

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

SAMUEL DIAS OLIVEIRA

ESTUDO SISTEMÁTICO SOBRE AS INTERAÇÕES PLANTA-PLANTA
DENTRO DAS COMUNIDADES VEGETAIS

GOIÂNIA

2020

SAMUEL DIAS OLIVEIRA

**ESTUDO SISTEMÁTICO SOBRE AS INTERAÇÕES PLANTA-
PLANTA DENTRO DAS COMUNIDADES VEGETAIS**

Monografia apresentada à Escola de Ciências Agrárias e Biológicas (ECAB) da Pontifícia Universidade de Goiás como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel no curso de Ciências Biológicas.

Orientador: Me. Ernesto Camelo de Castro

Co-orientador: Dr. Marco Aurélio Pessoa de Souza

GOIÂNIA

2020

Dedico este trabalho ao meus pais e minha irmã, que não mediram esforços para me ajudar, acreditaram e me apoiaram na busca pelos meus sonhos; à memória de Maria José de Oliveira, minha querida vó que compartilhou comigo o seu amor às plantas.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Eliânia Francisca Dias, mulher guerreira, a pessoa mais determinada que conheço, que muito me ensinou sobre as batalhas da vida e que sempre cuidou de mim.

Ao meu pai, Salvador Domingos Oliveira, que me ensinou o valor da honestidade e da humildade, que lutou comigo e me ajudou a conquistar meu sonho.

A minha irmã, Ana Caroline Dias Oliveira, menina inteligente e sonhadora, que essa conquista possa te inspirar a seguir seus sonhos, independente da opinião dos outros.

Ao meu grande amigo, Philip Arthur Morehead, a pessoa mais inteligente que eu conheço, que esteve ao meu lado durante todos esses anos, que muito me ensinou sobre a vida e com quem eu sempre pude contar.

A minha amiga e mãe de coração, Geovana Alves Batista, que sempre me apoiou nos momentos difíceis, que sempre me aconselhou e me acolheu na sua vida.

Aos meus professores orientadores, que aceitaram esse desafio e me ajudaram a chegar até aqui.

Ao meu amigo, Marco Aurélio Pessoa de Souza, que não somente me orientou de forma acadêmica como também me aconselhou e me motivou a não desistir dos meus sonhos.

A todos meus colegas e amigos com quem tive contato durante esses quatro anos, que participaram comigo dessa batalha, nos momentos alegres e nos difíceis.

A todos professores que se dedicaram a me ensinar não somente sobre biologia como também sobre a vida, que me ajudaram a formar o profissional que serei.

“Biologia é o estudo de coisas complicadas que têm a aparência de terem sido projetadas com um propósito”

Richard Dawkins

RESUMO

As interações planta-planta são muito importantes na ecologia vegetal, quando se estuda a dinâmica das comunidades vegetais. As plantas podem interagir umas com as outras através de diversos mecanismos ecológicos com base nas condições em que estão inseridas. O presente trabalho visa contribuir com as discussões existentes a respeito do assunto através de uma abordagem sistemática de revisão. As interações mais abordadas nos artigos elegidos foram competição, facilitação e alelopatia. As pesquisas geralmente são focadas em plantas de hábito herbáceo, provavelmente pela facilidade de manejo. Também foi analisado os métodos de estudo, sendo muito comum o uso de análises multifatoriais e ambientais, tanto para competição quanto para facilitação, além de métodos bioquímicos para estudos sobre alelopatia. Para melhor compreensão desses mecanismos e sua importância na comunidade, devemos abordá-los em diferentes campos da ciência, como a genética e a biotecnologia, entre outras.

Palavras-chave: ecologia vegetal, competição, facilitação, interações ecológicas, plantas.

ABSTRACT

Plant-plant interactions are very important in plant ecology when studying plant community dynamics. Plants can interact between themselves through different ecological mechanisms in response to local conditions. This study aims to contribute to existing discussions about this theme through a systematic revision. The most common interactions ascertained in the selected articles were competition, facilitation and allelopathy. Studies usually focus on herbaceous plants, possibly due to ease of handling. The methodology was also analyzed, with the use of multifactorial and environmental analyses being very common for both competition and facilitation, as well as the biochemical methods for allelopathy. To better understand these mechanisms and their importance in community we should take a multidisciplinary approach, including from a genetics and biotechnology perspective.

Keywords: plant ecology, competition, facilitation, ecological interactions, plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas para aceite dos estudos elegíveis da revisão sistemática sobre interações entre plantas.....	5
Figura 2 – Relações ecológicas gerais e pressões ecológicas em uma comunidade aberta.....	9
Figura 3 – Frequência ranqueadas dos principais jornais e revistas indexados na temática da interação ecológica e métodos de avaliação para observação e metrificação das interações.....	11
Figura 4 – Série histórica dos estudos elegíveis, em função dos hábitos de desenvolvimento das plantas e do tipo de interação estudada.....	12
Figura 5 – Frequência relativas das interações ecológicas das plantas.....	13
Figura 6 – Frequência relativa dos métodos de análise prioritários nos estudos de interações ecológicas.....	14
Figura 7 – <i>Heatmap</i> de co-ocorrência entre os métodos de análise para estudar os tipos de interações entre as plantas.....	17

SUMÁRIO

1	INTRUDUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivos Gerais.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
3	METODOLOGIA.....	4
3.1	Coleta de Dados.....	4
3.2	Crerérios de Seleção.....	6
3.3	Análise qualitativa e quantitativa.....	7
4	DESENVOLVIMENTO.....	8
4.1	Resultados e Discussão.....	8
5	CONCLUSÃO.....	18
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
7	ANEXOS.....	26

1. INTRODUÇÃO

A ecologia vegetal tem como objetivo identificar e estudar as conexões existentes entre as plantas e entre elas e o meio, em diferentes escalas espaço-temporais, nos diferentes níveis biológicos (organismos, populações, comunidades e ecossistemas) (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974). Posto isto, dada às mudanças globais, entender esses padrões da ecofisiologia vegetal são importantes para explicar aspectos da sensibilidade, estabilidade e da vulnerabilidade das variações ambientais (BARBOSA *et al.*, 2012).

Como área da ciência, a ecofisiologia vegetal tem como característica essencial a observação em diferentes escalas, tais como estudos de campo, intra populacional ou sinecologia (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974) além de fazer recortes com base nas características edafoclimatológicas (PILLAR, 2002; MASCARENHAS e FARIA, 2019) e ecologia da paisagem (MASCARENHAS e FARIA, 2019).

Lindeman (1942) definiu o ecossistema como “o sistema composto de processos físicos, químicos e biológicos ativos em uma unidade espaço-tempo de qualquer magnitude”. O conceito de espaço-tempo é arbitrário, podendo esse espaço ser um hectare ou uma ilha, e tempo podendo ser segundos ou décadas (PALMER e WHITE, 1994). Já se tratando de comunidade, segundo os mesmos autores, a ciência contemporânea define comunidade vegetal, em amplo sentido, como sendo a vegetação que está presente em um determinado local de qualquer magnitude num dado momento. Nesta unidade espaço-temporal há uma combinação de vegetais que de algum modo influenciam-se uns aos outros, além de modificarem e serem dependentes do meio que estão presentes (PILLAR, 2002).

As plantas em uma comunidade podem interagir direta ou indiretamente por diferentes mecanismos (THORPE, 2011). Tanto nas áreas de ecologia e agricultura, se mantém o debate e o questionamento de por quais mecanismos as plantas interagem umas com as outras (LAMBERS *et al.*, 2008). As interações planta-planta mais simples podem variar de positiva (facilitação), neutra e negativas (competição/concorrência) (BAZZAZ, 1996; LI *et al.*, 1999; THORPE *et al.*, 2011).

Segundo Lambers *et al.* (2008), a competição geralmente ocorre quando há limite nas fontes de recursos compartilhadas pelas mesmas plantas (competição de recursos), ou quando uma planta produz e libera compostos químicos voláteis que afetam plantas vizinhas (competição por interferência ou alelopatia de efeito negativo). Essas interações ocorrem inerentes ao local e com distâncias restritas (THORPE, 2011). Essa interação é um mecanismo biológico de interação para uma espécie de efeito tampão para o estresse abiótico (HEIJDEN e HORTON, 2009).

Apesar de todas as evidências, poucos estudos conseguiram parametrizar de forma sistemática para quais rumos a ciência tem percorrido neste universo. A cienciométrica, dentro da sua perspectiva de sistematizar as informações (ROSS *et al.*, 2019) oferece condições para demonstrar o que já foi feito relativamente exaurido em termos de temáticas, bem como fazer novos apontamentos do que pode ser explorado (KINOUCI, 2014).

Existem poucos estudos que sistematizam os mecanismos recorrentes nas interações ecológicas das plantas (SANTOS *et al.* 2018; WANG *et al.*, 2019; ZORGER *et al.*, 2019). E não existem evidências que suportem as causas do desinteresse dos pesquisadores. Para se avançar pesquisas em cienciométrica é importante que a temática tenha sido amplamente explorada, a fim de que a técnica se mantenha isenta de qualquer viés de publicação (ROSS *et al.*, 2019). No caso das interações planta-planta, a janela de observações é laboriosa e incorre de necessidades estruturais que em muitos casos não é de interesse das políticas públicas de fomento à ciência. Por este motivo, estudos cienciométricos se fazem ainda mais necessários para garantir à comunidade científica uma orientação do estado da arte desta temática.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar sistematicamente, em diferentes bases de dados, o que têm sido estudado, no intervalo temporal de 1945 até os dias atuais, sobre interações e mecanismos ecológicos associados às interações entre plantas em termos de comunidade.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer apontamentos das áreas mais pesquisadas nas relações planta-planta, com base em restritores de interação;
- Apontar lacunas a serem preenchidas nos estudos com interações planta-planta;
- Elucidar detalhamentos da revisão sistemática com inferências de séries temporais;
- Comprovar a tendência de correlação entre o tipo de método ao tipo de interação a ser estudada;
- Evidenciar as interações entre plantas menos estudadas.

3. METODOLOGIA

3.1 Coleta de Dados

Os bancos de dados de literatura foram explorados usando *Thompson Reuters Web of Science* e *Google Scholar*, e abrangeu os trabalhos publicados no intervalo de 1945 e 2020 (data inicial a partir das publicações no *Web of Science*). Os termos usados para a primeira etapa de busca foram (*plant-plant AND interaction* AND "mechanism*" AND "ecologic*"*), gerando 182 resultados. Na segunda etapa, baseada apenas na busca por títulos e leitura dos resumos, os resultados foram reduzidos a 50 estudos. Os termos foram usados como restritores para coleta de dados, uma vez que o foco deste estudo se refere a evidenciar as principais interações e mecanismos ecológicos relacionadas às interações sócio-ecológicas entre plantas. As palavras chaves foram escolhidas arbitrariamente com base na hipótese deste estudo: "*as plantas interagem diretamente entre si por meio de mecanismos ecológicos específicos*", que por sua vez surgiu das hipóteses de outros estudos. A partir do *abstract* e das restrições para o aceite, apenas 21 estudos foram selecionados e se tornaram elegíveis para responder a hipótese (Fig. 1).

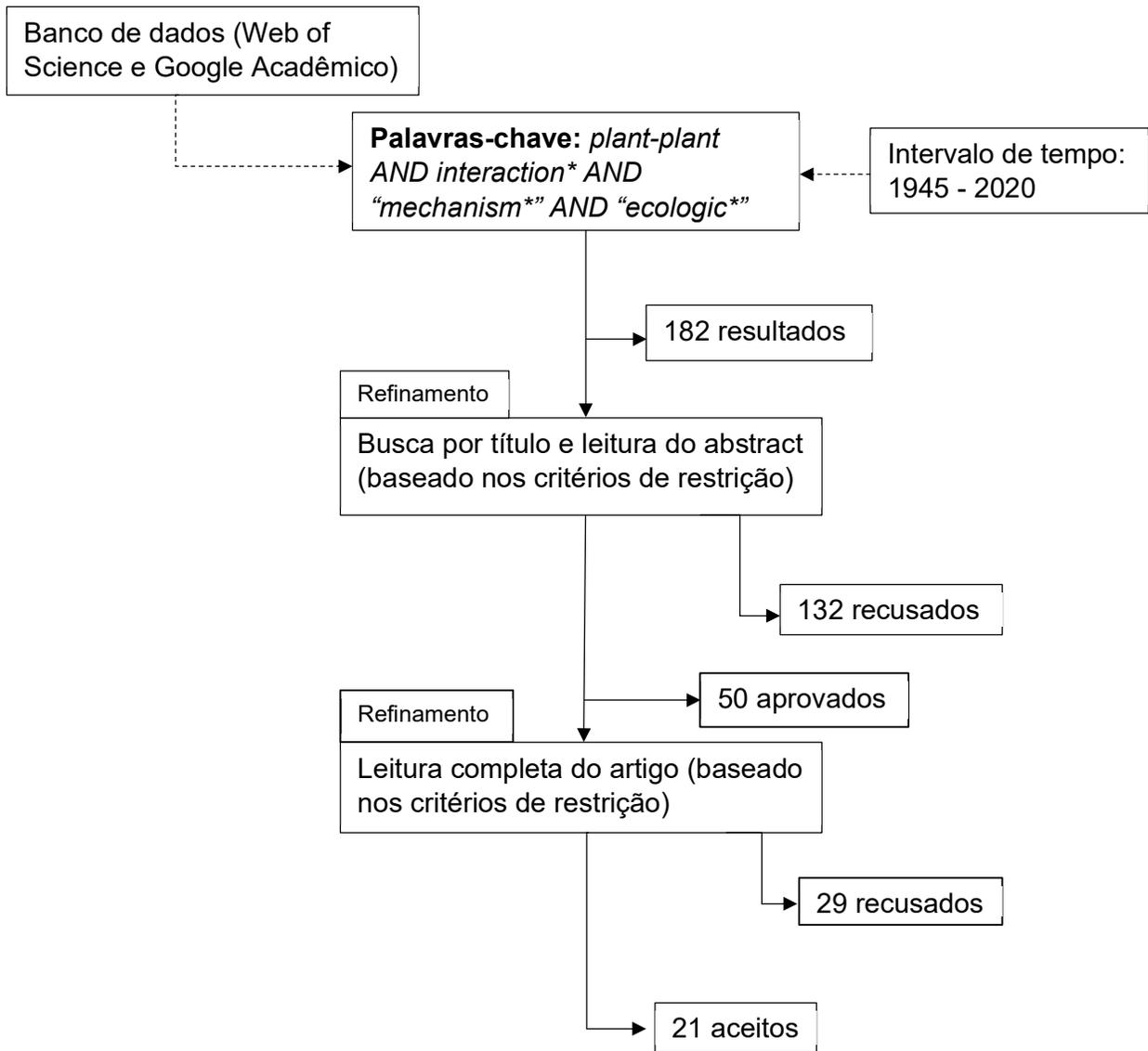


Figura 1. Fluxograma das etapas para aceite dos estudos elegíveis da revisão sistemática sobre interações entre plantas. Fonte: autor

No processo de extração dos dados e para a construção da estrutura sistemática, os seguintes aspectos foram considerados como critérios de seleção/restrrição (NAKAGAWA *et al.*, 2017):

1. Estudos repetidos nas bases não compunham o estudo com dupla entrada;
2. O controle de viés com base na construção de palavras chaves a partir da hipótese;

3. A diminuição do viés de publicação pelo máximo de heterogeneidade de estudos elegíveis - uso de Google acadêmico para a inclusão de literatura cinza;
4. Clareza dos autores em descrever processos que respondam a hipótese;
5. Disponibilidade dos estudos elencados, dentro das bases de acesso - para o caso do Brasil, inseridos na CAPES;

3.2 Critérios de Seleção

Os critérios foram utilizados para a tomada de decisão dos estudos na análise sistemática. Os critérios de seleção são criados para restringir os estudos única e exclusivamente, novamente, para responder a hipótese que foi levantada neste estudo. Estes critérios foram seguidos com base nas recomendações de estudos desta natureza (NAKAGAWA *et al.*, 2017; BEILLOIN *et al.*, 2018; LOPES-JÚNIOR, 2019).

Diante disso, foram postulados os seguintes critérios:

1. Serão aceitos estudos apenas de interação entre planta-planta;
2. Serão aceitos estudos apenas em inglês;
3. Não serão aceitos estudos de revisão e/ou análise cienciométrica;
4. Não serão aceitos estudos teóricos;
5. Só serão aceitos apenas estudos que abordem mecanismos ecológicos;
6. Não serão aceitos estudos que envolvam fatores ambientais não controlados.

Durante o processo de busca nas bases foram aceitos artigos originais, *short communications*, publicações técnicas propostas por grupos científicos e/ou companhias, bem como teses e dissertações (literatura cinza), publicadas em algum veículo de comunicação científica. Como critério de rejeição, não foram aceitas revisões de qualquer natureza, cartas de opinião, *short communications* sem dados originais, publicações exclusivamente de comparação de técnicas, estudos que apresentassem apenas informações relacionadas à aspectos evolutivos, sem mencionar os tipos de interações ecológicas recorrentes.

Na existência de estudos que os dados foram considerados incompletos, mas que ainda assim representaram um potencial de respostas, os estudos foram

incorporados apenas, e somente, como arcabouço literário para a discussão dos resultados obtidos no presente estudo. Dados qualitativos foram coletados tais como nomes e/ou grupos de autores, ano de publicação, país e/ou região que o experimento foi conduzido, tipo de interação, mecanismos, e caso fosse apresentado alguma molécula de metabolismo secundário, advindos de estudos com esse tipo de abordagem.

3.3 Análise qualitativa e quantitativa

Apesar deste estudo não apresentar cálculos meta analíticos de dados, os resultados foram parametrizados, de forma a apresentar o desenvolvimento desta temática na ciência. Diante disso, cada entrada (ou cada estudo), foi elencado como uma variável de entrada no presente estudo, sem a análise do tamanho do efeito do estudo no conjunto dos dados, com apresentação de série histórica. Além disso, os estudos elencados foram quantificados por entrada, para uma mensuração relativa das variáveis de interações e mecanismos, que são o foco do presente estudo.

Os dados foram todos organizados em planilhas *Microsoft Office*[®] e calculadas no *software* livre de análise estatística, *RStudio*[®]. Os resultados gráficos produzidos foram a análise de séries históricas, frequência e *co-occurrence heatmap* (mapa de calor de coocorrência), como sugerido por Ajoy; Ghosh (2018) e Higgins *et al.* (2020).

4. DESENVOLVIMENTO

Revisões sistemáticas são entendidas como estudos teóricos, que estabelecem como base fundamental critérios de seleção, que funcionam como restritores para responder hipóteses objetivas de um questionamento científico (BELLOIN *et al.* 2018; HIGGINS *et al.*, 2003; VIECHTBAUER, 2017). Faz parte, então, do universo da cienciometria e produz parâmetros, sem efeitos de tamanho dos estudos, sobre como ocorrem as interações dos termos. Em linhas gerais, a revisão sistemática constrói e sistematiza um conjunto de dados que está disponível nas bases de dados; e uma pergunta é feita para tentar colocar à luz de uma discussão relevante para a ciência de algo que precisa ser respondido, apresentando caminhos já percorridos ou a serem percorridos pelos cientistas (HIGGINS *et al.*, 2020).

Dado o caráter deste estudo, esta sessão será dividida em resultados, advindo desta sistematização dos dados, e a discussão do entendimento que esses dados oferecem a cerca desta temática.

4.1 Resultados e Discussão

Interações entre as espécies é o estudo central da Ecologia de Comunidades (CONNELL, 1983; SCHOENER, 1983; BRUNO *et al.* 2003). Em termos gerais, podemos definir ecologia como o estudo científico das interações entre os organismos e o ambiente, ou como definiu Krebs (1972) “Ecologia é o estudo das interações que determinam a distribuição e abundância dos organismos”. Consequentemente, entendemos que compreender os mecanismos pelo qual essas interações são mediadas se torna de grande valor para os estudos de dinâmica das comunidades.

Voltando para Ecologia Vegetal, estudos para compreender as interações das plantas com seus polinizadores, consumidores e dispersores tem sido bastante discutidos, mas as interações entre as próprias plantas têm recebido muito menos atenção (HARPER, 1964).

Segundo Thorpe *et al.* (2001), plantas em uma comunidade podem interagir de forma direta ou indireta através de diferentes mecanismos, sendo as mais simples interações diretas, como facilitação (uma espécie beneficia outra), competição de

recursos e alelopatia (produção de substâncias químicas pelas plantas que influenciam de forma favorável ou desfavorável outros organismos). As interações podem ser positivas ou negativas, ou ambas, co-ocorrendo na mesma comunidade ou até entre os mesmos indivíduos (CALLAWAY e WALKER, 1997).

Isso posto, os resultados deste estudo foram construídos com base nesse entendimento clássico da Ecologia, e em como as plantas podem interagir entre si, sob uma perspectiva de comunidade (Figura 2).

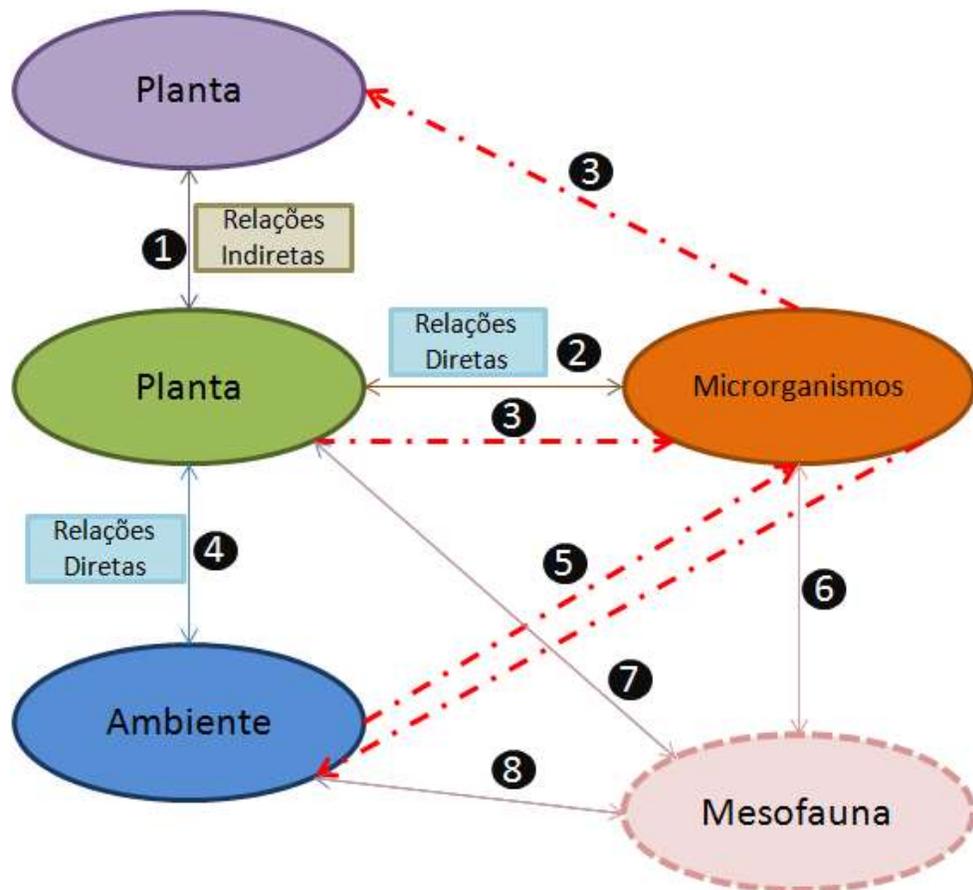


Figura 2. Relações ecológicas gerais e pressões ecológicas em uma comunidade aberta. (1) Relações entre plantas - foco do presente estudo; (2) Micorrizações e interações simbióticas; (3) Relações da microbiota com a rizosfera em estabelecimento de contato; (4) Relações das plantas com o ambiente, sob a perspectivas bioquímica - da planta, e química do meio [troca de gases e absorção de nutrientes]; (5) Relações entre insetos e mesorganismos do solo; (6) Interações

ecológicas estabelecidas entre microbiota e insetos e mesorganismos do solo; (7) Interações ecológicas entre mesofauna e plantas - nematóides, herbivoria, etc.; (8) Comportamento e estímulos da mesofauna com as pressões de ambiente. Fonte: autor.

Para se ter uma ideia dos tipos de interações já estudadas, os métodos de estudo e seus resultados, utilizou-se da metodologia descrita, como ilustra a Figura 1, que resultaram em 21 estudos selecionados, estes sendo sobre diversos tipos de interações, com metodologias variadas, e que foram publicados em diferentes meios de comunicação científicos. Algumas revistas científicas tiveram um maior número de artigos publicados que foram selecionados para análise neste estudo, sendo elas *Journal of Ecology*, *Oikos*, *Journal of Vegetation Science* e *Ecology* (Figura 3). Os outros artigos são de diferentes veículos de comunicação, revistas científicas ou outros.

Como mostra a Figura 3, três dos estudos selecionados foram publicados em *Journal of Ecology*. A revista da *British Ecological Society* (Sociedade Ecológica Britânica), estabelecida em 1913, possui um foco de publicação voltado para ecologia vegetal em todo aspecto, abordando também questões evolutivas e agrícolas. As revistas *Oikos* e *Ecology*, ambas com dois artigos selecionados em cada, possuem um foco mais generalista no campo da ecologia, e não somente em plantas. A *Journal of Vegetation Science* também com dois artigos selecionados, é uma revista voltada para ecologia de comunidades vegetais abordando diversos aspectos e questões científicas sobre estrutura da comunidade, biodiversidade, entre outros.

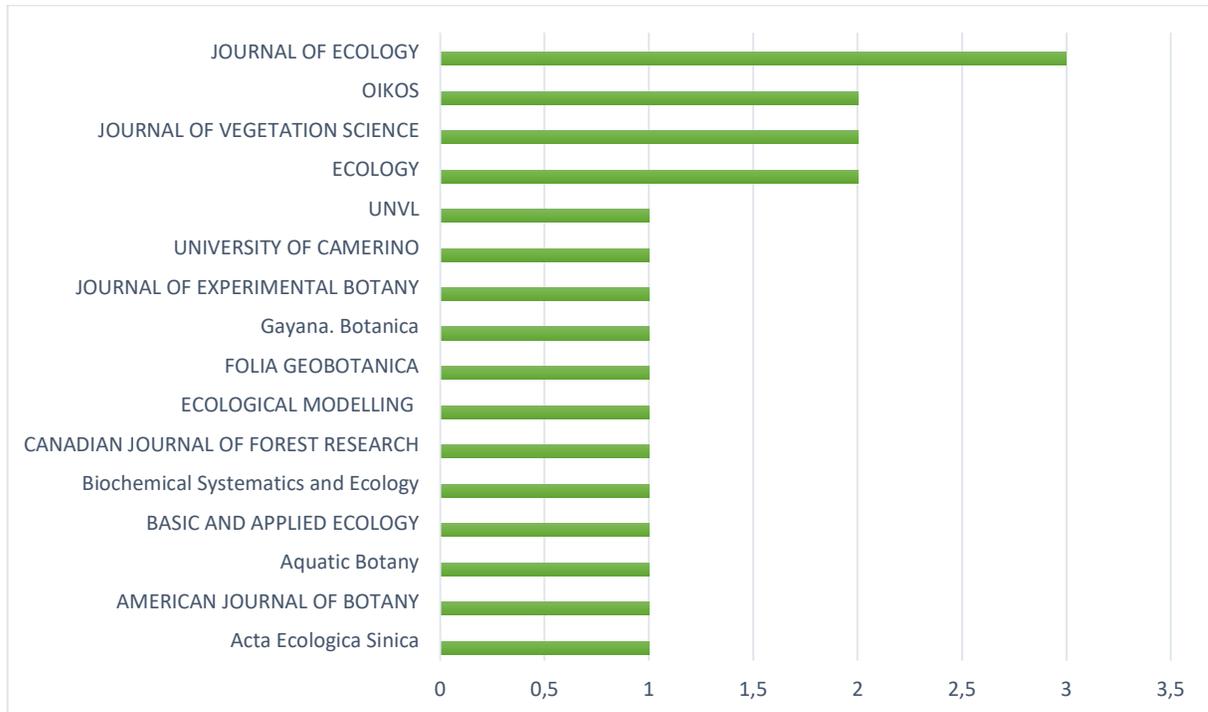


Figura 3. Frequência de ocorrência de artigos selecionados nos principais jornais e revistas indexados na temática pesquisada. (Ver Anexo 1 para melhor visualização do gráfico). Fonte: autor.

O foco de algumas revistas para a área da ecologia vegetal foi um dos motivos para se destacarem nesta pesquisa. Isso gera um direcionamento para pesquisadores que buscam conhecimento em áreas ou linhas de pesquisa específicas, filtrando seus resultados.

Dentro dos resultados obtidos, não houve destaque para autores ou grupos de pesquisa específicos que se dedicam ao assunto, não havendo repetições. Mas é interessante destacar a quantidade de artigos publicados nos últimos dez anos que objetivaram estudar as interações que ocorrem entre as plantas, seja ela de qualquer tipo (Figura 4). Pode-se imaginar que o motivo seja devido ao grande avanço na ciência e nos métodos científicos e cada vez mais tecnológicos, que proporcionaram mais ferramentas para buscar compreender os mecanismos que geram essas interações (RODA e BALDWIN, 2003; WEN-HONG *et al.*, 2020).

Relacionado aos hábitos das plantas estudadas, como demonstra a Figura 4, houve apenas um estudo com árvores. A grande maioria são estudos com plantas de pequeno porte ou com curto ciclo de vida, como herbáceas, poáceas e arbustos. Este foco pode ser devido a facilidade de manejo das plantas e melhor controle dos experimentos, condição muito importante em metodologias científicas para maior confiabilidade dos dados que vão ser coletados. Muitos desses experimentos controlados são realizados em laboratório, casas de vegetação ou viveiros (MURRELL *et al.*, 2011; ZHAO-JIANG *et al.*, 2011; BOWSHER *et al.*, 2017). Dependendo do objetivo do estudo, experimentos *in natura* podem ter interferências nos parâmetros de controle, alterando os resultados. Alguns estudos não especificaram um tipo de planta ou trabalharam com comunidades multiespecíficas, classificados na Figura 4 como NA (não apresenta).

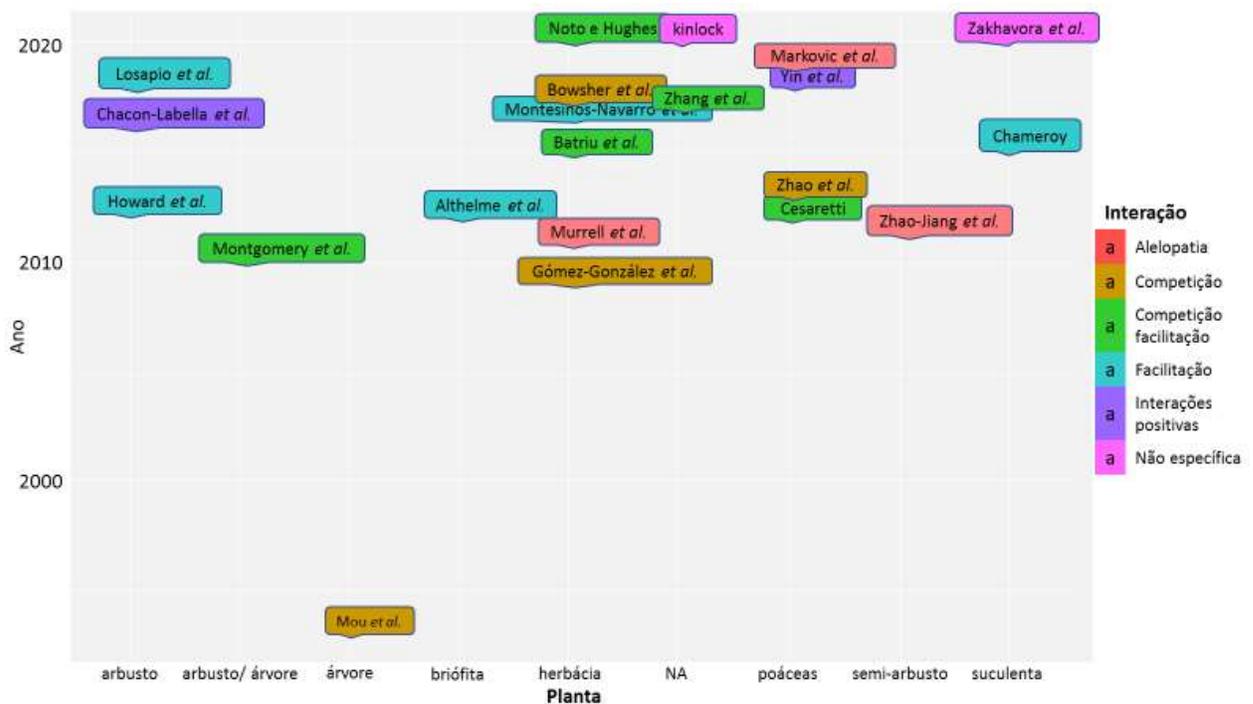


Figura 4. Série histórica dos estudos elegíveis, em função dos hábitos de desenvolvimento das plantas e do tipo de interação estudada. (Ver Anexo 1 para melhor visualização do gráfico). Fonte: autor.

As pesquisas podem ser realizadas com diferentes espécies de plantas, de acordo com o objetivo do pesquisador, por exemplo, analisar o impacto de plantas invasoras sobre comunidades de plantas nativas (GOMÉZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2009; ZHAO-JIANG *et al.*, 2011), ou o impacto positivo ou negativo da presença de uma espécie na sobrevivência de outra(s) (MONTESINOS-NAVARRO *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2017). Quando se leva em consideração as interações entre as plantas, passamos a enxergar toda a dinâmica e funcionamento de uma comunidade vegetal de um modo mais amplo (SCHULZE *et al.*, 2018).

Tão importante quanto os tipos de plantas estudadas são as interações que ocorrem entre elas. O objetivo do presente estudo foi traçar um panorama sistemático das principais interações entre plantas já estudadas, como segue demonstrado na Figura 5. Dentre os vinte e um artigos elegidos, a maior parte destes são relacionados à facilitação ou competição/facilitação, ambos com mais de 20% do total de artigos, seguidos por competição com quase 20% e depois por alelopatia, correspondendo a menos de 15%, além de interações positivas e “não específica” (trabalhos que não estudaram uma interação em específico), com quase 10% cada.

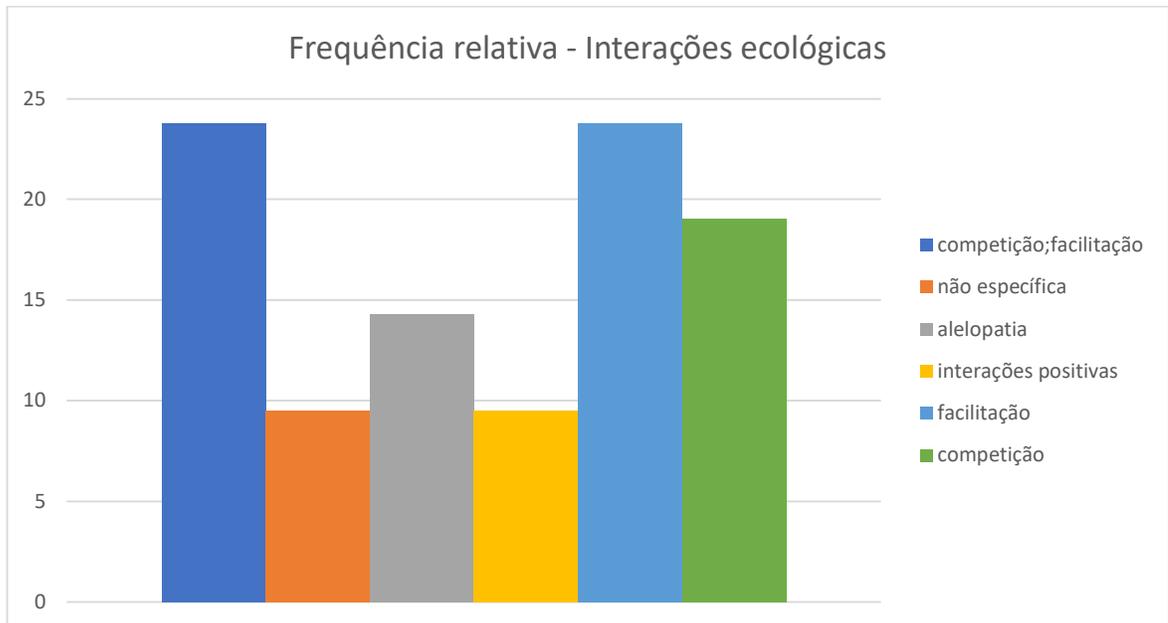


Figura 5. Frequência relativas das interações ecológicas das plantas. (Ver Anexo 1 para melhor visualização do gráfico). Fonte: autor.

Zhang *et al.* (2017) testaram como a competição e a facilitação interferem no auto-desbaste (auto-afinamento) nas plantas que estão em interação. O auto-desbaste (ou seja, mortalidade dependente da densidade) é o resultado da competição em densos povoamentos de plantas (MORRIS, 2003).

Batriu *et al.* (2015) objetivou esclarecer o papel das interações recíprocas (competição ou facilitação) com duas espécies de herbáceas, com a hipótese de que o aumento do gradiente de estresse pode interferir na comunidade onde competição é menos intensa tornando a interação planta-planta facilitadora.

Montesinos-Navarro *et al.* (2017) trabalhou com uma planta facilitadora (chamada de *nurse plant*) *Mimosa luisana* Brandegee e os efeitos sobre outras espécies por ela facilitadas.

Os métodos utilizados descritos nos artigos selecionados são muito variados, portanto foram organizados sistematicamente em categorias e sua frequência relativa está representada na Figura 6. Dentre os métodos categorizados, “multifatorial ambiental” e “bioquímico” foram os mais utilizados, sendo o primeiro em mais de 30% e o segundo correspondendo a quase 25% dos estudos, além dos 5 métodos restantes que aparecerem em 10% ou menos dos artigos.

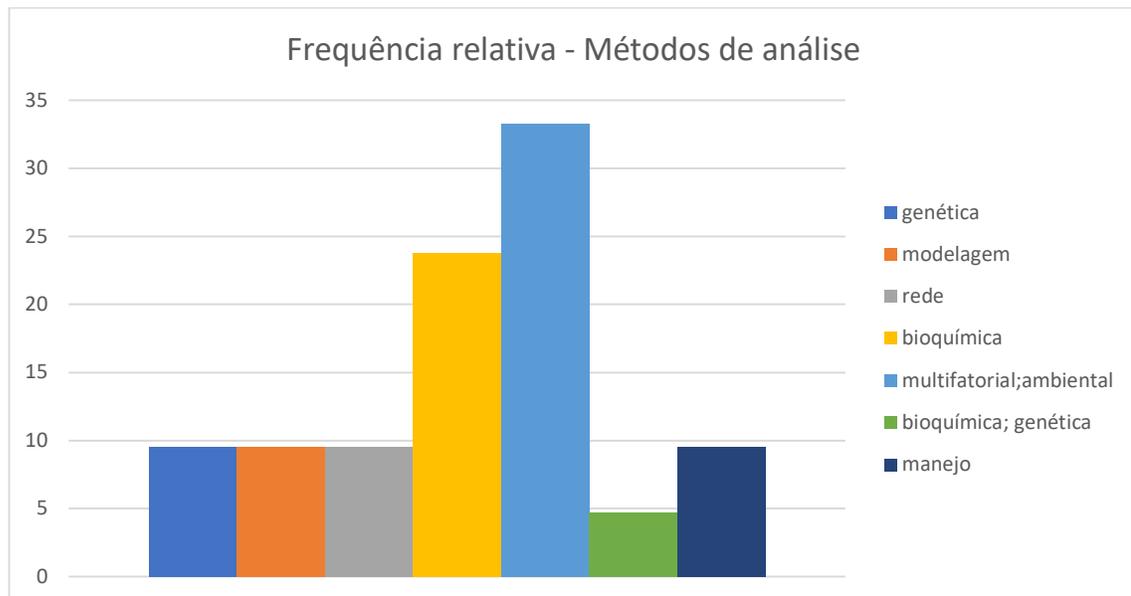


Figura 6. Frequência relativa dos métodos de análise prioritários nos estudos de interações ecológicas. (Ver Anexo 1 para visualização do gráfico). Fonte: autor.

Dentro das categorias existem diversos métodos diferentes utilizadas pelos autores para análise das interações. Em “multifatorial ambiental” por exemplo, além dos já mencionados, existem estudos trabalhando com análise de microclima e/ou análise de solos (ANTHELME *et al.*, 2012; HOWARD *et al.*, 2012; CHAMEROY, 2015).

Goméz-González *et al.* (2009) utilizou do método de análise de biomassa seca e da medição do tamanho de todas as espécies analisadas. Para avaliar o impacto de uma planta invasora (herbácea) em uma comunidade de plantas arbustivas, os autores coletaram dados em diferentes estágios de crescimento de ambas espécies, sob condições controladas, com a hipótese de que haveria efeitos fisiológicos com a presença da herbácea invasora sobre as plantas nativas. Este método avalia se ocorre uma interação de competição, seja por recursos ou espaço. As plantas *aliens* (invasoras) podem afetar o estabelecimento (chegada/germinação) de novos indivíduos de espécies nativas por diferentes mecanismos (YURKONIS *et al.*, 2005).

Alguns autores utilizaram a exposição ao estresse ambiental para analisar interferências nas interações entre as plantas (BATRIU *et al.*, 2015; CESARETTI, 2012). Por exemplo, Batriu *et al.* (2015), testaram a hipótese de gradiente de tensão (SGH - *stress gradient hypothesis*) formulada por Bertness e Callaway (1994) no estudo das interações. Esta hipótese sugere que a competição é menos intensa e a interação planta-planta se torna facilitadora quando sob alto estresse abiótico ou herbivoria. Segundo He e Bertness (2014), o SGH pode ser usado para prever tendências gerais nas interações das espécies sob condições de estresse.

Categorizados como “bioquímico”, alguns métodos trabalharam com avaliação de interações alelopáticas (MARKOVIC *et al.*, 2019; MURRELL *et al.*, 2011; ZHAO-JIANG *et al.*, 2011) ou avaliação nutricional (YIN *et al.*, 2018; MONTESINOS-NAVARRO *et al.*, 2017). Por exemplo, Zhao-Jiang *et al.* (2011) estudaram os efeitos da exposição aos VOCs (*volatile organic compounds* - componentes orgânicos voláteis) de *Artemisia frigida* Willd. sobre plantas de pastagem utilizando um aparato chamado “gaiola de duas câmaras” (PETTERSSON *et al.*, 1999). Neste método, uma planta afetada libera os VOCs que são levados pelo vento para uma segunda câmara

onde está a outra planta, com o intuito de analisar seu desenvolvimento durante a exposição, além da análise bioquímica dos VOCs presentes no ar.

Alguns trabalhos utilizaram métodos de avaliação “genética” (NOTO e HUGHES, 2020; BOWSHER *et al.*, 2017; CHACON-LABELLA *et al.*, 2016). Para testar se há diferença nas interações competitivas conspecíficas/intraespecíficas (entre mesma espécie) e congêneres (entre mesmo gênero), Bowsher *et al.* (2017) avaliou o peso da biomassa seca das partes aéreas de duas herbáceas de mesmo gênero e espécies diferentes. Além disso, os autores utilizaram de uma análise genética de montagem “De novo” do transcriptoma dessas espécies. Segundo eles, transcriptomas podem ajudar a identificar os mecanismos moleculares subjacentes às interações entre as espécies, além de que essas respostas de base molecular aos vizinhos são importantes para a coexistência das espécies. O uso de abordagens de transcriptomas, apesar do alto custo, são ferramentas poderosas para produção de informações sobre eixos de nichos importantes ajudando na geração de hipóteses.

Algumas técnicas visam o “manejo” (MONTGOMERY *et al.*, 2010; MOU *et al.*, 1993) podendo, por exemplo, ser usadas em simulações das interações em nível espacial, como uso da teoria de campo ecológico (*ecological field theory* – EFT) estudada por Mou *et al.* (1993). Além de muitos modelos baseados desenvolvidos para descrever efeitos e respostas das interações, além de buscar entender os mecanismos das interações competitivas. A teoria do campo ecológico (EFT) (WU *et al.*, 1985) fornece a base para uma metodologia para incluir interações espaciais entre plantas de diferentes tamanhos, funções e formas de crescimento em modelos de comunidade vegetal e dinâmica de cobertura do solo (SHARPE, 1986; PENRIDGE e WALKER, 1986; WALKER *et al.*, 1986).

Outros estudos trabalharam com métodos diferentes de análise categorizados como “rede”, como a avaliação ontogênica e/ou caracterização em redes multicamadas de interação ecológica (LOSAPIO *et al.*, 2018; KINLOCK, 2020), além de trabalhos de “modelagem” de indivíduo ou em séries de substituição (ZAKHAROVA *et al.*, 2020; ZHAO *et al.*, 2013). A frequência relativa de todos esses métodos utilizados nos artigos selecionados está representada na Figura 6 a seguir.

Uma questão interessante pode ser levantada sobre a relação dos métodos utilizados por esses pesquisadores com o tipo de interação estudada. A Figura 7 é um

Heatmap relacionando os dados entre si, e podemos observar que os pontos de interação em tons escuros demonstram uma maior frequência de co-ocorrência dos métodos em relação ao tipo de interação estudada.

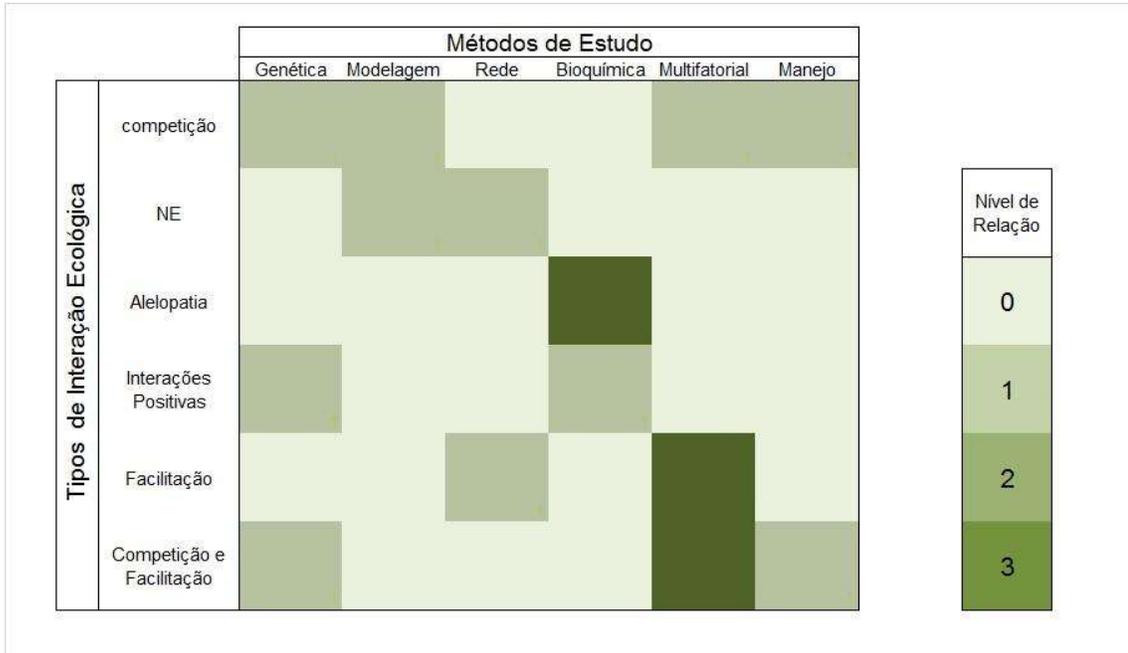


Figura 7. *Heatmap* de co-ocorrência entre os métodos de análise para estudar os tipos de interações entre as plantas. Quanto mais escuro (nível = 3) mais específico o método em função do tipo de interação. (Ver Anexo 1 para melhor qualidade de visualização). Fonte: autor.

Nota-se que interações do tipo “alelopatia” são mais estudadas utilizando métodos de análise “bioquímica”, evidentemente devido aos estudos analisarem os compostos voláteis produzidos pelas plantas que são liberados durante a interação. Estudos sobre “facilitação” e “facilitação/competição” são mais estudados utilizando-se métodos de análise “multifatorial ambiental”. Geralmente, estes tipos de interações são mediados por fatores ambientais, como descrito anteriormente. Então metodologias que exploram esses fatores são mais eficientes, além de serem mais simples e consequentemente de custo reduzido. Vale ressaltar que isto não possibilita abrir mão de métodos mais avançados e eficientes, pois estudos que buscam compreender melhor as interações entre as plantas dependem de recursos tecnológicos e científicos de qualidade para garantir bons resultados.

5. CONCLUSÃO

Em linhas gerais, este estudo demonstrou que nem sempre os autores deixam com clareza os tipos de interações envolvidas entre plantas. A maioria dos estudos se concentram em compreender as consequências causadas pelas interações tanto nas plantas estudadas quanto na comunidade no geral.

Para se ter uma noção do mecanismo principal envolvido na interação, pode-se estudar suas consequências, ou seja, o resultado daquela interação (fator conseqüente), ou buscar compreender o porquê ocorre tal interação (geralmente fator externo). Em outras palavras, para entender “como” as plantas interagem entre si, precisamos conhecer o “porquê” ou a causa dessa interação e estudar “o quê” acontece quando elas ocorrem.

Existem vários fatores mediadores dessas interações, ou seja, que podem determinar até mesmo o tipo de interação que ocorre ou venha a ocorrer entre as plantas. Os fatores externos podem propiciar uma interação como por exemplo, os fatores edafoclimáticos (condições do solo e clima) determinam a intensidade de uma competição. Alguns estudos buscaram compreender os fatores conseqüentes, por exemplo, medindo a biomassa seca das plantas para testar o resultado de uma competição.

Tendo em vista os aspectos observados, nota-se que a metodologia se baseia sempre no tipo de interação a ser estudada e na causa ou conseqüência da mesma. Quanto ao tipo das plantas estudadas, nem sempre foi apresentado um motivo aparente. Geralmente o foco são em vegetações de áreas afetadas ou com algum evento ocorrente em específico. A maioria são de hábito herbáceo, podendo o motivo ser por questões de tamanho e/ou facilidade de manejo.

Dentro dos vinte e um artigos selecionados, muitas metodologias diferentes foram descritas e testadas. O que se pode concluir disso é que há diferentes maneiras de estudar como ocorre uma interação, dependendo do objetivo e da questão em foco. Geralmente a tomada de decisão é feita com base nos custos que o estudo demanda.

De modo geral, o objetivo na ecologia de buscar compreender a mecânica por trás das interações traz uma nova visão para a ecologia de plantas, pois passamos a ver a comunidade vegetal como uma complexa rede onde tudo está interligado,

como um superorganismo, e tudo o que acontece aos indivíduos nessa rede pode afetar a todos nela. Além disso, essa visão de conexão entre os organismos não deve ser estudada com métodos restritivos. Deve-se abranger todo o envolvimento, toda a estrutura que sustenta a comunidade, sendo elas bióticas (como os próprios organismos, sejam plantas ou não), ou abióticas (como o solo, o clima, a água etc.). Sendo assim, os estudos das interações das plantas (não somente planta-planta) devem ser amparados por diversos campos da ciência juntamente com a ecologia como a genética, fisiologia vegetal, biotecnologia, entre outras, buscando métodos cada vez mais avançadas para compreensão da dinâmica de uma comunidade vegetal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJOY, M.; GHOSH, B. Scientometric analysis of research advancement in graph theory and its applications, COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management, n. 12 v.2, 243-261, 2018. DOI: 10.1080/09737766.2018.1453674

ANTHELME, F. *et al.* Unexpected mechanisms sustain the stress gradient hypothesis in a tropical alpine environment. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 1, p. 62–72, 2012.

BARBOSA, J. P. R. A. D. *et al.* Plant physiological ecology and the global changes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n.3., 253-269, 2012

BATRIU, E.; NINOT, J. M.; PINO, J. Interactions between transplants of *Phragmites australis* and *Juncus acutus* in Mediterranean coastal marshes : The modulating role of environmental gradients. **Aquatic Botany**, v. 124, p. 29–38, 2015.

BAZZAZ, F. A. Plants in changing environments. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

BELLOIN, D.; BEN-ARI, T.; MAKOSWK, D. Assessing the quality and results of meta-analyses on crop diversification Protocol for systematic review and evidence map. INRA - Unité d’Agronomie, Thesis, 2018

BERTNESS, M. D.; CALLAWAY, R. Positive interactions in communities. **Trends Ecol. Evol.** n. 9, p. 191–193, 1994.

BOWSHER, A. W. *et al.* Transcriptomic responses to conspecific and congeneric competition in co-occurring *Trifolium*. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 3, p. 602–615, 2017.

BRUNO, J. F.; STACHOWICZ, J. J.; BERTNESS, M. D. Inclusion of facilitation into ecological theory. **Trends in Ecology and Evolution**, n. 18, p.119–125, 2003.

CALLAWAY, R. M.; WALKER, L. R. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. **Ecology**, n.78, p.1958–1965, 1997. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1958:CAFASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1958:CAFASA]2.0.CO;2)

CESARETTI, S. **Plant coexistence mechanisms related to stress and disturbance intensities in sub-mediterranean and sub-desertic grassland systems.** [s.l.] UNIVERSITY OF CAMERINO, 2012.

CHACÓN-LABELLA, J.; CRUZ, M. DE; ESCUDERO, A. Beyond the classical nurse species effect: diversity assembly in a Mediterranean semi-arid dwarf shrubland. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, p. 80–88, 2016.

CHAMEROY, E. J. **Assessing the importance of nurse plant associations to the growth of pre-reproductive *Yucca brevifolia***. [s.l.] UNVL, 2015.

CONNELL, J. H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. **American Naturalist**, n. 122, p. 661-696, 1983.

GÓMEZ-GONZÁLEZ, S. *et al.* Competitive effects of the alien invasive *Centaurea solstitialis* L. on two chilean baccharis species at different life-cycle stages. **Gayana Bot.** v. 66, n. 1, p. 71–83, 2009.

HARPER, J. L. The individual in the population. **Journal of Ecology**. [s. l.], n. 52, p.149–158, 1964.

HE, Q.; BERTNESS, M. D. Extreme stresses, niches, and positive species interactions along stress gradients. **Ecology**, n. 95, p. 1437–1443, 2014.

HEIJDEN, M. G. A.; HORTON, T. R. Socialism in soil? the importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1139–1150, 2009.

HIGGINS, J. P. T.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. Systematic Reviews of Interventions, Second Edition, Cochrane Handbook, 2020.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S. G.; DEEKS, J. J.; ALTMAN, D. G. Measuring inconsistency in meta-analyses. **BMJ Br. Med. J.** n. 327, p. 557–560, 2003.
<https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>

HOWARD, K. S. C.; ELDRIDGE, D. J.; SOLIVERES, S. Positive effects of shrubs on plant species diversity do not change along a gradient in grazing pressure in an arid shrubland. **Basic and Applied Ecology**, v. 13, p. 159–168, 2012.

KINLOCK, N. L. Uncovering structural features that underlie coexistence in an invaded woody plant community with interaction networks at multiple life stages. **Journal of Ecology**, p. 1–40, 2020.

KINOUCI, R. R. Scientometrics: the project for a science of science transformed into an industry of measurements. **Sci. stud.**, São Paulo, v. 12, n. spe, p. 147-159, 2014.

KREBS, C. J. **Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance**. New York: Harper International, 1972.

LAMBERS, Hans *et al.* Biotic Influences: Interactions Among Plants. *In*: LAMBERS, Hans *et al.* **Plant Physiological Ecology**. 2. ed. Nova York, EUA: Springer, p. 505-531, 2008.

LI, L.; YANG, S.; LI, X.; ZHANG, F.; CHRISTIE, P. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. **Plant Soil**. [s. l.], n. 212, p. 105-114, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1004656205144>

LINDEMAN, R. L. The trophic-dynamic aspect of ecology. **Ecology**, n.23, p.399-418, 1942.

LOPES-JÚNIOR, L. C.; LIMA, R. A. G.; OLSON, K. Systematic review protocol examining the effectiveness of hospital clowns for symptom cluster management in Paediatrics. *BMJ Open*, 2019. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-026524

LOSAPPIO, G. *et al.* Plant life history stage and nurse age change the development of ecological networks in an arid ecosystem. **Oikos**, v. 127, n. 9, p. 1390–1397, 2018.

MARKOVIC, D. *et al.* Airborne signals synchronize the defenses of neighboring plants in response to touch. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 2, p. 691–700, 2019.

MASCARENHAS, H.; FARIA, K. Dinâmica da paisagem e relações com o uso do solo e fragmentação da cobertura vegetal no município de Flores de Goiás (GO) entre 1985 e 2017. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v.7, n.2, p.115-135, 2019.

MONTESINOS-NAVARRO, A. *et al.* Nurse plants transfer more nitrogen to distantly related species. **Ecology**, v. 98, n. 5, 2017.

MONTGOMERY, R. A.; REICH, P. B.; PALIK, B. J. Untangling positive and negative biotic interactions: views from above and below ground in a forest ecosystem. **Ecology**, v. 91, n. 12, p. 3641–3655, 2010.

MORRIS, E. C. How does fertility of the substrate affect intraspecific competition? Evidence and synthesis from self-thinning. **Ecol. Res.** n. 18, p. 287–305, 2003.

MOU, P.; MITCHELL, R. J.; JONES, R. H. Ecological field theory model: a mechanistic approach to simulate plant-plant interactions in southeastern forest ecosystems. **CANADIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH**, v. 23, p. 2180–2193, 1993.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and Methods of Vegetation Ecology. Wiley, New York, p. 547, 1974.

MURRELL, C. *et al.* Invasive knotweed affects native plants through allelopathy 1. v. 98, n. 1, p. 38–43, 2011.

NAKAGAWA, S.; NOBLE, D.W.A.; SENIOR, A. M. Meta-evaluation of meta-analysis: ten appraisal questions for biologists. *BMC Biol* 15, 18 (2017).
<https://doi.org/10.1186/s12915-017-0357-7>

NOTO, A. E.; HUGHES, A. R. Genotypic diversity weakens competition within, but not between, plant species. *Journal of Ecology*, v. 108, n. 6, p. 2212–2220, 2020.

PALMER, M. W.; P. S. WHITE. On the existence of ecological communities. *Journal of Vegetation Science*. [s. l.], n. 5, p. 279-282, 1994.

PENRIDGE, L. K.; WALKER, J. The effect of neighbouring trees on eucalypt growth in a semi-arid woodland in Australia, *J. Ecol.* n. 74, p. 925–936, 1986.

PETTERSSON, J.; NINKOXIC, V.; AHMED, F. E. Volatiles from different barley cultivars affect aphid acceptance of neighbouring plants. *Acta Agr. Scand. B. S. P.*, n. 49, p. 152–157, 1999.

PILLAR, V. D. Ecologia vegetal: conceitos básicos. UFRGS, Departamento de Ecologia. Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>. Acessado em 21 abr. 2020.

RODA, A. L.; BALDWIN, I. T. Molecular technology reveals how the induced direct defenses of plants work. *Basic and Applied Ecology*, v. 4, n. 1, p. 15–26, 2003.

ROSS, A.; COOPER, C.; GRAY, H.; UMBERHAM, B.; VASSAR, M. Assessment of Publication Bias and Systematic Review Findings in Top-Ranked Otolaryngology Journals. *JAMA otolaryngology-- head & neck surgery*, n. 145, v. 2, p.187–188, 2019.

SANTOS, A. S.; AMORIM, E. P.; FERREIRA, C. F.; PIROVANI, C. P. Water stress in *Musa* spp.: A systematic review. *PLoS ONE*. v.13, n.12, 2018

SCHOENER, T. W. Field experiments on interspecific competition. *American Naturalist*, n. 122, p. 240–285, 1983.

SCHULZE, E.-D.; BECK, E.; MULLER-HOHENSTEIN, K. *Plant ecology*. Heidelberg: Springer, 2018.

SHARPE, P. J. H.; WALKER, J.; PENRIDGE, L. K.; WU, H.; RYKIEL, E. J. Spatial considerations in physiological models of tree growth. **Tree Physiol.** n. 2, p. 403–421, 1986.

THORPE, Andrea S. Interactions among plants and evolution. **Journal of Ecology**, [S.l.], n. 99, p. 729–740, 2011. DOI 10.1111/j.1365-2745.2011.01802.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01802.x>. Acesso em: 11 jun. 2020.

VIECHTBAUER, W. Package “metafor”. R package version 2.0-0 1–262, 2017.

WALKER, J.; ROBERTSON, J. A.; PENRIDGE, L. K.; SHARPE, P. J. H. Herbage response to tree thinning in a Eucalyptus crebra woodland. Aust. **J. Ecol.** n. 11, p. 135–140, 1986.

WANG, D.; WANG, H; WANG, P; LING, T.; TAO, W; YANG, Z. Warming treatment methodology affected the response of plant ecophysiological traits to temperatura increases: a quantitative meta-analysis. **Front. Plant Sci**, n. 10, 2019.

WEN-HONG, X. *et al.* Advances in techniques and methods of wildlife monitoring. **Chinese Journal of Plant Ecology**, v. 44, n. 4, p. 409–417, 2020.

WU, H.; SHARPE, P. J. H.; WALKER, J.; PENRIDGE, L. K. Ecological field theory (EFT): A spatial analysis of resource interference among plants. **Ecol. Modell.** N. 29, p. 215–243, 1985.

YIN, X. *et al.* Aboveground facilitation and not complementary resource use cause overyielding among grasses in Tibetan alpine ecosystems. **FOLIA GEOBOTANICA**, 2018.

YURKONIS, K. A.; MEINERS, S. J.; WACHHOLDER, B. E. Invasion impacts diversity through altered community dynamics. **Journal of Ecology**, n. 93, p.1053-1061, 2005.

ZAKHAROVA, L.; MEYER, K. M.; SEIFAN, M. Combining trait- and individual-based modelling to understand desert plant community dynamics. **Ecological Modelling**, v. 434, p. 109–260, 2020.

ZHANG, W. P.; JIA, X.; WANG, G. X. Facilitation among plants can accelerate density-dependent mortality and steepen self-thinning lines in stressful environments. **Oikos**, v. 126, n. 8, p. 1197–1207, 2017.

ZHAO, C. *et al.* A study on the root competitive pattern of annual pasture in mixed grassland in alpine region. **Acta Ecologica Sinica**, v. 33, n. 3, p. 145–149, 2013.

ZHAO-JIANG, Z. *et al.* Allelopathic effects of *Artemisia frigida* Willd . on growth of pasture grasses in Inner Mongolia , China. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 39, n. 4–6, p. 377–383, 2011.

ZORGER, B. B.; ARRIVABENE, H. P.; MILANEZ, C. R. D. Adaptive morphoanatomy and ecophysiology of *Billbergia euphemiae*, a hemiepiphyte Bromeliaceae. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 70, 2019.

7. ANEXOS



Anexo 1. Código QR para acesso à pasta do Google Drive com as Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 presentes no item “Desenvolvimento” deste trabalho para melhor qualidade de visualização. Para acessar, basta apontar a câmera do celular para o código, ou caso esta função não esteja habilitada, faça o download de um aplicativo leitor de QR Code. Também é possível acessar clicando [aqui](#).



Anexo 2. Código QR para acesso à pasta do Google Drive contendo os materiais auxiliares utilizados para desenvolvimento deste trabalho. Para acessar, basta apontar a câmera do celular para o código, ou caso esta função não esteja habilitada, faça o download de um aplicativo leitor de QR Code. Também é possível acessar clicando [aqui](#).