

Áreas verdes urbanas: Oásis de biodiversidade para o controle biológico de pragas

Urban green areas: Oasis of biodiversity for biological pest control

Areas verdes urbanas: Oasis de biodiversidad para el control biológico de plagas

Alessandra Russi

Doutora, UCS, Brasil
arussi1@ucs.br

RESUMO

Os espaços verdes urbanos desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade local e na melhoria da qualidade de vida da população urbana. No entanto, o controle de pragas nesses espaços apresenta desafios significativos, uma vez que as abordagens tradicionais baseadas no emprego de pesticidas químicos podem ter impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente. Isso tem levado à exploração de abordagens alternativas de manejo de pragas, com foco em métodos de controle biológico. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre estratégias de controle biológico de pragas adotadas em áreas verdes urbanas. A metodologia envolveu a busca de artigos científicos, publicados nos últimos cinco anos, na base de dados Science Direct, utilizando os descritores "controle biológico" e "jardins urbanos". A pesquisa resultou em um total de 27 artigos abordando métodos de controle biológico: natural (7 artigos), conservativo (15 artigos) e aumentativo (5 artigos). Os resultados destacam a importância do manejo biológico de pragas em espaços verdes urbanos, com ênfase para estratégias de controle biológico conservativo, por meio da conservação do *habitat* de populações de inimigos naturais, emprego de resíduos urbanos orgânicos na adubação do solo e o monitoramento de pragas e seus agentes de biocontrole. Em síntese, o controle biológico de pragas representa uma alternativa ecológica e sustentável ao uso de pesticidas sintéticos, contribuindo para a manutenção do equilíbrio ambiental e para a disponibilização de serviços ecossistêmicos.

PALAVRAS-CHAVE: Inimigos naturais. Pesticidas químicos. Serviços ecossistêmicos.

SUMMARY

Urban green spaces play a crucial role in conserving local biodiversity and improving the quality of life for urban populations. However, pest control in these spaces poses significant challenges, as traditional approaches relying on chemical pesticides can have adverse impacts on human health and the environment. This has led to the exploration of alternative pest management strategies, focusing on biological control methods. This study aimed to conduct a literature review on biological pest control strategies adopted in urban green areas. The methodology involved searching for scientific articles published in the last five years in the Science Direct database, using the keywords "biological control" and "urban gardens." The search resulted in a total of 27 articles addressing natural (7 articles), conservation (15 articles), and augmentative (5 articles) biological control methods. The findings highlight the importance of biological pest control in urban green spaces, with an emphasis on conservative biological control strategies, through the conservation of natural enemy populations' habitats, the use of organic urban waste in soil fertilization, and the monitoring of pests and their biocontrol agents. In summary, biological pest control represents an ecological and sustainable alternative to synthetic pesticide use, contributing to the maintenance of environmental balance and the provision of ecosystem services.

KEYWORDS: Chemical pesticides. Ecosystem services. Natural enemies.

RESUMEN

Los espacios verdes urbanos desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad local y en la mejora de la calidad de vida de la población urbana. Sin embargo, el control de plagas en estos espacios presenta desafíos significativos, ya que los enfoques tradicionales basados en el uso de pesticidas químicos pueden tener impactos negativos en la salud humana y en el medio ambiente. Esto ha llevado a la exploración de enfoques alternativos de manejo de plagas, con un enfoque en métodos de control biológico. Este estudio tuvo como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre estrategias de control biológico de plagas adoptadas en áreas verdes urbanas. La metodología involucró la búsqueda de artículos científicos, publicados en los últimos cinco años, en la base de datos Science Direct, utilizando los descriptores "control biológico" y "jardines urbanos". La investigación resultó en un total de 27 artículos que abordan métodos de control biológico: natural (7 artículos), conservativo (15 artículos) y aumentativo (5 artículos). Los resultados destacan la importancia del manejo biológico de plagas en espacios verdes urbanos, con énfasis en estrategias de control biológico conservativo, a través de la conservación del hábitat de poblaciones de enemigos naturales, el uso de residuos urbanos orgánicos en la fertilización del suelo y el monitoreo de plagas y sus agentes de biocontrol. En resumen, el control biológico de plagas representa una alternativa ecológica y sostenible al uso de pesticidas sintéticos, contribuyendo a mantener el equilibrio ambiental y a proporcionar servicios ecossistémicos.

PALABRAS CLAVE: Enemigos naturales. Pesticidas químicos. Servicios ecossistémicos.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e a urbanização têm se acelerado nos últimos anos (NIGHSWANDER et al., 2021). De acordo com projeções da Nações Unidas, espera-se que a população urbana represente aproximadamente 70 % da população global até o ano de 2050 (NAÇÕES UNIDAS, 2019). Embora a urbanização contribua para o declínio da biodiversidade e para a degradação de solos (TÓTH et al., 2020; YANG et al., 2020), a implantação e preservação de espaços verdes ajudam a minimizar esses impactos negativos, por meio da disponibilização de serviços ecossistêmicos (YOUNG et al., 2020). Serviços ecossistêmicos são benefícios ou vantagens advindas, direta ou indiretamente, da existência de ecossistemas, tais como serviços de apoio, previsão, regulação e culturais (SILVESTRI et al., 2013).

As áreas verdes urbanas compreendem tanto espaços públicos quanto privados, constituídos por parques, jardins, hortas comunitárias, hortas domésticas, entre outros. Esses espaços variam desde pequenos trechos remanescentes de mata nativa até jardins e bosques com vegetação exótica. A presença de áreas verdes em centros urbanos traz benefícios como a melhoria da qualidade do ar e do ambiente, promoção do bem-estar, oportunidades de lazer, prática de esportes e atividades recreativas, além de contribuir para a preservação da biodiversidade local e para a minimização dos efeitos das mudanças climáticas (BALDOCK, 2020; HOME; VIELI, 2020).

De forma geral, os ecossistemas urbanos apresentam uma variedade reduzida de espécies arbóreas, o que tem um impacto negativo na abundância e na diversidade de espécies de animais e micro-organismos presentes no local. De acordo com Wilson et al. (2023), a baixa diversidade vegetal pode ocasionar o aumento de pragas, por meio do estímulo à dispersão e proliferação desses organismos. Isso ocorre devido ao menor número de organismos antagonistas ou predadores que normalmente auxiliariam na manutenção do equilíbrio ambiental. A ocorrência de condições favoráveis a um determinado grupo de organismos leva a um aumento significativo em suas populações, uma vez que não encontram competição por habitat e alimento com outras espécies (ALTIERI, 1999).

O controle biológico, ou biocontrole, representa uma alternativa sustentável ao uso de pesticidas sintéticos no manejo insetos, ácaros, patógenos e plantas invasoras em áreas verdes (VAN LENTEREN et al., 2018). Essa abordagem envolve a utilização de organismos vivos, como insetos predadores, parasitoides e micro-organismos, para controlar as populações de pragas de forma natural. Suas principais vantagens incluem a redução dos impactos ambientais, a preservação de inimigos naturais e micro-organismos benéficos, bem como a manutenção do equilíbrio ambiental (VAN DER LINDEN; FATOUROS; KAMMENGA, 2022).

Os inimigos naturais consistem em artrópodes e micro-organismos predadores ou parasitoides que auxiliam no controle das populações de pragas (NIGHSWANDER et al., 2021). Os parasitoides são organismos vivos que se desenvolvem externa ou internamente a um hospedeiro, podendo, eventualmente, causar sua morte (THEODOROU, 2022). Por outro lado, os micro-organismos benéficos incluem fungos, bactérias e leveduras que podem promover o crescimento vegetal ou atuar inibindo patógenos vegetais por meio de competição por habitat e nutrientes, síntese de compostos antimicrobianos e produção de enzimas líticas (LEGEIN et al., 2020).

Conforme Eilenberg, Hajek e Lomer (2001), existem quatro categorias principais de controle biológico: natural, conservativo, clássico e aumentativo. O controle biológico natural

ocorre de forma espontânea na natureza, sem necessidade de intervenção humana. Nessa modalidade de controle biológico, as populações se mantêm em equilíbrio, sem que ocorra a proliferação excessiva de um grupo específico em detrimento dos demais. De forma similar, no controle biológico conservativo, os níveis populacionais das diferentes espécies tendem a se manter estáveis. No entanto, a ação humana pode contribuir para melhorar as condições ambientais, tornando-as favoráveis aos inimigos naturais e micro-organismos antagonistas e aumentando a resiliência do sistema.

Por outro lado, no controle biológico clássico, são obtidos inimigos naturais ou micro-organismos antagonistas nos locais de origem da praga. Esses organismos benéficos são multiplicados em condições controladas e, posteriormente, introduzidos nos locais afetados pela praga, estabelecendo um controle duradouro. Adicionalmente, o controle biológico aumentativo envolve a obtenção de grandes populações de inimigos naturais, seguida pela liberação massiva desses organismos em áreas a serem protegidas ou sob ataque (EILENBERG; HAJEK; LOMER, 2001). Essa forma de controle biológico pode ser direcionada à supressão imediata de pragas em culturas anuais, sendo denominada de controle biológico inundativo, ou à inibição de organismos nocivos em culturas perenes, como florestas e matas, sendo conhecida como controle biológico inoculativo sazonal (COCK et al., 2010).

O manejo sustentável de áreas verdes em centros urbanos é crucial, considerando que os espaços verdes urbanos frequentemente apresentam uma maior incidência de artrópodes praga e patógenos em comparação com as áreas rurais. Isso ocorre devido à baixa diversidade da vegetação urbana ou ao cultivo em monocultura, o que favorece a proliferação de pragas (WILSON et al., 2023).

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre estratégias de controle biológico de pragas adotadas em áreas verdes urbanas, abrangendo pomares, hortas, jardins, parques. Além disso, buscou-se identificar as melhores práticas e técnicas disponíveis para o manejo sustentável desses espaços, com o intuito de contribuir para a promoção da saúde ambiental e qualidade de vida nas áreas urbanas.

3 METODOLOGIA

O presente estudo consistiu em uma revisão bibliográfica sobre as estratégias de controle biológico empregadas em espaços verdes localizados em áreas urbanas. A busca por artigos científicos e artigos de revisão de literatura foi realizada na base de dados Science Direct, utilizando os descritores “biological control” e “urban gardens”. A pesquisa foi realizada nos meses de janeiro a março de 2024, com foco em trabalhos publicados nos últimos cinco anos (2019-2024). Os resultados passaram por etapa de refinamento para selecionar estudos envolvendo as áreas de Ciências Ambientais, Agrárias e Biológicas.

Após a aplicação dos critérios de exclusão, os resumos dos trabalhos remanescentes foram lidos e analisados, sendo descartados aqueles que não se alinhavam com a temática de interesse. Decorrida esta etapa, os artigos foram classificados em quatro categorias de acordo com o tipo de controle biológico empregado (natural, clássico, conservativo e aumentativo).

Esta classificação permitiu uma organização mais clara dos estudos e uma compreensão mais aprofundada das diferentes abordagens utilizadas.

Posteriormente, foi realizada uma análise crítica desses estudos, buscando identificar suas contribuições, limitações e possíveis direções para pesquisas futuras. Essa análise proporcionou *insights* valiosos para o entendimento e aprimoramento das estratégias de controle biológico de pragas em áreas verdes urbanas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca pelos descritores “biological control” e “urban gardens” na base de dados Science Direct retornou 538 resultados. Subsequentemente, com a aplicação do critério de refinamento em relação à área do conhecimento envolvida (Ciências Ambientais, Agrárias e Biológicas), restaram 412 estudos científicos. A eliminação de trabalhos que não foram publicados no período entre 2019 e 2024, limitou a pesquisa a 217 estudos. Em seguida, a seleção de artigos científicos, com foco em resultados de pesquisa ou revisão de literatura, levou à exclusão de 3 enciclopédias e 22 capítulos de livro, reduzindo o conjunto para análise a um total de 186 artigos científicos.

Após a leitura criteriosa dos resumos de cada um dos artigos, foram eliminados 156 estudos que divergiram da temática de interesse, que abordaram aspectos relacionados à biorremediação do solo, saúde humana ou aspectos econômicos não afins aos objetivos desta revisão. Dessa forma, restaram 27 artigos que foram classificados em três categorias dependendo do tipo de controle biológico adotado: natural (7 artigos), conservativo (15 artigos) e aumentativo (5 artigos). Nenhum dos trabalhos abordou o uso do controle biológico clássico.

4.1 Controle biológico natural

A diversidade biológica em áreas urbanas desempenha um papel essencial na preservação e na funcionalidade de espaços verdes, conforme pode ser observado em sete estudos que abordaram essa temática (Quadro 1). Para tanto, foram realizadas diferentes análises visando à determinação qualitativa e/ou quantitativa da biodiversidade de plantas, animais, insetos e inimigos naturais nesses locais.

O uso integrado de indicadores ambientais é uma importante ferramenta no planejamento e gestão sustentável de áreas verdes urbanas. Por exemplo, Basnou et al. (2020) realizaram uma avaliação abrangente da biodiversidade, das funções dos ecossistemas e da demanda por serviços ecossistêmicos, em áreas verdes urbanas e periurbanas em Barcelona, na Espanha. Nesse estudo, verificou-se que florestas ou áreas de cultivo agrícola em periferias urbanas contribuem significativamente para a biodiversidade local e disponibilizam serviços de provisão, regulação, suporte e culturais, demandando atenção crítica em seu planejamento e conservação.

Além disso, o manejo adequado de áreas verdes, em forma de *micro-habitat*, *habitat* e escalas de paisagem, exerce influência sobre as populações de inimigos naturais e agentes de controle biológico, com impactos diretos nos serviços ecossistêmicos. Em um estudo conduzido por Philpott et al. (2024), foi analisada a abundância de espécies predadoras em agroecossistemas urbanos na costa central da Califórnia, nos Estados Unidos. Os autores verificaram que tanto a presença de flores, a diversidade de plantas herbáceas e a abundância

de árvores quanto as características da paisagem urbana nas proximidades influenciaram o controle de pragas e a presença de predadores naturais, como formigas, pássaros, lagartos, vespas e aranhas.

A diversidade e conformação estrutural das plantas também podem interferir em serviços ecossistêmicos (NIGHSWANDER et al., 2021). Ecossistemas com significativa diversidade alfa, ou seja, com grande abundância de espécies, e com expressiva diversidade beta, isto é, com grande variação espacial na composição de espécies, tendem a abrigar uma maior diversidade biológica. Similarmente, a presença de uma estrutura vegetal constituída por plantas de diferentes alturas possibilita uma melhor ocupação espacial de áreas verdes, contribuindo para a manutenção de temperaturas amenas e para a proliferação de inimigos naturais, micro-organismos promotores do crescimento vegetal e antagonistas de fitopatógenos. Somado a isso, Nighswander et al. (2021) destacam a importância do controle de insetos e ácaros herbívoros que causam danos às plantas jovens e podem causar sérios prejuízos econômicos e ambientais.

Ainda sobre a conformação do dossel vegetal e a distribuição da diversidade vegetal, em um estudo conduzido por Wilson et al. (2023), em Raleigh, nos Estados Unidos, constatou-se que o emprego de uma maior riqueza de espécies vegetais e a adoção de um manejo adequado do dossel estavam associados a uma menor densidade de escamas do inseto praga *Melanaspis tenebricosa*, que afeta a espécie vegetal *Acer rubrum* L. No entanto, tal redução não foi correlacionada com um aumento na população de inimigos naturais ou no controle biológico da praga.

Em relação à variabilidade da biota, Persson et al. (2020) realizaram uma análise comparativa da diversidade de polinizadores em áreas urbanas e rurais na Suécia. Os resultados mostraram que a riqueza de espécies de abelhas silvestres foi maior em jardins urbanos, ao passo que as moscas-das-flores apresentaram maior abundância e diversidade em áreas rurais. Além disso, verificou-se que a forma de manejo das áreas verdes afeta a qualidade do *habitat* para os polinizadores, influenciando sua proliferação ou estagnação populacional. De forma similar, Bosly (2021) fizeram um levantamento da população de polinizadores na região do lago Jazan, na Arábia Saudita, reconhecida como um dos principais reservatórios de biodiversidade do país. Os pesquisadores identificaram a presença de 15 espécies de insetos benéficos, que atuam como agentes de biocontrole de pragas e na polinização de flores, contribuindo assim para a conservação de plantas de importância econômica e medicinal.

Um outro estudo, foi desenvolvido por Tóth et al. (2020), visando avaliar as populações de minhocas e outros organismos do solo em áreas urbanas de diferentes regiões climáticas e biogeográficas, incluindo Baltimore (Estados Unidos), Budapeste (Hungria), Potchefstroom (África do Sul) e Helsinque e Lahti (Finlândia). A maior abundância de espécies foi observada em Baltimore, ao passo que Budapeste e as cidades finlandesas apresentaram baixa diversidade de espécies. Além disso, verificou-se que matas remanescentes e gramados apresentavam significativa biomassa de minhocas. Finalmente, as comunidades de minhocas foram semelhantes nos diferentes centros urbanos, evidenciando o papel da urbanização na constituição da fauna urbana em escalas locais e regionais.

Quadro 1 – Estratégias de controle biológico natural adotadas no manejo de áreas verdes urbanas, segundo pesquisa bibliográfica realizada na base Science Direct, no período entre 2019 e 2024

Estratégias empregadas	Referências
Biodiversidade vegetal para manutenção do equilíbrio natural em jardins urbanos	Basnou et al. (2020)
Comparativo da riqueza de espécies polinizadoras em áreas urbanas e rurais	Persson et al. (2020)
Diversidade de organismos subterrâneos e minhocas em áreas urbanas	Tóth et al. (2020)
Determinação de populações de insetos-praga e inimigos naturais	Bosly (2021)
Determinação da diversidade vegetal e sua relação com populações de insetos-praga e inimigos naturais	Nighswander et al. (2021)
Análise das populações de inimigos naturais no controle de <i>Melanaspis tenebricosa</i> em plantas de <i>Acer rubrum</i> L. na zona urbana	Wilson et al. (2023)
Relação entre biodiversidade vegetal e populações de insetos predadores	Philpott et al. (2024)

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 Controle biológico conservativo

O controle biológico conservativo em espaços verdes urbanos é uma das principais estratégias apontadas na literatura para promover a manutenção de populações de inimigos naturais das pragas, como predadores, parasitoides e entomopatógenos. Dessa forma, foram identificados 15 estudos que abordaram a preservação do *habitat* natural, uso de resíduos urbanos na adubação do solo e o monitoramento de pragas e seus inimigos naturais (Quadro 2).

Os processos envolvidos na urbanização afetam negativamente a biodiversidade animal, vegetal e microbiana existente em áreas verdes. Tanto a riqueza quanto a abundância das populações de artrópodes benéficos e pragas são significativamente impactadas pelo crescimento dos assentamentos urbanos e das cidades. Esses efeitos, de modo geral, variam conforme a especificidade de cada organismo, interações ecológicas, região geográfica e intensidade das mudanças provocadas pela ação antrópica (THEODOROU, 2022).

As temperaturas mais elevadas, típicas de centros urbanos, exercem um impacto negativo na abundância, desenvolvimento e comportamento de várias espécies de invertebrados, bem como nas interações ecológicas entre pragas, artrópodes herbívoros, polinizadores e inimigos naturais. A poluição luminosa também interfere no fluxo e migração de artrópodes, exercendo um efeito atrativo sobre os mesmos. Somado a isso, a poluição ambiental e sonora e o uso de pesticidas químicos em jardins urbanos, também afetam populações locais e suas interações ecológicas (HARRISON; WINFREE, 2015; THEODOROU, 2022).

Os corredores urbanos de biodiversidade são um fator de grande relevância na conservação de espaços verdes urbanos. Eles promovem a conexão estrutural e funcional entre diferentes áreas verdes, possibilitando a continuidade das interações entre os seres vivos e mantendo a resiliência de ecossistemas (ALVAREZ ICAZA, 2013). Por meio desses corredores ocorre a formação de redes ecológicas interligadas, evitando a fragmentação de paisagens em áreas urbanas, periurbanas e rurais. Além disso, esses corredores servem como um indicador do interesse político e social em conservar agroecossistemas e espaços verdes de forma integrada (DE MONTIS et al., 2019).

Nesse contexto, Hernández et al. (2022) enfatizaram a importância da manutenção do Corredor Biológico Mesoamericano no México, levando em consideração aspectos ambientais, sociais e econômicos na gestão integrada de territórios. Destaca-se que a preservação desses corredores não deve se restringir a aspectos ambientais, mas também abranger características sociopolíticas, uso sustentável de recursos naturais e planejamento regional. Similarmente, De Montis et al. (2019) avaliaram um método de análise de duas redes ecológicas em Sassari e

Nuoro, na Itália, a fim de determinar locais críticos a serem protegidos contra agentes externos. Os resultados demonstraram a importância de indicadores no estudo comparativo de redes interconectadas por corredores ecológicos. Ademais, o uso de sistemas integrados possibilita monitorar o impacto do planejamento desses sistemas bem como, aumentar a eficiência do planejamento do uso da terra.

O monitoramento de populações de pragas e patógenos é outro importante aspecto no controle biológico conservativo. Em um estudo conduzido em Roraima, no Brasil, Soares et al. (2023) acompanharam diversas populações da mosca-das-frutas *Bactrocera carambolae* no cultivo urbano de carambola. Os autores verificaram que a abundância da praga apresentou forte correlação com a umidade relativa do ar. Esses resultados podem contribuir para programas de erradicação dessa praga, indicando os períodos com maior quantidade de insetos e os locais com maior probabilidade de sua ocorrência. De forma semelhante, Mukherjee, Kumar e Roy (2022) desenvolveram um modelo matemático para monitorar populações de abelhas expostas a diferentes pesticidas. Tal modelo possibilita determinar a toxicidade *in vitro* e *in vivo* de agrotóxicos, avaliando fatores que podem causar desorientação em insetos, levando ao colapso das colônias e, até mesmo, à extinção de determinadas espécies.

Ainda em relação ao monitoramento de pragas, Hulbert et al. (2019) avaliaram as interações entre o fungo fitopatogênico *Phytophthora* spp. e espécies vegetais exóticas presentes em três jardins botânicos e um jardim urbano histórico na Província do Cabo Ocidental, na África do Sul. Os autores observaram que aproximadamente 50% das amostras aleatoriamente coletadas estavam contaminadas com o patógeno, incluindo espécies que nunca haviam sido detectadas no país. Assim, os jardins botânicos são importantes locais para obtenção de dados e para a implementação de sistemas de alerta de pragas, inclusive quarentenárias. Isso ocorre devido ao fato de mudas vegetais serem adquiridas de diferentes áreas geográficas, podendo abrigar populações de artrópodes ou patógenos exóticos, levando à proliferação de pragas potencialmente nocivas.

Por outro lado, Salomon et al. (2022) examinaram as propriedades físicas, químicas e microbiológicas de solos provenientes de dois jardins comunitários e um local destinado à agricultura urbana ao longo de um ano. De acordo com as observações, a biodiversidade vegetal foi maior nos jardins comunitários em comparação com a produção agrícola comercial. Além disso, a presença de nutrientes no solo apresentou flutuações sazonais, com decréscimo nos níveis de nitrogênio total e carbono durante a realização do experimento. Assim, os autores recomendam a adoção da cobertura do solo e o uso de composto equilibrado em nutrientes para contrabalançar a diminuição do carbono e o acúmulo de fósforo, assegurando a fertilidade dos solos e, conseqüentemente, a conservação da biota do solo.

Além da agricultura urbana, o uso de telhados verdes vem ganhando destaque em grandes cidades. Esses telhados possibilitam o cultivo vegetal sobre laje plana ou inclinada, contribuindo com múltiplas funções ecossistêmicas. Nesse sentido, Cáceres et al. (2022) analisaram o emprego de diferentes espécies vegetais em telhados verdes na Argentina. Os pesquisadores verificaram que, embora o uso de monoculturas como *Sedum* spp., *Phyla nodiflora* e *Eustachys distichophylla* tenham apresentado desenvolvimento similar aos cultivos mistos, a adoção destes últimos é mais aconselhável, uma vez que apresentam maior potencial de sobrevivência e complementaridade funcional ao longo do desenvolvimento vegetal.

O planejamento de áreas verdes urbanas também contribui para o controle biológico conservativo. Nesse contexto, o estudo de revisão conduzido por Kowarik (2023) destaca a

importância de múltiplos aspectos para a manutenção da biodiversidade e da ecologia urbana em Berlim, na Alemanha. Essa abordagem viabiliza a conciliação do uso do solo urbano com a preservação da diversidade vegetal, animal e microbiana em benefício da população, por meio da conservação de áreas verdes remanescentes, bem como da implantação de novos espaços verdes e outros ecossistemas urbanos.

A adubação orgânica apresenta um efeito positivo na fertilidade do solo, estimulando o crescimento das plantas e fornecendo nutrientes a diferentes populações de inimigos naturais e micro-organismos antagonistas. Essa matéria orgânica pode ser proveniente de diversas fontes, como esterco animal, biochar, lodos de esgoto, resíduos vegetais e de compostagem (PANE et al., 2015; MALONE; BERHE; RYALS, 2023). Contudo, a disponibilização dos nutrientes presentes na matéria orgânica depende de processos de decomposição e mineralização realizados por enzimas extracelulares liberadas pela microbiota do solo e pelas raízes das plantas, na forma de exsudatos (PARFITT et al., 2005; SUN et al., 2021). Enzimas como invertase, urease, peroxidase e desidrogenase atuam na ciclagem de nutrientes, garantindo o fluxo energético entre os seres vivos habitantes do solo (FENG et al., 2019; SUN et al., 2021).

Considerando a importância da adubação, diferentes estudos abordaram seu uso como forma de melhorar a fertilidade e a estrutura de solos urbanos. Assim, Sun et al. (2021) reportaram um aumento na concentração de nutrientes e no conteúdo de água no solo, além da manutenção da temperatura em níveis mais estáveis por meio da adubação com cobertura morta em uma floresta urbana de *Ligustrum lucidum*. De forma similar, o composto proveniente de resíduos biossólidos urbanos (ARCAS-PILZ et al., 2023; BROWN; BUTMAN; KURTZ, 2023) e o composto de esterco lábil ou composto municipal recalcitrante (SMALL et al., 2023) foram empregados na manutenção de parques, florestas e jardins urbanos, contribuindo para uma economia circular, resiliência climática e a sustentabilidade.

Além disso, Malone, Berhe e Ryals (2023) avaliaram o uso de biochar, composto e lodo de esgoto no aumento da qualidade de solos urbanos. O biochar, também denominado biocarvão, é um material carbonáceo proveniente da decomposição térmica da biomassa, sob condições de temperatura superiores a 350°C. A adição do biochar ao solo contribui para melhorar a capacidade de troca catiônica, porosidade, aeração e agregação do solo (AJENG et al., 2021). Os lodos de esgoto são provenientes de águas residuais tratadas e se caracterizam por apresentar altos níveis de nitrogênio e fósforo, melhorando a fertilidade do solo (WIJESEKARA et al., 2021). Por outro lado, os compostos podem ser oriundos de diferentes materiais orgânicos e também contribuem para o fornecimento de nutrientes aos vegetais e à biota do solo. Nesse estudo, os autores verificaram que incorporação desses diferentes biofertilizantes levou a um aumento nos níveis de matéria orgânica no solo e, somado a isso, a aplicação de lodo de esgoto também elevou as concentrações de outros nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal.

A implementação de jardins urbanos com uma grande diversidade vegetal, juntamente com a seleção criteriosa de plantas com potencial atrativo para insetos benéficos e inimigos naturais, também contribui para o controle biológico conservativo. Para tanto, um estudo de revisão conduzido por Baldock (2020) indicou que o cultivo de plantas que oferecem locais de nidificação e possuem características atrativas é fundamental para a preservação de insetos polinizadores. Além disso, essas informações podem ser empregadas para auxiliar no manejo de áreas urbanas, promovendo a diversidade e a abundância de populações de artrópodes.

Quadro 2 – Estratégias de controle biológico conservativo adotadas no manejo de áreas verdes urbanas, segundo pesquisa bibliográfica realizada na base Science Direct, no período entre 2019 e 2024

Estratégias empregadas	Referências
Corredores urbanos na manutenção da biodiversidade	De Montis et al. (2019)
Monitoramento da presença de fungos patogênicos em jardim botânico	Hulbert et al. (2019)
Parques e seus efeitos benéficos sobre a população de insetos polinizadores	Baldock (2020)
Análise da biodiversidade em duas hortas comunitárias e um local de agricultura urbana comercial	Salomon et al. (2022)
Uso de cobertura morta em uma floresta urbana de <i>Ligustrum lucidum</i>	Sun et al. (2021)
Avaliação de diferentes composições vegetais e seus respectivos ecossistemas em telhados verdes	Cáceres et al. (2022)
Corredores ecológicos na manutenção da biodiversidade	Hernández et al. (2022)
Avaliação de populações de abelhas em áreas urbanas e do efeito de pesticidas químicos sobre as mesmas	Mukherjee, Kumar e Roy (2022)
Ecologia urbana, efeitos da urbanização na população de insetos, avaliação de relações ecológicas e identificação de interações antagônicas e mutualistas	Theodorou (2022)
Uso de resíduos urbanos orgânicos na manutenção de parques e jardins urbanos	Arcas-Pilz et al. (2023)
Uso de resíduos urbanos orgânicos na adubação de florestas urbanas	Brown, Butman e Kurtz (2023)
Ecologia urbana e preservação da biodiversidade em novos ecossistemas, ecossistemas híbridos e ecossistemas naturais remanescentes	Kowarik (2023)
Aplicação de matéria orgânica, na forma de biochar, composto e lodo de esgoto, em áreas verdes urbanas	Malone, Berhe e Ryals (2023)
Aplicação de composto proveniente de esterco ou de resíduos domésticos	Small et al. (2023)
Monitoramento com armadilhas para controle da mosca-das-frutas <i>Bactrocera carambolae</i> no cultivo urbano de carambola	Soares et al. (2023)

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3 Controle biológico aumentativo

Em áreas verdes urbanas, como parques, jardins públicos e espaços recreativos, o controle biológico aumentativo oferece uma alternativa atrativa aos métodos convencionais de controle de pragas. Isso ocorre porque essas áreas são frequentadas por crianças, animais de estimação e outras pessoas, tornando essencial reduzir ou eliminar o uso de pesticidas químicos que podem apresentar riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Assim, corroborando a importância dessa abordagem, foram encontrados cinco na modalidade de controle biológico aumentativo (Quadro 3).

Ljubojević (2021) realizou uma análise da literatura, que abordou, entre outros aspectos, o uso de biopesticidas na produção urbana de maçãs. Os pesticidas biológicos são bioinsumos desenvolvidos a partir de plantas, inimigos naturais, micro-organismos ou seus derivados que atuam no controle de pragas, mantendo suas populações estáveis e em equilíbrio com o ecossistema local. Os biopesticidas de origem vegetal incluem extratos de plantas com ação repelente sobre pragas (LENGAI; MUTHOMI, 2018). Semelhantemente, os pesticidas de origem microbiana são constituídos por fungos e bactérias antagonistas, pertencentes a gêneros como *Bacillus*, *Beauveria*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, que atuam inibindo ou eliminando pestes e patógenos. Essas soluções biológicas possibilitam um cultivo urbano de frutas livre de resíduos químicos, viabilizando a existência de um agroecossistema ecológico e sustentável.

Outra estratégia viável a ser adotada no manejo de pragas em espaços verdes urbanos consiste na inoculação de inimigos naturais, que inibem as pestes por meio do parasitismo,

parasitoidismo e predação. Enquanto o parasitismo consiste em uma relação simbiótica na qual o parasita sobrevive às custas do hospedeiro, o parasitoidismo é uma forma de parasitismo em que o parasitoide deposita seus ovos dentro ou sobre um hospedeiro específico, levando à morte da praga (MICHEREFF FILHO et al., 2013). Por outro lado, a predação compreende a relação entre o predador que captura, mata e consome a presa, como fonte de alimento. Em relação a essa estratégia de biocontrole, Rodrigo et al. (2019) avaliaram o emprego de diferentes parasitoides no controle do besouro *Xanthogaleruca luteola* em plantas de ulmeiro (*Ulmus minor*) localizadas em ruas de Valência, na Espanha. O manejo integrado da praga, por meio do monitoramento, permitiu definir o limiar de 20% de desfolhamento para o início do tratamento com inoculação de inimigos naturais em plantas afetadas.

O emprego de nematoides entomopatogênicos consiste no uso de vermes parasitas causadores de doenças em insetos-praga (GARRIGA et al., 2019; JULIÀ et al., 2024). Essa estratégia foi adotada com sucesso no controle da traça-da-buxinha *Cydalima perspectalis* em plantas ornamentais (VAN DER LINDEN; FATOUROS; KAMMENGA, 2022) e na inibição do besouro-europeu-da-trufa *Leiodes cinnamomeus* em associação com óleos essenciais de alho, menta e segurelha-das-montanhas (JULIÀ et al., 2024). Os óleos essenciais são compostos vegetais bioativos que apresentam ação neurotóxica e repelente em insetos, podendo ser associados a outros agentes de controle biológico para potencializar sua ação (MOSSA, 2016; JULIÀ et al., 2024).

Adicionalmente, Garriga et al. (2019) estudaram a compatibilidade de quatro espécies de insetos predadores e quatro espécies de insetos parasitoides com os nematoides entomopatogênicos *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema carpocapsae* e *S. feltiae*, a fim de avaliar o uso consorciado ou sequencial de diferentes biopesticidas. Os ensaios demonstraram que a presença dos nematoides não afetou a sobrevivência de insetos benéficos, demonstrando a compatibilidade dos diferentes agentes de biocontrole sob condições ambientais controladas.

Quadro 3 – Estratégias de controle biológico aumentativo adotadas no manejo de áreas verdes urbanas, segundo pesquisa bibliográfica realizada na base Science Direct, no período entre 2019 e 2024

Estratégias empregadas	Referências
Compatibilidade entre nematoides entomopatogênicos controladores de pragas e populações de inimigos naturais	Garriga et al. (2019)
Controle do besouro <i>Xanthogaleruca luteola</i> na planta de ulmeiro <i>Ulmus minor</i> , em parques urbanos, empregando parasitoides	Rodrigo et al. (2019)
Uso de biopesticidas no controle de doenças em pomares urbanos de maçã	Ljubojević (2021)
Nematoides entomopatogênicos para o controle da traça-da-buxinha <i>Cydalima perspectalis</i> em plantas ornamentais	Van der Linden, Fatouros e Kammenga (2022)
Nematoides entomopatogênicos associados com óleos essenciais no controle do besouro-europeu-da-trufa <i>Leiodes cinnamomeus</i>	Julià et al. (2024)

Fonte: A autoria própria, 2024.

5 CONCLUSÕES

Os estudos revisados destacam a importância e a viabilidade do controle biológico como uma estratégia eficaz para o manejo de pragas em espaços verdes urbanos. O controle biológico vem sendo adotado, principalmente, por meio da implementação de práticas de controle biológico natural, conservativo e aumentativo. No entanto, é importante destacar a necessidade de pesquisas adicionais para melhor compreender a dinâmica desses agentes em

condições de campo e seu impacto a longo prazo sobre os ecossistemas urbanos. Em última análise, o controle biológico emerge como uma abordagem promissora, reduzindo a dependência de pesticidas químicos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente e assegurando a manutenção dos serviços ecossistêmicos em áreas verdes urbanas. Esses serviços não apenas beneficiam a biodiversidade local, mas também os moradores de grandes cidades, proporcionando espaços verdes mais seguros e sustentáveis.

6 REFERÊNCIAS

- AJENG, A. A. et al. Bioformulation of biochar as a potential inoculant carrier for sustainable agriculture. **Environmental Technology and Innovation**, v. 20, p. 101168-101168, 2020.
- ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 19-31, 1999.
- ALVAREZ ICAZA, P. Corredor biológico Mesoamericano en México. **Biodiversitas**, v. 110, p. 1-5, 2013.
- ARCAS-PILZ, V. et al. Literature review on the potential of urban waste for the fertilization of urban agriculture: A closer look at the metropolitan area of Barcelona. **Science of the Total Environment**, v. 905, p. 167193, 2023.
- BALDOCK, K. C. Opportunities and threats for pollinator conservation in global towns and cities. **Current Opinion in Insect Science**, v. 38, p. 63–71, 2020.
- BASNOU, C. et al. Advancing the green infrastructure approach in the Province of Barcelona: integrating biodiversity, ecosystem functions and services into landscape planning. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 55, p. 126797, 2020.
- BOSLY, H. A. E. K. A preliminary detective survey of hymenopteran insects at Jazan Lake Dam Region, Southwest of Saudi Arabia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 4, p. 2342–2351, 2021.
- BROWN, S.; BUTMAN, D.; KURTZ, K. Steps to circularity: Impact of resource recovery and urban agriculture in Seattle and Tacoma, Washington. **Journal of Environmental Management**, v. 345, p. 118648, 2023.
- CÁCERES, N. et al. Analysis of biodiversity attributes for extensive vegetated roofs in a semiarid region of central Argentina. **Ecological Engineering**, v. 178, p. 106602, 2022.
- COCK, M. J. W. et al. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? **BioControl**, v. 55, p. 199–218, 2010.
- DE MONTIS, A. et al. Comparative ecological network analysis: An application to Italy. **Land Use Policy**, v. 81, p. 714–724, 2019.
- EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, v. 46, p. 387–400, 2001.
- FENG, J. et al. Coupling and decoupling of soil carbon and nutrient cycles across an aridity gradient in the drylands of northern China: Evidence from ecoenzymatic stoichiometry. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 33, p. 559–569, 2019.
- GARRIGA, A. et al. Compatibility of entomopathogenic nematodes with natural enemies for horticultural pest control. **Biological Control**, v. 138, p. 104050, 2019.
- HARRISON, T.; WINFREE, R. Urban drivers of plant-pollinator interactions. **Functional Ecology**, v. 2, p. 879-888, 2015.
- HERNÁNDEZ, A. C. C. et al. Effectiveness of management of the Mesoamerican Biological Corridor in Mexico. **Landscape and Urban Planning**, v. 226, p. 104504, 2022.
- HULBERT, J. M. et al. Botanical gardens provide valuable baseline *Phytophthora* diversity data. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 46, p. 126461, 2019.

- JULIÀ, I. et al. Compatibility of entomopathogenic nematodes and essential oils: A new step for integrated pest management of the truffle beetle. **Biological Control**, v. 190, p. 105462, 2024.
- KOWARIK, I. Urban biodiversity, ecosystems and the city. Insights from 50 years of the Berlin School of urban ecology. **Landscape and Urban Planning**, v. 240, p. 104877, 2023.
- LEGEIN, M. et al. Modes of action of microbial biocontrol in the phyllosphere. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 1619, 2020.
- LENGAI, G. M. W.; MUTHOMI, J. W. Biopesticides and their role in sustainable agricultural production. **Journal of Biosciences and Medicines**, v. 6, p. 7-41, 2018.
- LJUBOJEVIĆ, M. Horticulturalization of the 21st century cities. **Scientia Horticulturae**, v. 288, e110350, 2021.
- MALONE, Z.; BERHE, A. A.; RYALS, R. Impacts of organic matter amendments on urban soil carbon and soil quality: A meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 419, p. 138148, 2023.
- MICHEREFF FILHO, M. et al. **Manejo de pragas em hortaliças durante a transição agroecológica**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2013. (Circular Técnica 119).
- MOSSA, A. T. H. Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, p. 354, 2016.
- MUKHERJEE, R. K.; KUMAR, V.; ROY, K. Chemometric modeling of plant protection products (PPPs) for the prediction of acute contact toxicity against honey bees (*A. mellifera*): A 2D-QSAR approach. **Journal of Hazardous Materials**, v. 423, p. 127230, 2022.
- NAÇÕES UNIDAS. **United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)**. Nova Iorque: Nações Unidas, 2019.
- NIGHSWANDER, G. P. et al. Importance of plant diversity and structure for urban garden pest resistance. **Landscape and Urban Planning**, v. 215, p. 104211, 2021.
- PARFITT, R. et al. N and P in New Zealand soil chronosequences and relationships with foliar N and P. **Biogeochemistry**, v. 75, p. 305–328, 2005.
- PANE, C. et al. Effects of on-farm composted tomato residues on soil biological activity and yields in a tomato cropping system. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2015.
- PERSSON, A. S. et al. Wild bees and hoverflies respond differently to urbanisation, human population density and urban form. **Landscape and Urban Planning**, v. 204, p. 103901, 2020.
- PHILPOTT, S. M. et al. Landscape features, garden management, and microhabitats influence prey removal and predator composition in urban agroecosystems. **Biological Control**, v. 188, p. 105426, 2024.
- RODRIGO, E. et al. Life cycle, parasitism and damage of *Xanthogaleruca luteola* (Muller) in Valencia (SE Spain): A preliminary study. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 46, p. 126474, 2019.
- SALOMON, M. J. et al. Spatiotemporal dynamics of soil health in urban agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 805, p. 150224, 2022.
- SILVESTRI, S. et al. Valuing ecosystem services for conservation and development purposes: a case study from Kenya. **Environmental Science and Policy**, v. 31, p. 23–33, 2013.
- SMALL, G. E. et al. Simulating the fate of compost-derived nutrients in an urban garden. **Ecological Modelling**, v. 483, p. 110441, 2023.
- SOARES, G. K. A. et al. Range expansion and population dynamics of *Bactrocera carambolae* in Roraima, Brazil. **Crop Protection**, v. 165, p. 106167, 2023.
- SUN, X. et al. Variation in enzyme activities involved in carbon and nitrogen cycling in rhizosphere and bulk soil after organic mulching. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100376, 2021.

THEODOROU, P. The effects of urbanisation on ecological interactions. **Current Opinion in Insect Science**, v. 52, p. 100922, 2022.

TÓTH, Z. et al. Earthworm assemblages in urban habitats across biogeographical regions. **Applied Soil Ecology**, v. 151, p. 103530, 2020.

VAN DER LINDEN, C. F. H.; FATOUROS, N. E.; KAMMENGA, J. E. The potential of entomopathogenic nematodes to control moth pests of ornamental plantings. **Biological Control**, v. 165, p. 104815, 2022.

VAN LENTEREN, J. C. et al. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, p. 39–59, 2018.

WILSON, C. J. et al. Tree species richness around urban red maples reduces pest density but does not enhance biological control. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 88, p. 128093, 2023.

WIJESEKARA, H. et al. Carbon sequestration value of biosolids applied to soil: a global meta-analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 284, e112008, 2021.

YOUNG, C. et al. Psychological restoration in urban gardens related to garden type, biodiversity and garden-related stress. **Landscape and Urban Planning**, v. 198, p. 103777, 2020.