foram referentes as lixiviações de 150 e 15 cm, respectivamente. Esses valores foram obtidos em experimentos com solos de texturas variáveis, com pH entre 7,8 e 8,1, MOS entre 2.09 e 2.10% (Vischetti, 1995; Johnson et al., 2000;). O diferencial entre esses dois estudos foi a metodologia, sendo que Johnson et al.

(2000) obtiveram a lixiviação de 15 cm por meio de colunas de solo com uso radioisótopo ^{14}C analisado por ECL (Espectrometria de Cintilação Líquida), enquanto que Vischetti (1995) utilizou o método CALF (*Calculation Flow*), resultando em 150 cm de percolação.

A ECL irá localizar, detectar e quantificar o herbicida lixiviado (Mendes et al., 2017; Dias et al., 2017). O modelo matemático CALF descreve a lixiviação considerando a as taxas de degradação e sorção dos herbicidas no perfil do solo (Walker, 1987). Esse tipo de modelo simplifica o comportamento da molécula no ambiente e devem ser interpretados de acordo com essas simplificações (Matos et al., 2018).

Além disso, em clima temperado pode ocorrer o congelamento da superfície do solo, quando as temperaturas se aproximam de 0 °C, e no hemisfério norte é comum a ocorrência de neve, e com isso, a água em solução do solo é congelada. Desse modo, quando essa condição é cessada e as temperaturas sobem, a água é descongelada e, portanto, seu fluxo se torna intenso no perfil do solo. Esse fluxo aumentado pode ter potencializado a mobilidade de moléculas como o imazethapyr, cuja solubilidade é elevada (1400 mg L^{-1}), ocasionando em resultados como os obtidos por Vischetti (1995).

Em clima tropical, ocorreu menor movimentação do imazethapyr no perfil do solo, sendo o limite superior encontrado de 70 cm e a mediana de aproximadamente 30 cm (Figura 10 (b)). Dentro desses valores, 40%, 25%, 20%, 10% e 5% representam as lixiviações de 20-30 cm, 40 cm, 10-15 cm, 42,5 cm e 70 cm, respectivamente. Notou-se que essas maiores porcentagens se referem a amostras coletadas em solos com pH variável entre 5,1 e 6,9, MOS de 0,7 e 1,2%. Os menores valores de pH dos solos tropicais favoreceram a redução da mobilidade do imazethapyr, devido ao aumento da sorção e redução da biodisponibilidade (Aichele e Penner, 2005).

Além disso, as características dos materiais orgânicos do solo variam com o material de origem, tipo de clima e manejo do solo (Alleoni, 2002). Em solos de regiões tropicais observou-se que a MOS é o principal fator responsável pela sorção dos herbicidas no solo (Santos e Camargo, 1999; Beltrão e Pereira, 2001; Alleoni, 2002; Christoffoleti et al., 2008); e o imazethapyr apresenta log K_{ow} de 1,49, sendo uma molécula lipofílica, ou seja, com alta afinidade pelos compostos orgânicos do solo (PPDB, 2020). Assim, em condições tropicais o imazethapyr foi ligado a MOS, causando redução da lixiviação quando comparado ao clima temperado.

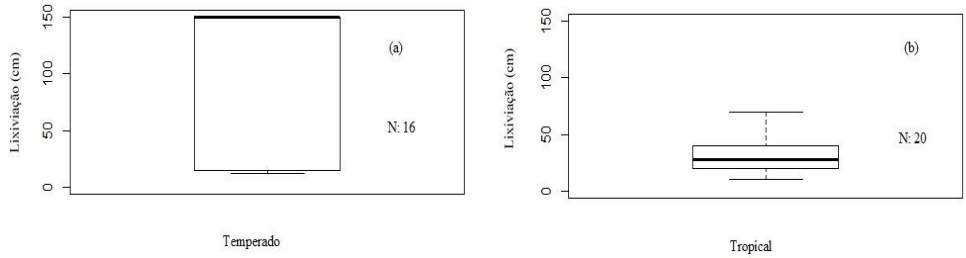


Figura 10. Lixiviação (cm) de imazethapyr no perfil do solo em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

A molécula de imazapyr apresentou lixiviação variável entre 15 e 30 cm, com mediana de 20 cm, em clima temperado (Figura 11 (a)). Cerca de 69,22% e 15,38% dos dados foram indicativos de lixiviação de 20-30 e 15 cm, respectivamente. Esses resultados foram obtidos em experimentos com colunas de PVC e bioensaio, com diferentes tipos de solos, de pH variável entre 5,42 e 7,75 e MOS de 3,4 a 3,9% (Vizantinopoulos e Lolos, 1994; McDowell et al., 1997). Os 15,38% restantes corresponderam a movimentação desse herbicida entre 60-90 cm, em que o pH do solo foi de aproximadamente 6,85, o C.O. de 0.62%, com utilização de análise de HPLC (Borjesson et al., 2004).

Neste contexto, notou-se que conforme ocorreu redução dos materiais orgânicos do solo a lixiviação do imazapyr foi aumentada em clima temperado. Assim, nos estudos de McDowell et al. (1997) e Vizantinopoulos e Lolos (1994) o elevado teor de MOS causou a sorção do imazapyr, reduzindo sua percolação no perfil do solo.

Em clima tropical esse herbicida se movimentou entre 0 e 30 cm, com mediana de 25 cm (Figura 11 (b)). Dentro desse conjunto, 68,17% dos dados referiram-se a lixiviações de 20-30 cm, correspondente a estudos em solos com pH entre 5,1 e 6,1, MOS de 1.2 a 2.35% e com precipitação de cerca de 160 mm (Souza, 2000; Firmino et al., 2008). Aproximadamente, 22,72% das amostras representaram lixiviação de 10-15 cm, em que o pH estava em torno de 5,3 e a precipitação de 20 mm (Monquero et al., 2008).

Assim, observou-se que a redução da precipitação no estudo de Monquero et al. (2008) ocasionou em menor mobilidade do imazapyr no perfil dos solos tropicais. O imazapyr apresenta alta solubilidade em água (9740 mg L^{-1}), consequentemente, conforme aumentou-se o teor de água no solo (precipitação 160 mm) essa molécula foi disponibilizada na solução do solo, promovendo maior lixiviação (Dias et al., 2017).

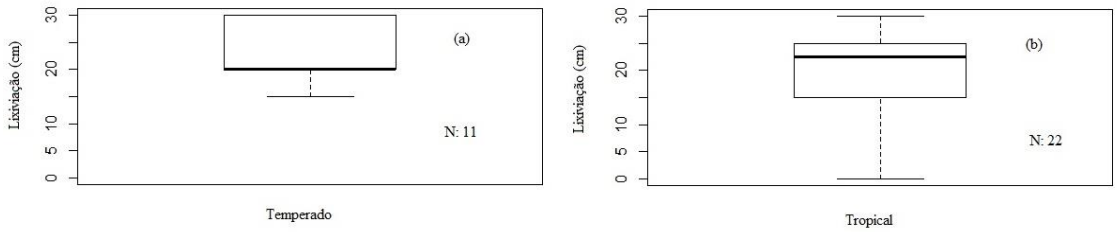


Figura 11. Lixiviação (cm) de imazapyr em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Ao compararmos as médias de lixiviação nos dois climas, notou-se que o imazapyr e o imazethapyr apresentaram essa variável 1,55 e 3,08 vezes maior em clima temperado em relação ao tropical. As precipitações concentradas em apenas uma época do ano aliadas ao congelamento da superfície do solo aumentam o fluxo de água no ambiente solo-planta em clima temperado (Daam e Brink, 2009). Enquanto em condições tropicais, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, não ocorrendo encharcamento dos solos, e, consequentemente, evitando que os herbicidas altamente solúveis em água (imazapyr e imazethapyr) se tornem mais disponíveis na solução do solo.

A molécula de imazamox apresentou lixiviação igual para os dois climas estudados. Esse conjunto de dados foi obtido de artigos realizados em ambientes controlados (casa de vegetação e laboratório), desse modo, o resultado obtido não considerou todas as variáveis edafoclimáticas envolvidas nos processos de transporte dos herbicidas no solo (Carter, 2000; Christoffoleti et al., 2008; Dias et al., 2017).

Enquanto o herbicida imazaquin se notou maior potencial de ser lixiviado em clima tropical que em temperado. Neste caso, o número de amostras em condições tropicais foi reduzido (N=4) e obtida em estudos realizados em casa de vegetação, com condições controladas, podendo ter sido superestimada a lixiviação neste clima.

Não foi possível realizar a meta-análise para o imazapic devido à inexistência de dados em clima temperado para comparação, enquanto o imazamox e imazaquin não apresentaram conjunto de dados com distribuição normal e, desse modo, não foi possível obter a estimativa combinada (Tabela 3). Para a meta-análise é necessário que o número de amostras seja o maior possível (Lovatto et al., 2007); entretanto com a escassez de dados de lixiviação na literatura foi inviável realizar a análise para essas moléculas.

Para o imazethapyr notou-se que a lixiviação é de 29,54 e 91,07 cm em clima tropical e temperado, respectivamente (Tabela 3). Enquanto o imazapyr, a estimativa combinada da lixiviação foi de 20,38 e 23,68 cm em condições tropicais e temperadas, respectivamente

(Tabela 3). Assim, em condições temperadas o imazethapyr apresentou grande potencial em ser percolado e, consequentemente, contaminar as águas subterrâneas (Sondhia, 2013).

Tabela 3. Meta-análise dos dados de lixiviação referentes aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Herbicida	Clima			
	Tropical		Temperado	
	Estimativa combinada	SD combinado[/1]	Estimativa combinada	SD combinado[/1]
Imazethapyr	29,54	3,22	91,07	16,71
Imazapic	20,60	2,34	-	-
Imazapyr	20,38	1,80	23,68	1,82
Imazamox	anormalidade	anormalidade	anormalidade	anormalidade
Imazaquin	anormalidade	anormalidade	anormalidade	anormalidade

[/1]: SD combinado corresponde ao desvio padrão combinado encontrado na meta-análise.

Na Figura 14, a razão T/NT (Tropical/Temperado) indica em qual dos climas a variável lixiviação foi maior. Desse modo, o imazapyr e imazethapyr foram mais lixiviáveis em clima temperado, enquanto o imazaquin apresentou maior potencial de lixiviação em clima tropical (Figura 12). O imazamox obteve essa variável igual em ambas as condições (Figura 12).

Portanto, as peculiaridades das moléculas (pK_a, K_{ow}, solubilidade), mesmo pertencendo ao mesmo grupo químico, podem gerar diferentes respostas ao interagirem com as condições edafoclimáticas, sendo necessários maiores números de estudos e especificidades de metodologia para medir a lixiviação em diferentes climas.

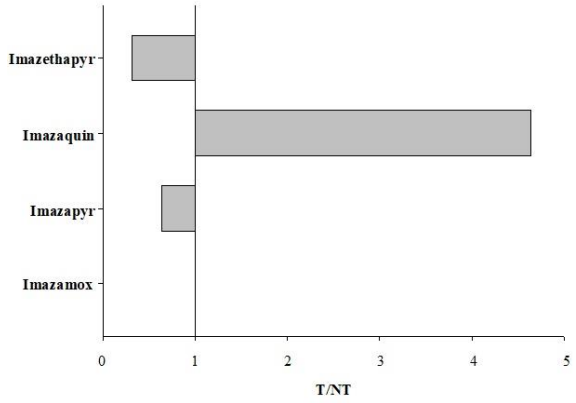


Figura 12. Comparação entre a lixiviação dos herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas em clima tropical e temperado.

3.3 Meia-vida no solo de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

De acordo com Silva et al. (2014) as características do solo (MOS, pH e textura), atividade microbiana, condições climáticas (temperatura e precipitação) e manejo (sistema de plantio e doses aplicadas) são os principais fatores que regem a persistência dos herbicidas no solo. No banco de dados notou-se média de pH e MOS de 7,0 e 2,35%, 5,71 e 3,73% em clima temperado e tropical, respectivamente.

Contrariamente, os elevados teores de MOS em clima tropical intensificam a atividade microbiana, juntamente com as altas temperaturas e umidade (Bona et al., 2006; Oliveira et al., 2008). Além disso, com a aplicação de imidazolinonas ocorre a adição de estruturas carbonadas no solo que promovem aumento na degradação microbiana (Bona et al., 2006; Kraemer et al., 2009); levando a rápida dissipação desses herbicidas em clima tropical.

Em clima temperado, o imazamox acarretou meia-vida variável entre 10 e 20 dias aproximadamente, com mediana igual a 17,1 dias (Figura 13 (a)). Notou-se que as amostras ficaram divididas 33,3% nos $t_{1/2}$ de 10, 17 e 19 dias. Essas condições experimentais foram de temperatura média em torno de 25°C, pH do solo entre 7 e 8,1; argila entre 12 e 29% (Vischetti et al., 2002; Aichele e Penner, 2005).

Desse modo, essas condições de elevada temperatura, mesmo em clima temperado, intensificam a degradação microbiana, que é a principal via de dissipação do grupo químico das imidazolinonas do solo (Flint e Witt, 1997).

No clima tropical, o $t_{1/2}$ desse herbicida apresentou limite superior, inferior e mediana iguais a 34,7; 21,1 e 24,9 dias, respectivamente (Figura 13 (b)). Observou-se nessas condições que 50, 37.5 e 12.5% dos dados corresponderam a meia-vida de cerca de 27, 21 e 34 dias, respectivamente (Cobucci et al., 1998). Esses experimentos foram realizados em Latossolo Vermelho distrófico, com 43% de argila, pH de 5,4, MOS de 2,1%, temperatura máxima e mínima iguais a 30 e 20 °C, respectivamente. A grande diferença para o aumento da persistência de 21 para 34 dias foi a redução da precipitação de 465 para 289,5 mm, nessa ordem (Cobucci et al., 1998).

Assim, a redução da precipitação pode ser associada ao aumento da persistência do imazamox no solo, ou seja, em solo mais seco, além da redução da atividade microbiana, ocorre menor disponibilidade do herbicida na solução do solo, e, consequentemente, sua sorção a matéria orgânica é potencializada (Kraemer et al., 2009; Christoffoleti et al., 2008).

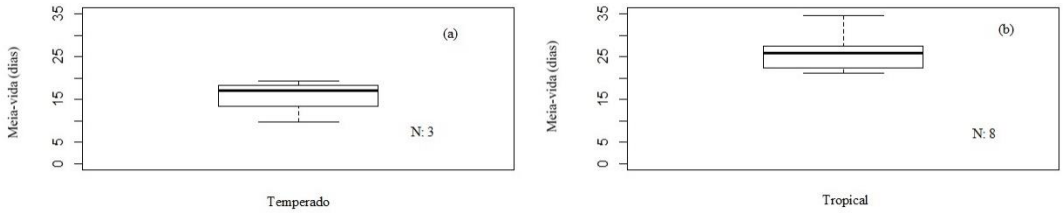


Figura 13. Meia-vida (dias) de imazamox em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Observou-se menor persistência de imazapic em clima tropical comparando-se com o temperado (Figura 14 (a) e (b)). Em clima temperado, o $t_{1/2}$ ficou entre 19 e 400 dias, com mediana de 50 dias (Figura 14 (a)). Em 50, 25 e 25% dos dados a meia-vida correspondente foi de 400, 35 e 42 dias, respectivamente. Essas amostras foram oriundas dos estudosde Jovanovic-Radovanov (2017), em que bioensaios em casa-de-vegetação com mostarda subestimaram a persistência (35-42 dias), em solos com 2,69% de MOS, 9.9% de argila, e dose aplicada de 0,08 e 0,12 kg de i.a. ha^{-1}, 617.4 mm de precipitação. Essas mesmas condições foram repetidas no campo e ocasionaram na persistência de 400 dias (Jovanovic-Radovanov, 2017).

O uso de o dobro da dose resultou em aumento da persistência em 7 dias do imazapic por meio de bioensaio na casa de vegetação, sendo importante a adequação da dosagem do herbicida aplicado ao tipo de solo e clima, e fim de reduzir problemas ambientais (Mancuso et al., 2011). Além disso, foi visto que os estudosem condições de campo acarretaram persistência 9,5 vezes maior que o estudo na casa de vegetação, ou seja, as condições controladas de clima subestimaram os resultados encontrados.

Em condições tropicais, essa variável foi entre 3 e 200 dias, com mediana de aproximadamente 20 dias (Figura 14 (b)). Cerca de 38,45; 30,69; 23,0 e 7,69% do conjunto de dados foram referentes a meia vida de aproximadamente 30, 5, 150 e 210 dias, respectivamente. As maiores persistências (150 a 210 dias) foram obtidas em experimentos em solo argiloso, com MOS de 2,2%, pH de 6,1, temperatura variável entre 30 e 18 °C (Martini et al., 2013;Neto et al., 2016; Souza et al., 2016).

Os caracteres desses solos se assemelham com os dos experimentos de Jovanovic-Radovanov (2017) feito em clima temperado, assim a elevada MOS e pH promovem maior sorção das moléculas do herbicida pelos coloides orgânicos do solo, acarretando elevadas $t_{1/2.}$

Os menores tempo de meia-vida observados, em torno de 3 e 8 dias, foram encontradas em ensaios com precipitação média de 1114 mm, pH de 5,1, MOS de 1,9% e 21% de argila (Bajrai et al., 2017).

O menor teor de MOS dos solos tropicais juntamente com as maiores precipitações observadas promovem aumento da disponibilidade do herbicida na solução do solo, pois o imazapic é altamente solúvel em água (2230 mg L^{-1}), assim o produto fica livre para ser lixiviado no perfil do solo e sua persistência é reduzida (Kraemer et al., 2009; Sousa, 2010; Silva et al., 2014).

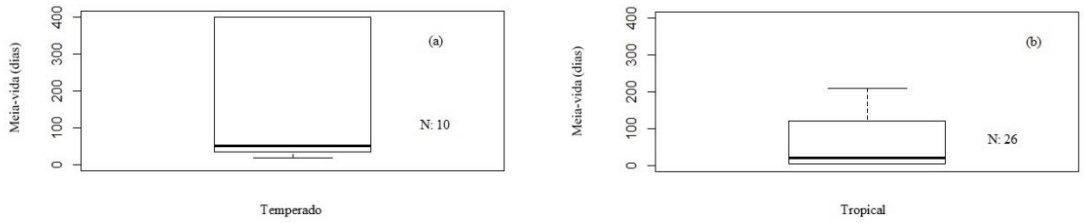


Figura 14. Meia-vida (dias) de imazapic em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Não foram encontrados relatos sobre a persistência de imazaquin, em clima tropical, na literatura. Em condições temperadas, o número de amostras encontrada foi reduzido (N=8), variando entre 7 e 123 dias, com mediana de cerca de 65 dias (Figura 15). Cerca de 25% desses dados corresponderam a meia-vida de 25 dias, em experimentos com temperatura média de 26 °C, precipitação de 322,8 mm, em solo com pH de 6,4, MOS de 2,9%; 66% de argila (Seifert et al., 2001). Já em 12,5% das amostras, o $t_{1/2}$ foi de 123 dias, em experimentos com precipitação de 531 mm, em solo com pH de 5,7 e MOS de 5.8% (Loux et al., 1989).

Desse modo, comparando-se os trabalhos vê-se que o incremento do teor de MOS em Loux et al. (1989) promoveu aumento da meia-vida do imazaquin no solo. De acordo Christoffoleti et al. (2008), conforme ocorre aumento do teor de matéria orgânica do solo há maior sorção de herbicidas residuais, reduzindo a disponibilidade da molécula no perfil do solo para mover-se, degradar e/ou ser absorvida pelas plantas.

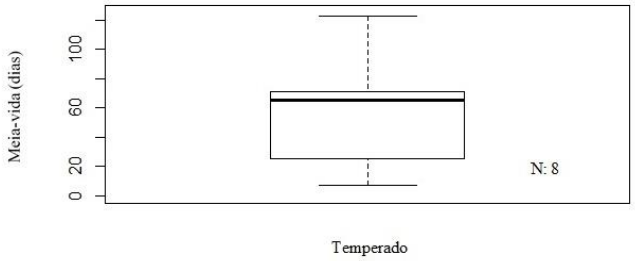


Figura 15. Meia-vida (dias) de imazaquin em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Semelhantemente ao imazamox, observou-se maior meia-vida de imazethapyr em clima tropical do que em temperado (Figura 16 (a) e (b)). Em condições tropicais, os limites superior, inferior e a mediana foram de 1095, 7 e 90 dias, respectivamente (Figura 16 (b)). No conjunto

de dados, notou-se que 45% dos ensaios indicaram persistência variável entre 1095, 720, 450 e 360 dias, esses experimentos foram realizados em solos com pH entre 7,0 e 8,0, MOS de 3%, precipitação em torno de 460 mm, com aplicação de doses variáveis entre 0,072 e 0,1 kg de i. a. ha^{-1} (Hollaway e Noy, 2000; Hollaway et al., 2006; Refatti et al., 2017).

Essas situações de pH, MOS e pluviosidade são próximas as observadas nos solos temperados, pois foram obtidos em experimentos realizados em Pelotas (RS) e em Kaniva, na Austrália, cujos climas são classificados como quente e temperado (Climate, 2019). Desse modo, em países de grande extensão territorial, como Austrália e Brasil, é importante não ser generalista quanto as condições climáticas e verificar as particularidades de cada município.

Já em clima temperado, o $t_{1/2}$ foi entre 8 e 400 dias, com mediana de aproximadamente 117 dias (Figura 16 (a)). Notou-se que 36,82 e 13,15% desses dados indicaram persistência em torno de 70 a 160 e de 365 a 400 dias, respectivamente (Loux et al., 1989; Goetz et al., 1990; Jovanović-Radovanov, 2017). As maiores meia-vidas observadas (365 e 400 dias) foram realizadas em condições experimentais de pH variando de 7,7 a 6,7, argila entre 9,9 e 51%, MOS de 2,4 à 2,69%, e precipitações de 617.4 e 1623 mm (Goetz et al., 1990; Jovanović-Radovanov, 2017). Além disso, cerca de 15,78% das amostras mostraram $t_{1/2}$ variável entre 35 e 46 dias, em experimentos realizados em casa de vegetação, com pH do solo de 7,69, argila de 9,96%, MOS de 2,69% e precipitação em torno de 617,4 mm (Jovanović-Radovanov, 2017). Novamente, notou-se que em condições controladas dos experimentos em casa de vegetação, há uma tendência em subestimação dos resultados de persistência.

Além disso, as características da argila variam conforme o tipo de solo, em solos temperados ocorre predomínio de minerais do tipo 2:1 (montmorilionita e vermiculita) cuja maior superfície específica (600-800 $m^2\ g^{-1}$) apresentam maior capacidade adortiva dos herbicidas quando comparado aos óxidos de ferro e alumínio (hematira, goethita, gibbsita) e os minerais silicatados 1:1 (caulinita e haloisita), abundantes dos solos tropicais com baixa superfície específica (1-30 $m^2\ g^{-1}$) (Bailey e White, 1970; Christoffoleti et al., 2008; Silva et al., 2014). Essa maior adsorção promove aumento da persistência dos herbicidas em condições temperadas, onde não só os atributos do solo, mas também as baixas temperaturas diminuem o tempo de dissipação das moléculas.

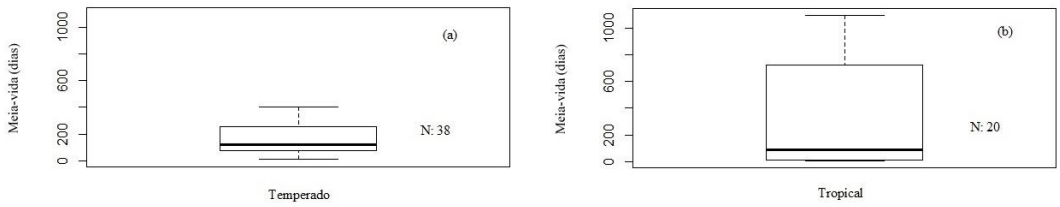


Figura 16. Meia-vida (dias) de imazethapyr em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

A meia-vida de imazapyr seguiu a mesma tendência observada para o geral das imidazolinonas e para o imazapic, sendo maior em clima temperado que em tropical (Figuras 17 (a) e (b)). Em clima temperado, o $t_{1/2}$ dessa molécula variou entre 1605 e 24 dias, com mediana em torno de 73 dias (Figura 20 (a)). Notou-se que cerca de 27,5, 20 e 15% das amostras representaram tempo de meia-vida de 25 a 30, 60 a 80, 883 a 1605 dias, respectivamente (Krausz et al., 1992; McDowell et al., 1999; Borjesson et al., 2004; Raymundo-Raymundo et al., 2011;). A maior persistência (1605 dias) foi relatada em experimento em solo com teor de argila de 24%, pH de 6,2, C.O. de 6% e CTC de 23,0 (Raymundo-Raymundo et al., 2011); enquanto que a meia-vida em torno de 50 dias, foi obtida em pH de 8,1 e temperatura média de 28 a 25 °C (Azzouzi et al., 1998).

Assim, conforme os valores de pH aumentaram a tendência foi a meia-vida diminuir, pois nessa condição a sorção do imazapyr é reduzida, devido à sua característica de ácido fraco (pKa 3,7), predominando na forma COO^-, sendo repelido pelas cargas negativas do solo, tornando-se mais disponível em solução do solo (Kraemet el al., 2009; Sousa, 2010).

Em clima tropical, se observou variação entre 5 e 30 dias, com mediana de 19 dias (Figura 17 (b)). Aproximadamente 44,4% do conjunto de dados relatou persistência entre 5 e 10 dias, correspondente a ensaios feitos em solo com C.O. de 6%, pH de 4, teor de argila de 21% e temperatura média de 35°C (Ismail e Ahmad, 1994). Neste mesmo estudo, notou-se que redução de 10°C na temperatura média mudou a persistência de 5 para 12 dias em solo arenoso (42% de areia), e de 7 para 22 dias em solo argiloso (44% de argila) (Ismail e Ahmad, 1994).

Além disso, cerca de 33.3% das amostras foram referentes a meia-vida de 25 a 29 dias, em experimentos com solo de teor de argila de 32%, pH de 4,29, MOS de 9,05 (Bajrai et al., 2017). Esses baixos valores de pH de solos tropicais fazem com que o imazapyr se torne predominante na forma COOH, cuja maior afinidade será a camada difusa das argilas, cujo pH é menor, e as frações positivas da matéria orgânica (Kraemer et al., 2009).

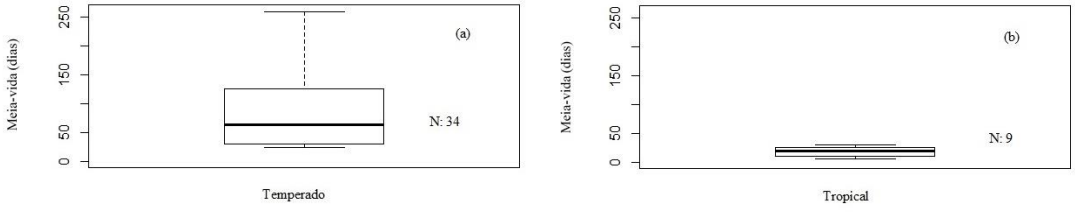


Figura 17. Meia-vida (dias) de imazapyr em clima temperado (a) e tropical (b), respectivamente.

Notou-se média de $t_{1/2}$ de imazapic e imazapyr cerca de 3,1 e 14,4 maiores respectivamente, em clima temperado comparado ao tropical. Enquanto para o imazamox e imazethapyr a média de persistência foi em torno de 0,59 e 0,45 vezes maior respectivamente, em clima tropical em relação ao temperado. Para a molécula de imazaquin não se procedeu a comparação devido à inexistência de dados em clima tropical.

De acordo com a meta-análise, em clima tropical a persistência de imazethapyr e imazamox foram superiores ao clima temperado (Tabela 5). Enquanto para os herbicidas imazapic e imazapyr foram obtidas meia-vida maiores em clima temperado comparado ao tropical (Tabela 5).

Os elevados teores de MOS e de pH em condições temperadas aliado as baixas temperaturas podem ter favorecido a maior meia-vida de imazapic e imazapyr. Além disso, com a grande extensão territorial brasileira e as dificuldades de se classificar o clima como um todo, notou-se que as condições de solo em que se testou a persistência de imazethapyr e imazamox foram semelhantes a de clima temperado, podendo ser potencializado esse resultado no clima tropical.

Tabela 4. Meta-análise dos dados de meia-vida referentes aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas

Herbicida	**Clima**			
	Tropical		**Temperado**	
	Estimativa combinada	**SD combinado[/1]**	**Estimativa combinada**	**SD combinado[/1]**
Imazethapyr	359,56	95,30	163,62	19,65
Imazapyr	17,79	2,80	87,69	11,95
Imazamox	25,90	1,43	13,05	0,87
Imazapic	58,91	13,37	183,10	56,07
Imazaquin	-	-	-	-

[/1]: SD combinado corresponde ao desvio padrão combinado encontrado na meta-análise.

A razão T/NT (Tropical/Temperado) representa em qual dos climas a persistência dos herbicidas foi maior (Figura 18). Desse modo, notou-se que as moléculas não seguiram uma tendência geral, sendo o tempo de meia-vida de imazethapyr e imazamox maiores em clima tropical, enquanto o imazapic e o imazapyr apresentaram maior $t_{1/2}$ em clima temperado (Figura 18). Assim, apesar de pertencerem ao mesmo grupo químico os herbicidas apresentam certas peculiaridades ao serem submetidos em diferentes climas que alteram sua dinâmica no solo.

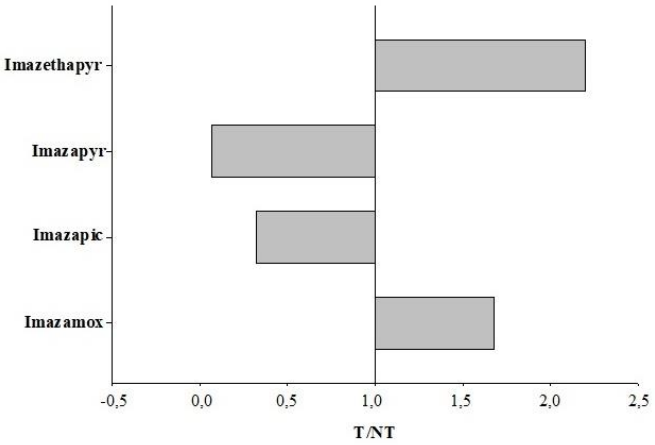


Figura 18. Comparação entre a meia-vida dos herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas em clima tropical e temperado.

Contudo, observou-se que o comportamento das imidazolinonas no solo apresentou maior potencial de *carryover*, lixiviação e persistência em clima temperado, ao analisarmos o geral do grupo químico. Entretanto, ao analisar as propriedades físico-químicas de cada molécula em separado (pK_a, K_{ow}, solubilidade em água) e sua interação com as condições edafoclimáticas, essas variáveis podem apresentar dinâmicas distintas nos climas estudados.

4. CONCLUSÕES

Herbicidas do grupo químico das imidazolinonas de modo geral, estão sujeitos a maior efeito residual, lixiviação e tempo de meia-vida em clima temperado. Entretanto, notou-se que as propriedades físico-químicas das moléculas podem acarretar mudanças nesse comportamento ao analisar os herbicidas em diferentes tipos de solo. Desse modo, o presente trabalho é de grande importância para a ciência das plantas daninhas, elucidando o comportamento dos herbicidas inibidores da ALS pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas, através de pesquisas realizadas em diferentes países com metodologias distintas.

5. REFERÊNCIAS

AICHELE, T. M., PENNER, D. Adsorption, desorption, and degradation of imidazolinones in soil. **Weed Technology**, v. 19, n. 1, p. 154-159, 2005.

ALLEONI, L.R.F. Principais atributos dos solos relacionados à dinâmica de defensivos. In: ALLEONI, L.R.F.; REGITANO, J.B. (Coord.) SIMPÓSIO SOBRE DINÂMICA DE

DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO SOLO: ASPECTOS PRÁTICOS E AMBIENTAIS, Piracicaba, 2002. Anais... Piracicaba: LSN, ESALQ/USP, 2002. p.6-22.

AZZOUZI, M. E. Study on the behaviour of imazapyr in two Moroccan soils. **Weed Research**, v. 38, n. 3, p. 217-220, 1998.

BAJRAI, F. S. M., ISMAIL, B. S., MARDIANA-JANSAR, K., & OMAR, R. Persistence of imazapic and imazapyr in paddy soil and water. **Int'l Journal of Advances & Environmental Engg**, v. 4, n. 1, p. 12-15, 2017.

BEDMAR, F.; GIANELLI, V. Comportamiento de los herbicidas em el suelo. In: FERNÁNDEZ, O.A.; LEGUIZAMÓN, E.S.; ACCIARESI, H.A. (Ed.). **Malezas e invasoras de la Argentina: ecología y manejo.** Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, v. 1, 2014, p. 361-390.

BELTRÃO, N.E.M.; PEREIRA, J.R. Injúrias. Diagnostique quando o herbicida prejudica o algodão. Caderno Técnico Cultivar, Junho, 2001. 14p.

BONA, F. D., BAYER, C., BERGAMASCHI, H., DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Colo, v**. 30, n. 5, p. 911-919, 2006.

BÖRJESSON, E., TORSTENSSON, L., & STENSTRÖM, J. The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 60, n. 6, p. 544-549, 2004.

BOVEY, R. W., SENSEMAN, S. A. Response of food and forage crops to soil-applied imazapyr. **Weed Science**, v. 46, n. 5, p. 614-617, 1998.

BRIGHENTI, A., MORAES, J., OLIVEIRA JR, R. S., & GOMES, J. Persistência e fitotoxicidade de herbicidas, aplicados na soja, sobre o girassol safrinha. **Embrapa Soja**, 2000.

CARTER, A. D. Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes**. Weed Research**, v. 40, n. 1, p.113-122, 2000.

CASSINO, N., BEDMAR, F., MONTERUBBIANESI, G., & GIANELLI, V. Efectos residuales de Imazamox sobre cultivos de invierno y de verano en Argentina. **Ciencias Agronómicas**, v. X, p. 23-29, 2017.

CHRISTOFFOLETI, P. J., LÓPEZ-OVEJERO, R. F., DAMIN, V., CARVALHO, S. J. P., NICOLAI, M. Comportamento de herbicidas no solo. In: Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **Piracicaba: CP**, v. 2, p. 72, 2009.

COBUCCI, T., PRATES, H. T., FALCÃO, C. L., & REZENDE, M. M. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. **Weed Science**, v. 46, n. 2, p. 258-263, 1998.

CURRAN, W. S., KNAKE, E. L., & LIEBL, R. A. Corn (Zea mays) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v. 5, n. 3, p. 539-544, 1991.

DAAM, M. A., & VAN DEN BRINK, P. J. Implications of differences between temperate and tropical freshwater ecosystems for the ecological risk assessment of pesticides. **Ecotoxicology**, v. 19, n. 1, p. 24-37, 2010.

DAN, H. D. A., DAN, L. D. M., BARROSO, A. D. L., PROCÓPIO, S. D. O., OLIVEIRA, J., BRAZ, G. B. P., ALONSO, D. G. Atividade residual de herbicidas usados na soja sobre o girassol cultivado em sucessão. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012.

DE OLIVEIRA, M. F., & BRIGHENTI, A. M. (2011). Comportamento dos herbicidas no ambiente. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.
DIAS, R. C., MENDES, K. F., OLIVEIRA, C. R., PUCCI, L. F., REIS, M. R. Métodos de análise e comportamento de herbicidas no solo. In: LOPES, E. A., CARVALHO FILHO, A., NOBRE, D. A, C., MENDES, F. Q., FERNANDES, F. L., PINTO, F. G., SILVA, G. H., TRONTO, J., VISSÔTO, L. E., BORGES, P. D., RUAS, R. A. A., NOVAES, R. F. **A química na produção vegetal**, 2017, p.339-399.

EMBRAPA. 2006. Disponível em: < http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do58.pdf>
EMBRAPA. 2019. Disponível em: < https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>

FIRMINO, L. E. et al. Sorção do imazapyr em solo com diferentes texturas. Planta Daninha, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.

FIRMINO, L. E., TUFFI SANTOS, L. D., FERREIRA, L. R., FERREIRA, F. A., & QUIRINO, A. L. S. Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 223-230, 2008.

FLINT, J. L.; WITT, W. W. Microbial degradation of imazaquin and imazethapyr. **Weed Science**, v. 45, n. 4, p. 586-591, 1997.

GAZZIERO, D. L. P., KARAN, D., VOLL, E., ULBRICH, A. Persistência dos herbicidas imazaquin e imazethapyr no solo e os efeitos sobre plantas de milho e pepino. **Planta Daninha**, v. 15, n. 2, 1997.

GOETZ, A. J., LAVY, T. L., & GBUR, E. E. Degradation and field persistence of imazethapyr. **Weed Science**, v. 38, n. 4-5, p. 421-428, 1990.

GRICHAR, W. J., BESLER, B. A., BAUGHMAN, T. A., DOTRAY, P. A., LEMON, R. G., SENSEMAN, S. A. Cotton Response to Imazapic and Imazethapyr Residue Following Peanut. **Texas Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 17, p. 32-39, 2016.

GRICHAR, W. J., BESLER, B. A., BAUGHMAN, T. A., DOTRAY, P. A., LEMON, R. G., SENSEMAN, S. A. Cotton Response to Imazapic and Imazethapyr Residue Following Peanut. **Texas Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 17, p. 32-39, 2016.

HOLLAWAY, K. L., & NOY, D. M. Imazethapyr Recropping Recommendations for Canola are Suitable for Australia's Neutral-Alkaline Soils. **Aust. Soc. Agron**, 2001.

HOLLAWAY, K. L., KOOKANA, R. S., NOY, D. M., SMITH, J. G., & WILHELM, N. Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 5, p. 669-674, 2006.

https://www.usclimatedata.com/climate/denver-city/texas/united-states/ustx1876

INOUE, M. H., MARCHIORI JR, O., OLIVEIRA JR, R. S., CONSTANTIN, J., & TORMENA, C. A. Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 125-132, 2002.
ISMAIL, B. S., & AHMAD, A. R. Attenuation of the herbicidal activities of glufosinate-ammonium and imazapyr in two soils. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 47, n. 4, p. 279-285, 1994.

JENKINS, S. R., WEHTJE, G. R., MORGAN, J. M., BOLLINGER, A. F., & YOUNG, D. G. Temperature effects on retention of atrazine and imazapyr on soils. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 118, n. 1, p. 169-178, 2000.

JOHNSON, D. H., & TALBERT, R. E. Cotton (Gossypium hirsutum) response to imazaquin and imazethapyr soil residues. **Weed science**, v. 44, n. 1, p. 156-161, 1996.

JOHNSON, D. H., SHANER, D. L., DEANE, J., MACKERSIE, L. A., & TUXHORN, G. Time-dependent adsorption of imazethapyr to soil. **Weed Science**, v. 48, n. 6, p. 769-775, 2000.

JOURDAN, S. W. et al. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. Weed Sci., v. 46, n. 5, p. 608-613, 1998.

JOVANOVIĆ-RADOVANOV, K. Imazethapyr persistence in sandy loam detected using white mustard bioassay. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 52, n. 10, p. 711-718, 2017.

KLEIN W. Mobility of environmental chemicals, including abiotic degradation. **Ecotoxicology and climate: with special reference to hot and cold climates**, p. 65-78, 1989.

KÖEPPEN, W. Climatologia: **Con um estúdio de los climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

KOSKINEN, W. C., HARPER, S. S. The retention process: mechanisms. In: CHENG, LEON, V. W. J.; CARL, R. F. A bioassay technique detects imazethapyr leaching and liming-dependant activity. **Weed Technology**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2001.

KRAEMER, A. F., MARCHESAN, E., AVILA, L. A., MACHADO, S. L. O., & GROHS, M. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas: revisão. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 629-639, 2009.

KRAUSZ, R. F., KAPUSTA, G., KNAKE, E. L. Soybean (Glycine max) and rotational crop tolerance to chlorimuron, clomazone, imazaquin, and imazethapyr. **Weed Technology**, v. 6, n. 1, p. 77-80, 1992.

LOUX, M. M., LIEBL, R. A., & SLIFE, F. W. Availability and persistence of imazaquin, imazethapyr, and clomazone in soil. **Weed Science**, v. 37, n. 2, p. 259-267, 1989.

LOUX, M. M., REESE, K. D. Effect of soil type and pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides. **Weed Technology**, v. 7, n. 2, p. 452-458, 1993.

LOVATTO, P. A., LEHNEN, C. R., ANDRETTA, I., CARVALHO, A. D., HAUSCHILD, L. Meta-análise em pesquisas científicas-enfoque em metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. supl esp, 2007.

MAGALLONA E. D. Effects of inseticides in rice ecosystems in Southeast Asia.In: BOURDEAU, P.; HAINES, J. A.; KLEIN, W.; KRISHNA MURTI, C. R. **Ecotoxicology and climate: with special reference to hot and cold climates**, 1989, p. 265-297.

MAGALLONA E. D. Impact of pesticides on tropical ecosystems with emphasis on rice production in the Asian Countries. In: WIDIANARKO B.; VINK K.; VAN STRAALEN N. M. (Eds.). **Environmental toxicology in South East Asia**. VU University Press, Amsterdam, p. 19-31, 1994.

MALTA, L. R. D. S. **Simulação do balanço e transporte de nitrogênio e fósforo provenientes de dejetos animais aplicados em áreas agrícolas-estudo de caso: bacia do Rio Toledo-Paraná-Brasil**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARCHESAN, E., DOS SANTOS, F. M., GROHS, M., DE AVILA, L. A., MACHADO, S. L., SENSEMAN, S. A., SARTORI, G. M. Carryover of imazethapyr and imazapic to nontolerant rice. **Weed Technology**, v. 24, n. 1, p. 6-10, 2010.

MARTINI, L. F. D., MEZZOMO, R. F., DE AVILA, L. A., MASSEY, J. H., MARCHESAN, E., ZANELLA, R., ... & MARQUES, M. Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermittent irrigation of paddy rice. **Agricultural water management**, v. 125, p. 26-34, 2013.

MATOCHA, M. A., GRICHAR, W. J., SENSEMAN, S. A., GERNGROSS, C. A., BRECKE, B. J., VENCILL, W. K. The persistence of imazapic in peanut (Arachis hypogaea) crop rotations. **Weed technology**, v. 17, n. 2, p. 325-329, 2003.

MCDOWELL, R. W., CONDRON, L. M., MAIN, B. E., & DASTGHEIB, F. Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil. **Weed Research**, v. 37, n. 6, p. 381-389, 1997.

MENDES, K.F.; MARTINS, B.A.B.; REIS, F.C.; DIAS, A.C.R.; TORNISIELO, V.L. Methodologies to study the behavior of herbicides on plants and the soil using radioisotopes**. Planta Daninha**, 2017.

MILLER, T. W. Effect of several herbicides on green pea (Pisum sativum) and subsequent crops. **Weed technology**, v. 17, n. 4, p. 731-737, 2003.

MONQUERO, P. A., AMARAL, L. R., BINHA, D. P., SILVA, A. C., & SILVA, P. V. Leaching potential of herbicides in soil under different rainfall simulations. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 403-409, 2008.

MONQUERO, P. A., CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de populações de plantas daninhas resistentes aos herbicidas inibidores da acetolactato sintase. **Planta Daninha**, v. 19, p. 67-74, 2001.

NETO, M. D. D. C., SOUZA, M. D. F., SILVA, D. V., FARIA, A. T., DA SILVA, A. A., PEREIRA, G. A. M., & DE FREITAS, M. A. M. Leaching of imidazolinones in soils under a clearfield system. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 7, p. 897-906, 2017.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Atividade residual de imazaquin e alachlor+ atrazine para plantio seqüencial de canola. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 219-224, 2001.

OLIVEIRA, J. T., DOS SANTOS MOREAU, A. M. S., DE QUEIROZ PAIVA, A., MENEZES, A. A., COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2821-2829, 2008.

O'SULLIVAN, J., THOMAS, R. J., & BOUW, W. J. Effect of imazethapyr and imazamox soil residues on several vegetable crops grown in Ontario. **Canadian journal of plant science**, v. 78, n. 4, p. 647-651, 1998.

PANNACCI, E., ONOFRI, A., & COVARELLI, G. Biological activity, availability and duration of phytotoxicity for imazamox in four different soils of central Italy. **Weed Research**, v. 46, n. 3, p. 243-250, 2006.

PASQUALETTO, A., ZITO, R. K., RUIZ, H. A., & DA SILVA, A. A. Lixiviação de imazethapyr e imazamox em diferentes solos. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, p. 29-34, 1999.

PINTO, J. J. O., NOLDIN, J. A., ROSENTHAL, M. D., PINHO, C. F., ROSSI, F., MACHADO, A., GALON, L. Atividade residual de (imazethapyr+ imazapic) sobre azevém anual (*Lolium multiflorum*), semeado em sucessão ao arroz irrigado, sistema Clearfield®. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 609-619, 2009.

PINTO, J., NOLDIN, J., PINHO, C., ROSSI, F., GALON, L., ALMEIDA, G. Atividade residual de (imazethapyr+ imazapic) para sorgo granífero (Sorghum bicolor) semeado em rotação com o arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 27, n. Especial, 2009.

PRATA F.; LAVORENTI A. Comportamento de herbicidas no solo: influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, v.6, n. 2, p.17-22, 2000.

RAYMUNDO-RAYMUNDO, E., PRADO-PANO, B. L., NIKOLSKII-GAVRILOV, I., & MENDOZA-HERNÁNDEZ, J. H. R. Sorción, degradación y lixiviación de imazapyr en un suelo volcánico de México. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 2, n. 3, p. 61-75, 2011.

REFATTI, J. P., AVILA, L. A. D., NOLDIN, J. A., PACHECO, I., & PESTANA, R. R. Leaching and residual activity of imidazolinone herbicides in lowland soils. **Ciência Rural**, v. 47, n. 5, 2017.

SAKALIENE, O., PAPIERNIK, S. K., KOSKINEN, W. C., & SPOKAS, K. A. Sorption and predicted mobility of herbicides in Baltic soils. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 42, n. 6, p. 641-647, 2007.

SANCHEZ-BAYO, F., HYNE, R. V. Comparison of environmental risks of pesticides between tropical and nontropical regions. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 7, n. 4, p. 577-586, 2011.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênesis: Porto Alegre, 1999. 508p.

SCURSONI, J. A., MONTOYA, J. C., VIGNA, M. R., GIGÓN, R., ISTILART, C., PUGNI, J. P. R., PORFIRI, C. Impact of imazamox and imazapyr carryover on wheat, barley, and oat. **Weed technology**, v. 31, n. 6, p. 838-846, 2017.

SEIFERT, S., SHAW, D. R., KINGERY, W. L., SNIPES, C. E., WESLEY, R. A. Imazaquin mobility and persistence in a Sharkey clay soil as influenced by tillage systems. **Weed Science**, v. 49, n. 4, p. 571-577, 2001.

SILVA, A. A., D'ANTONINO, L., VIVIAN, R., OLIVEIRA JR., R. S. Comportamento de herbicidas no solo. In: MONQUERO, P. A., MARTINS, D. R., MARTINS, P. T., BICUDO, C. E. M., ESPÍNDOLA, E. L. G., MARTINS, J. B., SANTOS, J. E., SATO, M. (Eds.). **Aspectos da Biologia e Manejo das plantas daninhas**, p. 168-215, 2014.

SONDHIA S. Evaluation of imazethapyr leaching in soil under natural rainfall conditions. **Indian Journal of Weed Science** v. 45, n. 1, p.58–61, 2013.

SOUSA, C. P., BACARIN, M. A., PINTO, J. J. O. Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+ imazapic), semeadas em rotação com arroz Clearfield. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 105-111, 2012.

SOUZA, A. D. Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química: I-Método do Bioensaio. **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, 2000.

SOUZA, M. F., C NETO, M. D., MARINHO, M. I., SARAIVA, D. T., FARIA, A. T., SILVA, A. A., & SILVA, D. V. Persistence of imidazolinones in soils under a clearfield system of rice cultivation. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 589-596, 2016.

ULBRICH, A. V., SOUZA, J. R. P., SHANER, D. Persistence and carryover effect of imazapic and imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technology**, v. 19, n. 4, p. 986-991, 2005.

US EPA 2008 https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/000241-00417-20010828.pdf

VISCHETTI, C. Measured and simulated persistence of imazethapyr in soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 54, n. 3, p. 420-427, 1995.

VISCHETTI, C., CASUCCI, C., & PERUCCI, P. Relationship between changes of soil microbial biomass content and imazamox and benfluralin degradation. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 1, p. 13-17, 2002.

VIZANTINOPOULOS, S., LOLOS, P. Persistence and leaching of the herbicide imazapyr in soil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 52, n. 3, p. 404-410, 1994.

WALKER, A. Evaluation of a simulation model for prediction of herbicide movement and persistence in soil. **Weed Research,** v. 27, n. 2, p. 143-152, 1987.

YADAV, R., & BHULLAR, M. S. Residual effects of soybean herbicides on the succeeding winter crops. **Indian Journal of Weed Science**, v. 46, n. 3, p. 305-307, 2014.

YORK, A. C., JORDAN, D. L., BATTS, R. B., CULPEPPER, A. S COTTON response to imazapic and imazethapyr applied to a preceding peanut crop. **Journal of Cotton Science**, v. 4, p. 210-216, 2000.

ANEXO I

Tabela 5. Artigos científicos e seus códigos identificadores do banco de dados construído ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Identificação do artigo	Título	DOI ou link de acesso
Imazamox 1.0	Effect of Imazamox, Fomesafen, and Acifluorfen Soil Residue on Rotational Crops	URL: http://www.jstor.org/stable/4045945
Imazamox 1.1	Sorption and predicted mobility of herbicides in Baltic soils	http://dx.doi.org/10.1080/03601230701465601
Imazamox 1.2	Imazamox dissipation in two rice management systems	doi:10.1017/S0021859616000447
Imazamox 1.3	Effect of imazethapyr and imazamox soil residues on several vegetable crops grown in Ontario	https://doi.org/10.4141/P97-127
Imazamox 1.4	Residual effects of soybean herbicides on the succeeding winter crops	http://www.isws.org.in/IJWSn/File/2014_46_Issue-3_305-307.pdf
Imazamox 1.5	Injury to Vegetable Crops from Herbicides Applied in Previous Years	http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0073:ITVCFH]2.0.CO;2
Imazamox 1.6	Efectos residuales de Imazamox sobre cultivos de invierno y de verano en Argentina	https://cienciasagronomicas.unr.edu.ar/journal/index.php/agronom/article/view/227
Imazamox 1.7	Effect of Several Herbicides on Green Pea (Pisum sativum) and Subsequent Crops	http://dx.doi.org/10.1614/WT02-127
Imazamox 1.8	Response of vetch, lentil, chickpea and red pea to pre- or post-emergence applied herbicides	http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2013114-4083
Imazamox 1.9	Effect of Imazamox Soil Persistence on Dryland Rotational Crops	http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0161:EOISPO]2.0.CO;2
Imazamox 1.10	Influence of soil pH-sorption interactions on the carry-over of fresh and aged soil residues of imazamox	DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00261.x
Imazamox 1.11	Biological activity, availability and duration of phytotoxicity for imazamox in four different soils of central Italy	DOI: 10.1111/j.1365-3180.2006.00503.x
Imazamox 1.12	Adsorption, Desorption, and Degradation of Imidazolinones in Soil	http://dx.doi.org/10.1614/WT-04-057R

Imazamox 1.13	Relationship between changes of soil microbial biomass content and imazamox and benfluralin degradation	DOI 10.1007/s00374-001-0433-5
Imazamox 1.14	Lixiviação de imazethapyr e imazamox em diferentes solos	https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2885
Imazamox 1.15	Seletividade, eficiência de controle de plantas daninhas e persistênciano solode imazamox aplicado nacultura do feijoeiro	https://doi.org/10.1590/S0100-83581999000300009
Imazamox 1.16	Efeito residual no solo dos herbicidas imazamox e imazethapyr para as culturas de milho e sorgo	https://doi.org/10.1590/S0100-83581999000300003
Imazamox 1.17	Associação de herbicidas para o controle de plantas daninhas em feijão do tipo preto	http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i4.559
Imazamox 1.18	Persistência de herbicidas do grupo das imidazolinonas e efeitos Persistência de herbicidas do grupo das imidazolinonas	DOI: 10.4025/actasciagron.v21i0.4294
Imazamox 1.19	Avaliação do lixiviado de imidazolinonas por meio de bioensaio	DOI: 10.5216/pat.v29i1.2876
Imazamox 1.20	Lixiviação de imazethapyr e imazamox em diferentes solos1	http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/ri/12845
Imazapic 1.0	Leaching of imidazolinones in soils under a clearfield system	DOI: 10.1080/03650340.2016.1249471
Imazapic 1.1	Persistence and Leaching of Herbicide Suppressing Weed Emergence Flows in Oxisol and Their Efficiency in	DOI: 10.9734/IJPSS/2016/28406
Imazapic 1.2	Degradation of imazapyr and imazapic in aqueous solutions and soil under direct sunlight	DOI: 10.17576/mjas-2017-2105-09
Imazapic 1.3	Bioavailability of diuron, imazapic and isoxaflutole in soils of contrasting textures	DOI: 10.1080/03601230903237998
Imazapic 1.4	Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermittent irrigation of paddy rice	http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.005
Imazapic 1.5	Persistence of imidazolinones in soils under a clearfield system of rice cultivation1	doi: 10.1590/S0100-83582016340300020
Imazapic 1.6	Dissipation of Clomazone, Imazapyr, and Imazapic Herbicides in Paddy Water under Two Rice Flood Management Regimes	https://doi.org/10.1017/wet.2017.5
Imazapic 1.7	Oat (Avena sativa) Response to Imazapic Residues	http://dx.doi.org/10.1614/WT-04-292R2.1

Imazapic 1.8	Persistence of herbicides applied to sugarcane during the rainy season in brazil	https://atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/AGRONOMY-POSTERS-05-Azania.pdf
Imazapic 1.9	Leaching and residual activity of imidazolinone herbicides in lowland soils	/10.1590/0103-8478cr20160705
Imazapic 1.10	Imazethapyr and imazapic runoff under continuous and intermittent irrigation of paddy rice	http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.04.005
Imazapic 1.11	Persistence and Carryover Effect of Imazapic and Imazapyr in Brazilian Cropping Systems	http://www.jstor.org/stable/3989281
Imazapic 1.12	Imazethapyr persistence in sandy loam detected using white mustard as bioassay	DOI: 10.1080/03601234.2017.1356677
Imazapic 1.13	The Persistence of Imazapic in Peanut (Arachis hypogaea) Crop Rotations	http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0325:TPOIIP]2.0.CO;2
Imazapic 1.14	Cotton Response to Imazapic and Imazethapyr Applied to a Preceding Peanut Crop	https://www.researchgate.net/publication/228882938_Cotton_response_to_imazapic_and_imazethapyr_applied_to_a_preceding_peanut_crop
Imazapic 1.15	Cotton Response to Imazapic and Imazethapyr Residues Following Peanut	https://www.academia.edu/22510601/Cotton_Response_to_Imazapic_and_Imazethapyr_Residues_Following_Peanut
Imazapic 1.16	Cotton Gossypium hirsutum Response to Simulated Imazapic Residues	DOI: http://dx.doi.org/10.1614/WT-04-256R1.1
Imazapic 1.17	Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca	https://www.researchgate.net/publication/307995060_Atividade_residual_de_seis_herbicidas_aplicados_ao_solo_em_epoca_seca
Imazapic 1.18	Influence of Imazapic Herbicide Simulated Carryover on Cotton Growth, Yields, and Lint Quality	doi:10.1094/CM-2009-0720-01-RS.
Imazapic 1.19	Influence of Simulated Imazapic and Imazethapyr Herbicide Carryover on Cotton (Gossypium hirsutum L.)	doi:10.1155/2012/274279
Imazapic 1.20	Imazapic Activity in a Semiarid Climate in Downy Brome (Bromus tectorum) - infested rangeland and crp sites	http://dx.doi.org/10.1614/WT-D-14-00078.1

Imazapic 1.21	Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic	https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000100022
Imazapic 1.22	Lixiviação de imidazolinonas em resposta a diferentes manejos de irrigação em solo de cultivo de arroz irrigado	https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131216
Imazapic 1.23	Potencial de lixiviação de imazapic e isoxaflutole em colunas de solo	https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300014.
Imazapic 1.24	Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação	https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000200017
Imazapic 1.25	Seletividade de herbicidas para cana-de-açúcar no sistema Plene® em pré e pós-emergência	http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v13i2.249
Imazapic 1.26	Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca	https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100019
Imazapic 1.27	Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca	https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200018.
Imazapic 1.28	Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura da canade-açúcar	<http://hdl.handle.net/11449/191297>.
Imazapic 1.29	Seletividade de herbicidas registrados para uso em pré e pósemergência na cultura da cana-de-açúcar ao feijoeiro-comum	http://dx.doi.org/10.0000/rtcab.v6i2.346
Imazapic 1.30	Controle químico de plantas daninhas em pósemergência na cultura da cana-de-açúcar	https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/cana-producao-vegetal03.pdf
Imazapic 1.31	Persistência e fitotoxicidade de imazapic aplicado em amendoim	http://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1385
Imazapic+Imazapyr	Persistence of Imazapic and Imazapyr in Paddy Soil and Water	https://doi.org/10.15242/IJAAEE.EAP117210
Imazapic+Imazethapyr 1.0	Carryover of Imazethapyr and Imazapic to Nontolerant Rice	http://dx.doi.org/10.1614/WT-08-153.1
Imazapic+Imazethapyr 1.1	Atividade residual de (imazethapyr+imazapic) para sorgo granífero semeado em rotação com arroz irrigado	DOI: 10.1590/S0100-83582009000500015
Imazapic+Imazethapyr 1.2	Atividade residual de (imazethapyr+imazapic) sobre azevém	https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000300023

Imazapic+Imazethapyr 1.3	Atividade residual de imazethapyr + imazapic em arroz em rotação com arroz clearfield	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000100023
Imazapic+Imazethapyr 1.4	Profundidade de localização do herbicida imazetapir + imazapique no solo	http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000900003
Imazapic+Imazethapyr 1.5	Lixiviação do imazethapyr em solo de várzea sob dois sistemas de manejo	https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000119.
Imazapic+Imazethapyr 1.6	Lixiviação de imazethapyr + imazapic em função do manejo de arroz	https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000100021.
Imazapyr 1.0	Persistence and Leaching of the Herbicide Imazapyr in Soil	https://doi.org/10.1007/BF00197829
Imazapyr 1.1	Dissipation of imazapyr, flumetsulam and thifensulfuron in soil	DOI :10.1046/j.1365-3180.1997.d01-73.x
Imazapyr 1.2	Imazapyr and pyrithiobac movement in soil and from maize seed coats to control Striga in legue intercropping	DOI: 10.1016/s0261-2194(01)00151-x
Imazapyr 1.3	Response of food and forage crops to soil-applied imazapyr	http://www.jstor.org/stable/4045970
Imazapyr 1.4	The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment	DOI: 10.1002/ps.864
Imazapyr 1.5	Study on the behaviour of imazapyr in two Moroccan soils	https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1998.00090.x
Imazapyr 1.6	Adsorption and transport of imazapyr through intact soil columns taken from two soils under two tillage systems	http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.03.016
Imazapyr 1.7	Impacts of Imazapyr and Triclopyr Soil Residues on the Growth of Several Restoration Species	http://dx.doi.org/10.1016/j.rama.2016.01.006
Imazapyr 1.8	Biodegradation of imazapyr in typical soils in Zhejiang Province, China	https://www.researchgate.net/publication/7603499_Biodegradation_of_imazapyr_in_typical_soils_in_Zhejiang_Province_China
Imazapyr 1.9	Sorción, degradación y lixiviación de imazapyr en un suelo volcánico de México	http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000300005
Imazapyr 1.10	Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. i método do bioensaio	https://doi.org/10.1590/S0100-83582000000100001
Imazapyr 1.11	Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais	https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100023.
Imazapyr 1.12	Attenuation of the herbicidal activities of glufosinate-ammonium and imazapyr in two soils	https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90094-9

Imazapyr 1.13	Degradation and metabolism of imazapyr in soils under aerobic and anaerobic conditions	http://dx.doi.org/10.1080/03067310500410730
Imazapyr 1.14	Persistence and metabolism of imazapyr in four typical soils of Zhejiang Province (China)	http://dx.doi.org/10.1080/03067310512331324727
Imazapyr 1.15	Lixiviação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. ii método analítico	DOI: 10.1590/S0100-83581999000200009
Imazapyr 1.16	Persistence of acetolactate synthase inhibiting herbicides in a canterbury soil	https://www.researchgate.net/publication/264890994
Imazapyr 1.17	Impact of imazamox and imazapyr carryover on wheat, barley, and oat	https://doi.org/10.1017/wet.2017.66
Imazapyr 1.18	Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação	https://www.researchgate.net/publication/260766224
Imazapyr 1.19	Movimento do herbicida imazapyr no perfil de solos tropicais	https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100023.
Imazapyr 1.20	Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação	https://www.researchgate.net/publication/260766224
Imazapyr 1.21	Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado	http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33131128009
Imazaquin 1.0	Residual activity of herbicides used in soybean agriculture on grain sorghum crop succession	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000500016
Imazaquin 1.1	Effect os soil type in pH on persistence and carryover of imidazolinone herbicides	https://doi.org/10.1017/S0890037X00027871
Imazaquin 1.2	Persistência de imazaquin em latossolo roxo cultivado com soja	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581997000100004
Imazaquin 1.3	Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão	DOI: 10.1590/S0100-83582002000200016
Imazaquin 1.4	Corn (Zea mays) injury following use of clomazone, chlorimuron, imazaquin, and imazethapyr	https://doi.org/10.1017/S0890037X00027299
Imazaquin 1.5	Soybean (Glycine max) and Rotational Crop Tolerance to chlorimuron, clomazone, imazaquin and imazethapyr	https://doi.org/10.1017/S0890037X00034321

Imazaquin 1.6	Cotton (Gossypium hirsutum) Response to Imazaquin and Imazethapyr Soil Residues	http://www.jstor.org/stable/4045798
Imazaquin 1.7	Persistência dos herbicidas imazaquin e imazethapyr no solo e os efeitos sobre plantas de milho e pepino	https://doi.org/10.1590/S0100-83581997000200009.
Imazaquin 1.8	The Effect of Wheat (Triticum aestivum) Straw Levels on Chlorimuron, Imazaquin, and Imazethapyr Dissipation and Interception	http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0129:TEOWTA]2.0.CO;2
Imazaquin 1.9	In-field bioassay to investigate the persistence of imazaquin and pyrithiobac	http://dx.doi.org/10.1614/P2002-155(REV)R
Imazaquin 1.10	Imazaquin mobility and persistence in a Sharkey clay soil as influenced by tillage systemms	http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0571:IMAPIA]2.0.CO;2
Imazaquin 1.11	Soil pH Effect on Imazaquin Persistence in Soil	https://doi.org/10.1017/S0890037X00040057
Imazaquin 1.12	Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo	https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000100016.
Imazaquin 1.13	Imazaquin Spray Retention, Foliar Washoff and Runoff Losses under Simulated Rainfall	https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199610)48:2<179::AID-PS457>3.0.CO;2-M
Imazaquin 1.14	Influência da cobertura morta no comportamento dos herbicidas imazaquin e clomazone	https://doi.org/10.1590/S0100-83581993000100004.
Imazaquin 1.15	Adsorção e lixiviação de trifluralin e imazaquin em diferentes solos	http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2421/425
Imazaquin 1.16	Impacto de herbicidas sobre os recursos hídricos	h t t p : / / w w w . s g -g u a r a n i . o r g / m i c r o s i t e / p a g e s / p t / i n f o _ a g u a s . p h p ehttp://mythusalimentarius.blogspot.com/2007_03_01_archive.htm
Imazaquin 1.17	Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”)	https://doi.org/10.7824/rbh.v10i2.106
Imazaquin 1.18	Influência dacobertura morta na retençãodo imazaquin em plantio direto de soja	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582000000200005
Imazaquin 1.19	Mobilidade do herbicida imazaquin em diferentes solos	http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n306r

Imazaquin 1.20	Potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas na bacia do rio dourados, ms	https://www.researchgate.net/publication/228870226_POTENCIAL_DE_CONTAMINACAO_DA_AGUA_SUBTERRANEA_POR_PESTICIDAS_NA_BACIA_DO_RIO_DOURADOS_MS
Imazaquin 1.21	Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000200022
Imazaquin 1.22	Seleção de plantas quantificadoras de herbicidas residuais	https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/16550/11031
Imazaquin 1.23	Herbicidas pré-emergentes para manejo de milho voluntário RR® na cultura da soja	http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i1.491
Imazaquin 1.24	Interações entre herbicidas e protetores para controle de capim	https://doi.org/10.1590/S0103-84782012001000002
Imazaquin 1.25	Seletividade de herbicidas aplicados em pré e pós-emergência da cultura do cártamo	http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v16i3.518
Imazaquin 1.26	Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais	https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000200006
Imazaquin 1.27	Resíduos de herbicidas utilizados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão	https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2163
Imazaquin 1.28	Persistência e fitotoxicidade de herbicidas aplicados na soja sobre o girassol em sucessão	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400019.
Imazaquin+imazethapyr	Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581993000100007
Imazethapyr 1.0	Degradation and Field Persistence of Imazethapyr	https://doi.org/10.1017/S0043174500056782
Imazethapyr 1.1	Availability and Persistence of Imazaquin, Imazethapyr, and Clomazone in Soil	https://doi.org/10.1017/S0043174500071885
Imazethapyr 1.2	Influence of Soil pH-Sorption Interactions on Imazethapyr	DOI: 10.1021/jf990543w
Imazethapyr 1.3	Sweet Corn (Zea mays) Hybrids Respond Differently to Simulated Imazethapyr Carryover	https://doi.org/10.1017/S0890037X00041403
Imazethapyr 1.4	Analysis of imazethapyr in agricultural soils by ion exchange membranes and a canola biossay	DOI: 10.1080/00103629909370335

Imazethapyr 1.5	Field dissipation of prometryn, oxyfluorfen and imazethapyr in Mollisol and Vertisol soils	https://www.researchgate.net/publication/286180947_Field_dissipation_of_prometryn_oxyfluorfen_and_imazethapyr_in_Mollisol_and_Vertisol_soils
Imazethapyr 1.6	Developmente of a grower-friendly biossay to determine the imazethapyr residues in soil on vegetable crops	https://www.semanticscholar.org/paper/Development-of-a-grower-friendly-bioassay-to-the-of-O%27Sullivan-Acker/2bfd2ff08cfdf6a1acc37ca24a0e636f64f5f7d5
Imazethapyr 1.7	Imazethapyr Recropping Recommendations for Canola are Suitable for Australia's NeutralAlkaline Soils	http://agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampledata/2001/6/c/hollaway.pdf
Imazethapyr 1.8	Biological activity, field persistence and safe recropping	https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1996.tb01803.x
Imazethapyr 1.9	Residues of imazethapyr in field soil and plant samples following an application to soybean	https://pdfs.semanticscholar.org/8d9d/fec208e61ebb2a56c5533c38ef202f368646.pdf
Imazethapyr+imazapic 1.0	Milho (Zea mays) como espécie bioindicadora da atividade residual de (imazethapyr+imazapic)	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582009000500014
Imazethapyr+imazapic 1.1	Carryover of imazethapyr + imazapic on ryegrass and non-tolerant rice as affected	http://dx.doi.org/10.1590/0100-83582015000200022
Imazethapyr+imazapic 1.2	Crescimento de espécies bioindicadoras do residual do herbicida (imazethapyr+imazapic), semeadas em rotação com arroz clearfield	http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000100012
Imazethapyr 1.10	Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils	https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00219.x
Imidazolinonas 1.0	Leaching of Three Imidazolinone Herbicides during Sprinkler Irrigation	DOI: 10.2134/jeq2011.0198 ·
Imidazolinonas 1.1	Lixiviação de imidazolinonas em resposta a diferentes manejos de irrigação em solo de cultivo de arroz irrigado	http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131
Imidazolinonas 1.2	Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação	https://www.researchgate.net/publication/260766224

Imidazolinonas 1.3	Persistence and leaching of imazethapyr and flumetsulam herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia	DOI: 10.1071/EA04223