

A EFICIÊNCIA DA ORGANIZAÇÃO SOCIAL EM INSETOS COMPARADA À COMPLEXIDADE E ÀS FRAGILIDADES DA SOCIEDADE HUMANA

Tiago João Muana¹
Casimiro Paulo João Mezonda²
Costa Barros³
Mariona Nana Saiengue⁴

RESUMO: A organização social dos insetos eusociais, especialmente formigas e abelhas, representa um dos sistemas coletivos mais eficientes observados na natureza. Este estudo teve como objetivo analisar a eficiência da organização social em formigueiros e colmeias, comparando-a com a complexidade e as fragilidades das sociedades humanas. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, bibliográfica e comparativa, fundamentada em estudos relacionados à eusocialidade, cognição coletiva, divisão do trabalho, cooperação, auto-organização, individualismo e coletivismo. Os resultados demonstram que os insetos sociais apresentam elevados níveis de eficiência coletiva devido à comunicação descentralizada, à divisão funcional de tarefas, à cooperação intensa e à elevada capacidade adaptativa. Observou-se ainda que mecanismos como estigmergia, feedback coletivo e recrutamento químico permitem respostas rápidas e coordenadas diante de mudanças ambientais. Em contraste, as sociedades humanas, embora possuam maior complexidade cultural, tecnológica e institucional, frequentemente enfrentam fragilidades relacionadas à desigualdade social, burocracia, conflitos políticos, individualismo excessivo e dificuldades de coordenação coletiva. A análise comparativa evidencia que a eficiência social depende menos da inteligência individual isolada e mais da qualidade das interações sociais, da circulação eficiente de informações e da capacidade adaptativa coletiva. Conclui-se que os insetos sociais oferecem importantes modelos biológicos para compreender princípios relacionados à cooperação, sustentabilidade, adaptação social e organização coletiva, contribuindo para reflexões sobre os desafios contemporâneos das sociedades humanas.

Palavras-chave: Insetos sociais. Sociedade humana. Cooperação coletiva. Organização social. Inteligência coletiva. Eusocialidade.

¹ Mestre em Ecologia e Gestão de Recursos Naturais, ISCED-Huíla. Doutorando em Engenharia Química na Escola de Engenharia de Lorena na Universidade de São Paulo, Brasil. Docente no Instituto Superior de Ciências da Educação do Uíge (ISCED-Uíge).

² Mestre em Biologia Aplicada pela Universidade de Aveiro, Portugal. Doutorando em Botânica pelo Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo (IB-USP). Docente no Instituto Superior de Ciências da Educação do Uíge (ISCED-Uíge).

³ Mestre em Pedagogia pelo ISCED-Uíge. Doutorando em Ciências da Educação, especialidade em Organização do ensino, aprendizagem e formação de Professores, pela Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, Universidade de Coimbra, Portugal. Docente no Instituto Superior de Ciências da Educação do Uíge (ISCED-Uíge).

⁴ Mestre em Didáctica das ciências naturais pela Universidade José Henrique Varona, Havana Cuba. Doutoranda em Biotecnologia na Escola de Engenharia de Lorena na Universidade de São Paulo, Brasil. Docente do Instituto Superior de Ciências da Educação do Huambo, Angola.

ABSTRACT: The social organization of eusocial insects, especially ants and bees, represents one of the most efficient collective systems observed in nature. This study aimed to analyze the efficiency of social organization in ant nests and beehives, comparing it with the complexity and weaknesses of human societies. The research adopted a qualitative, bibliographic, and comparative approach, based on studies related to eusociality, collective cognition, division of labor, cooperation, self-organization, individualism, and collectivism. The results demonstrate that social insects exhibit high levels of collective efficiency due to decentralized communication, functional division of tasks, intense cooperation, and high adaptive capacity. It was also observed that mechanisms such as stigmergy, collective feedback, and chemical recruitment allow for rapid and coordinated responses to environmental changes. In contrast, human societies, although possessing greater cultural, technological, and institutional complexity, frequently face weaknesses related to social inequality, bureaucracy, political conflicts, excessive individualism, and difficulties in collective coordination. Comparative analysis shows that social efficiency depends less on isolated individual intelligence and more on the quality of social interactions, the efficient flow of information, and collective adaptive capacity. It is concluded that social insects offer important biological models for understanding principles related to cooperation, sustainability, social adaptation, and collective organization, contributing to reflections on the contemporary challenges of human societies.

Keywords: Social insects. Human Society. Collective cooperation. Social organization. Collective intelligence. Eusociality.

1. INTRODUÇÃO

A organização social constitui um dos principais fatores responsáveis pela sobrevivência, adaptação e eficiência coletiva em diferentes espécies. Entre os organismos mais bem-sucedidos do planeta destacam-se os insetos eusociais, como formigas, abelhas, cupins e vespas, que desenvolveram sistemas altamente organizados baseados em cooperação, divisão funcional do trabalho, comunicação eficiente e adaptação ambiental, permitindo a sobrevivência de colônias compostas por dezenas, milhares ou até milhões de indivíduos (Chen et al., 2020; Caine et al., 2026).

Um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso dessas sociedades é a capacidade de auto-organização descentralizada. Diferentemente das sociedades humanas, frequentemente estruturadas por sistemas hierárquicos, burocráticos e centralizados, os insetos sociais conseguem coordenar tarefas complexas sem liderança formal. A organização coletiva emerge a partir de interações locais simples entre indivíduos, associadas a mecanismos de auto-organização, stigmergia e feedback ambiental (Chen et al., 2020; Invernizzi & Ruxton, 2019). Segundo Nicolis & Dussutour (2008), formigas, abelhas e cupins conseguem tomar decisões coletivas eficientes através da amplificação de sinais químicos, comunicação descentralizada e

mecanismos de feedback social. Os autores demonstram que a eficiência das colônias depende do equilíbrio entre cooperação, variabilidade individual e restrições ambientais, permitindo respostas rápidas diante da competição por recursos alimentares.

Além da organização comportamental, os insetos sociais apresentam extraordinária capacidade de construção coletiva. De acordo com Caine et al. (2026), os ninhos funcionam como extensões do “superorganismo” social, desempenhando funções relacionadas à proteção, à termorregulação, ao armazenamento de recursos, à organização espacial e à circulação de informações. Essas estruturas são construídas por meio de pequenas ações coordenadas entre múltiplos indivíduos, sem necessidade de planejamento centralizado, reforçando a elevada capacidade adaptativa desses organismos (Invernizzi & Ruxton, 2019).

A cognição coletiva constitui outro elemento essencial para compreender a eficiência dos insetos sociais. Feinerman & Korman (2017) demonstram que colônias de insetos eusociais conseguem responder de forma coordenada a problemas complexos através da integração entre cognição individual, redes de interação social e mecanismos coletivos de comunicação. Além disso, Dornhaus et al. (2012) afirmam que o tamanho das colônias influencia diretamente: divisão do trabalho; fluxo de informações; recrutamento coletivo; eficiência de forrageamento; estabilidade organizacional.

Os autores sugerem que colônias de insetos sociais podem ser compreendidas como “superorganismos”, nos quais o tamanho da colônia exerce função equivalente ao tamanho corporal em organismos individuais. Outro aspecto importante refere-se à cooperação e ao altruísmo. Segundo Nauta et al. (2021), mecanismos de recrutamento coletivo aumentam significativamente a eficiência do forrageamento em ambientes onde os recursos são escassos ou difíceis de localizar. Além disso, Makrushin (2024) argumenta que os insetos sociais eliminaram progressivamente comportamentos excessivamente egoístas ao longo da evolução, favorecendo sistemas altamente cooperativos e estáveis.

A organização social dos insetos também apresenta elevada complexidade fisiológica e ecológica. Segundo da Silva & Costa-Leonardo (2025), estruturas reprodutivas especializadas desempenham funções fundamentais relacionadas à proteção dos ovos, à fertilização, à sobrevivência embrionária e à adaptação fisiológica. Além disso, Morais et al. (2020) demonstram que insetos mantêm complexas interações microbiológicas com vírus e outros microrganismos, influenciando adaptação ecológica e dinâmica populacional.

A compreensão da organização social em diferentes espécies também tem despertado crescente interesse científico em estudos relacionados à personalidade, comportamento coletivo e adaptação social. Segundo Mehta & Gosling (2008), a pesquisa comparativa entre humanos e animais oferece importantes contribuições para compreender mecanismos biológicos e sociais associados à personalidade, à cooperação, à adaptação e à sobrevivência coletiva.

A comparação entre sociedades humanas e sociedades de insetos sociais constitui importante campo interdisciplinar de investigação sobre: cooperação; altruísmo; cognição coletiva; individualismo; adaptação social. Segundo Crespi (2014), humanos e insetos sociais compartilham diversas convergências relacionadas: à divisão extensiva do trabalho; ao cuidado extramaternal; ao compartilhamento alimentar; à tomada coletiva de decisões; à dominância ecológica. O autor argumenta ainda que muitas dessas semelhanças resultam de processos de evolução convergente impulsionados por pressões seletivas associadas à cooperação social e ao cuidado coletivo.

Outro eixo fundamental dessa discussão refere-se às relações entre individualismo e coletivismo. Segundo Realo et al. (1997), o coletivismo constitui dimensão fundamental da organização social humana, envolvendo integração grupal, cooperação e prioridade dos interesses coletivos sobre os interesses individuais. Em contraste, Cheng et al. (2020) destacam que sociedades individualistas tendem a valorizar: autonomia; independência; autorrealização; enquanto sociedades coletivistas enfatizam: interdependência; lealdade grupal; cooperação social; estabilidade coletiva.

Essas diferenças influenciam diretamente: comunicação social; tomada de decisão; adaptação ambiental; relações interpessoais; estabilidade coletiva. Além disso, estudos em biodemografia comparativa demonstram que vínculos sociais, hierarquias e relações cooperativas influenciam diretamente a saúde, sobrevivência e longevidade em diferentes espécies (Weinstein & Lane, 2014).

Em contraste com os insetos sociais, a sociedade humana caracteriza-se por elevada complexidade cultural, tecnológica, econômica e política. Apesar dos avanços científicos e institucionais alcançados pela humanidade, as sociedades humanas frequentemente apresentam fragilidades relacionadas à desigualdade social, aos conflitos políticos, à burocracia, à fragmentação institucional, ao individualismo excessivo e às dificuldades de coordenação coletiva. Assim, comparar a eficiência organizacional dos insetos sociais com a sociedade

humana permite compreender diferentes formas de: cooperação; adaptação coletiva; divisão funcional do trabalho; inteligência coletiva; sustentabilidade organizacional.

Dessa forma, o presente estudo busca analisar a eficiência da organização social em insetos sociais, especialmente formigueiros e colmeias, comparando-a com a complexidade e as fragilidades da sociedade humana. Pretende-se compreender como mecanismos de cooperação, comunicação, auto-organização, cognição coletiva e especialização funcional contribuem para o sucesso ecológico dos insetos sociais e quais reflexões essas estruturas oferecem para a compreensão da organização humana contemporânea.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compreensão da organização social em insetos e sociedades humanas exige abordagem interdisciplinar capaz de integrar conceitos relacionados à eusocialidade, cooperação, cognição coletiva, comunicação social, personalidade, auto-organização e adaptação evolutiva. Diversos estudos demonstram que sistemas coletivos eficientes dependem não apenas das capacidades individuais dos organismos, mas principalmente da qualidade das interações estabelecidas entre os membros do grupo. O conceito de eusocialidade refere-se a sistemas sociais caracterizados por: cooperação coletiva; cuidado aloparental; divisão reprodutiva do trabalho; sobreposição de gerações.

Segundo Crespi (2014), humanos e insetos sociais compartilham diversas características relacionadas ao cuidado extramaternal e à reprodução cooperativa. O autor define cuidado extramaternal como o cuidado, alimentação ou defesa da prole realizado por indivíduos que não sejam a mãe biológica. Esse comportamento encontra-se amplamente distribuído tanto em sociedades humanas quanto em colônias de insetos sociais. Além disso, Crespi (2014) destaca que indivíduos em grupos sociais tendem a especializar-se em funções relacionadas: à defesa; à reprodução; à coleta de alimento; ao cuidado da prole.

Segundo o autor, a sobrevivência coletiva depende da cooperação social, da redução de conflitos internos e da limitação de comportamentos excessivamente egoístas. Humanos e insetos sociais compartilham ainda um nicho socioecológico baseado em: cooperação; comunicação coletiva; divisão funcional do trabalho; compartilhamento alimentar; dominância ecológica. Outro eixo fundamental da organização coletiva refere-se às relações entre individualismo e coletivismo. Segundo Realo et al. (1997), o coletivismo constitui um sistema

de valores fundamentado: na integração social; na cooperação; na prioridade dada aos interesses coletivos.

Os autores afirmam que indivíduos coletivistas tendem a perceber-se como membros de grupos sociais, como famílias, comunidades e instituições. Além disso, o coletivismo envolve: valorização das relações interpessoais; obediência às normas sociais; cooperação grupal; disposição para sacrificar interesses individuais em benefício coletivo. Realo et al. (1997) identificam ainda três formas principais de coletivismo: familismo; coletivismo relacionado aos pares; coletivismo societal.

O familismo refere-se às relações próximas da família nuclear; o coletivismo relacionado aos pares envolve amizades e relações comunitárias; enquanto o coletivismo societal relaciona-se à identificação do indivíduo com instituições e sociedade em geral. Os autores destacam ainda que indivíduos mais amáveis e menos abertos à experiência tendem a internalizar com maior intensidade valores coletivistas.

Complementando essa discussão, Cheng et al., (2020) definem o individualismo como orientação social baseada: na autonomia; na independência; na realização pessoal. Em contraste, o coletivismo enfatiza: interdependência; lealdade grupal; cooperação; harmonia social. Segundo os autores, sociedades individualistas tendem a valorizar: liberdade individual; criatividade; autoconfiança; independência emocional.

Já sociedades coletivistas priorizam: cooperação; respeito às hierarquias; estabilidade social; sacrifício individual em benefício do grupo. A literatura diferencia ainda: coletivismo horizontal, baseado na igualdade entre os membros; coletivismo vertical, que aceita hierarquias e diferenças de situação dentro da coletividade. Essas estruturas influenciam diretamente: saúde mental; relações interpessoais; educação; organização econômica; adaptação social.

Outro campo importante refere-se à biodemografia comparativa. Weinstein & Lane (2014) demonstram que relações sociais, hierarquias e vínculos cooperativos influenciam diretamente: saúde; sobrevivência; longevidade; estabilidade fisiológica. Segundo os autores, indivíduos com vínculos sociais mais fortes apresentam menores níveis de vulnerabilidade biológica e maiores taxas de sobrevivência. Além disso, a posição ocupada pelos indivíduos dentro das hierarquias sociais influencia o acesso a recursos, proteção e estabilidade social.

Nos insetos sociais, grande parte da eficiência coletiva depende de mecanismos de auto-organização e comunicação descentralizada. Nicolis & Dussutour (2008) demonstram que os

mecanismos de recrutamento alimentar em formigas baseiam-se principalmente em sinais químicos mediados por feromônios. Quando uma formiga encontra alimento, deposita feromônios no percurso de retorno ao ninho, estimulando outras formigas a seguirem a mesma trilha.

Esse mecanismo cria ciclos de feedback positivo capazes de amplificar rapidamente determinadas decisões coletivas. Segundo os autores, decisões complexas podem emergir a partir de interações locais simples entre indivíduos, sem necessidade de liderança centralizada. Além disso, modelos matemáticos e simulações de Monte Carlo demonstram que variabilidade individual e aleatoriedade podem aumentar significativamente a eficiência coletiva das colônias.

A eficiência organizacional também está relacionada ao forrageamento coletivo. Segundo Nauta et al. (2021), grupos coletivos conseguem paralelizar a busca por recursos através das interações entre indivíduos. Os autores diferenciam sistemas grupais baseados em benefícios individuais de sistemas coletivos verdadeiramente altruístas.

Nesse contexto, o recrutamento ativo representa comportamento altruísta, pois o indivíduo que encontra o recurso interrompe temporariamente seu próprio consumo para recrutar outros membros da colônia. Além disso, estratégias de busca baseadas em caminhadas de Lévy aumentam a eficiência da exploração em ambientes com recursos dispersos ou efêmeros.

A cognição coletiva constitui outro elemento essencial para compreender a eficiência dos insetos sociais. Feinerman & Korman (2017), explicam que colônias de insetos eusociais apresentam respostas coordenadas que frequentemente ultrapassam as capacidades aparentes dos indivíduos isolados. Segundo os autores, essa cognição coletiva emerge da combinação entre: cognição individual; conectividade social; redes de comunicação; mecanismos de feedback coletivo.

Embora os cérebros dos insetos sejam relativamente pequenos, muitas espécies apresentam: aprendizagem complexa; navegação sofisticada; comunicação química eficiente; elevada capacidade adaptativa. Além disso, os insetos utilizam múltiplas formas de comunicação, incluindo sinais químicos, táteis, vibracionais e visuais. Os feromônios desempenham papel central na coordenação coletiva, permitindo compartilhamento de informações relacionadas: ao alimento; ao perigo; à organização espacial da colônia.

Outro mecanismo importante refere-se à estigmergia, processo no qual indivíduos modificam o ambiente e outros membros respondem posteriormente a essas modificações. Trilhas químicas e construção coletiva de ninhos constituem exemplos clássicos desse tipo de comunicação indireta. Feinerman & Korman (2017) demonstram ainda que mecanismos de amplificação coletiva permitem rápida propagação de informações, aumentando vigilância e eficiência adaptativa da colônia.

O tamanho da colônia também influencia diretamente os padrões organizacionais. Segundo Dornhaus et al. (2012), colônias maiores tendem a apresentar: maior especialização funcional; sistemas de comunicação mais complexos; recrutamento mais eficiente; divisão do trabalho mais refinada.

Os autores afirmam que colônias de insetos sociais podem ser compreendidas como “superorganismos”, nos quais o tamanho da colônia exerce função equivalente ao tamanho corporal em organismos individuais. Além disso, a sociogênese refere-se às mudanças estruturais observadas ao longo do crescimento ontogenético da colônia, incluindo surgimento de castas especializadas e reorganização funcional das tarefas.

Além da organização comportamental, os insetos sociais apresentam extraordinária capacidade de construção coletiva. Segundo Invernizzi & Ruxton (2019), ninhos de insetos eusociais são compostos por múltiplas subestruturas integradas funcionalmente, incluindo: túneis; câmaras; sistemas de ventilação; módulos estruturais especializados.

Os autores demonstram que essas estruturas emergem a partir de mecanismos de: auto-organização; automontagem; estigmergia; feedback positivo e negativo. A construção coletiva não depende de planejamento centralizado, mas da interação contínua entre indivíduos e ambiente. Além disso, formigas e cupins ajustam continuamente suas estruturas em resposta: à temperatura; à umidade; à circulação do ar; ao tamanho populacional da colônia.

Outro aspecto relevante refere-se à evolução da cooperação social. Segundo Makrushin (2024), os insetos sociais passaram por processos evolutivos nos quais comportamentos excessivamente individualistas foram gradualmente eliminados pela seleção natural. O autor diferencia indivíduos “egoístas”, que utilizam benefícios sociais sem contribuir adequadamente para a coletividade, de indivíduos “altruístas”, que priorizam o bem-estar do grupo.

Makrushin (2024) estabelece ainda analogia entre sociedades e organismos biológicos, sugerindo que comportamentos egoístas funcionariam como células degenerativas capazes de

comprometer a estabilidade social. Segundo o autor, sociedades também passam por processos de envelhecimento e degradação estrutural, reduzindo a adaptabilidade coletiva e aumentando os riscos de colapso social.

Além dos aspectos sociais e comportamentais, os insetos apresentam elevada complexidade fisiológica e microbiológica. Segundo da Silva e Costa-Leonardo (2025), glândulas acessórias femininas desempenham funções fundamentais relacionadas: à proteção dos ovos; à lubrificação; à fertilização; à produção de substâncias antibióticas; à tolerância ao calor e à dessecação.

Os autores destacam ainda a elevada diversidade química das secreções glandulares, refletindo diferentes estratégias adaptativas desenvolvidas pelos insetos ao longo da evolução.

Morais et al. (2020) demonstram que muitos insetos mantêm complexas relações ecológicas com microrganismos e vírus específicos. Esses vírus podem ser transmitidos verticalmente entre gerações e influenciar diretamente a aptidão biológica dos hospedeiros. Assim, a organização coletiva dos insetos depende não apenas do comportamento social, mas também de complexas interações microbiológicas e ecológicas.

A literatura sobre personalidade animal também contribui para compreender diferenças individuais em sistemas coletivos. Segundo Mehta & Gosling (2008), animais apresentam padrões relativamente consistentes de: sociabilidade; agressividade; dominância; exploração; estabilidade emocional.

Os autores demonstram que essas características podem influenciar diretamente a adaptação, sobrevivência e organização coletiva. Além disso, sistemas sociais eficientes dependem não apenas das capacidades individuais, mas principalmente da qualidade das interações estabelecidas entre os membros do grupo.

Por fim, Chen et al. (2020), demonstram que a eficiência ecológica dos insetos sociais está diretamente relacionada à capacidade de alocar dinamicamente sua força de trabalho em resposta às mudanças ambientais. Em ambientes mais difíceis, observa-se maior especialização funcional, enquanto ambientes mais favoráveis tendem a estimular divisão do trabalho mais flexível.

Dessa forma, a literatura evidencia que a eficiência das sociedades de insetos resulta da integração entre: cooperação coletiva; cognição social; comunicação descentralizada; divisão

funcional do trabalho; adaptação evolutiva; construção coletiva; auto-organização; flexibilidade ecológica.

Esses elementos tornam os insetos sociais importantes modelos para compreender inteligência coletiva, adaptação social e eficiência organizacional, permitindo reflexões relevantes sobre as potencialidades e fragilidades das sociedades humanas contemporâneas.

2.1. Sociedades de insetos sociais

As sociedades de insetos sociais representam alguns dos sistemas organizacionais mais eficientes encontrados na natureza. Formigas, abelhas, cupins e vespas desenvolveram colônias altamente estruturadas, caracterizadas por divisão funcional do trabalho, cooperação intensa, comunicação eficiente e elevada capacidade adaptativa. Nessas sociedades, diferentes indivíduos desempenham funções específicas relacionadas: à defesa; à coleta de alimento; à reprodução; à construção; à manutenção da colônia.

Segundo Crespi (2014), as colônias de insetos apresentam: divisões extensivas do trabalho; cooperação alimentar; sistemas de defesa coletiva; tomada de decisão cooperativa.

Os grupos sociais são compostos predominantemente por indivíduos geneticamente aparentados, organizados em estruturas relativamente estáveis. Além disso, um pequeno subconjunto especializa-se intensamente na reprodução, como ocorre com as rainhas, que apresentam elevada fertilidade e adaptações fisiológicas específicas para rápida produção de descendentes.

Outro aspecto relevante refere-se ao compartilhamento de alimentos dentro da colônia, formando aquilo que Crespi (2014) denomina “estômago social”, no qual os recursos energéticos tornam-se coletivos. Essa cooperação alimentar aumenta significativamente a sobrevivência grupal e contribui para a dominância ecológica alcançada pelos insetos sociais.

As sociedades de insetos também se aproximam fortemente dos princípios do coletivismo descritos por Realo et al. (1997), nos quais os interesses coletivos predominam sobre os interesses individuais. Cada indivíduo atua como parte integrada de um sistema maior, contribuindo para a estabilidade e funcionamento da colônia.

Além disso, os insetos sociais apresentam baixos níveis de conflito interno, elevada coesão social e comunicação altamente eficiente. As relações estabelecidas entre os membros

das colônias podem ser compreendidas a partir da lógica dos “círculos sociais concêntricos”, envolvendo relações próximas, intermediárias e amplas dentro da estrutura coletiva.

A cooperação constitui elemento central para a sobrevivência desses organismos. Segundo Weinstein & Lane (2014), vínculos sociais e cooperação exercem forte influência sobre sobrevivência, saúde e longevidade em espécies sociais. Nas sociedades de insetos, os interesses individuais praticamente inexistem diante da prioridade absoluta atribuída à manutenção coletiva da colônia.

Outro aspecto fundamental refere-se à capacidade adaptativa dessas sociedades. As colônias reorganizam continuamente suas estratégias em resposta às mudanças ambientais, disponibilidade de recursos e ameaças ecológicas. Dornhaus et al. (2012) demonstram que colônias maiores apresentam: maior eficiência de forrageamento; sistemas de comunicação mais sofisticados; maior troca de informações; divisão do trabalho mais refinada.

Os autores afirmam ainda que colônias maiores podem desenvolver castas morfológicas especializadas, incluindo: soldados; operárias de diferentes tamanhos; indivíduos reprodutivos altamente diferenciados.

Além disso, mecanismos de recrutamento químico tornam-se mais complexos conforme aumenta o tamanho populacional da colônia. Trilhas de feromônios, recrutamento em massa e comunicação química permitem coordenação rápida entre milhares de indivíduos.

A exploração alimentar constitui outro exemplo da elevada eficiência organizacional dos insetos sociais. Segundo Nicolis & Dussutour (2008), colônias de formigas conseguem selecionar fontes alimentares mais vantajosas através da amplificação coletiva das trilhas de feromônios. Inicialmente, múltiplas fontes podem ser exploradas simultaneamente; entretanto, mecanismos de reforço químico coletivo levam a colônia a concentrar esforços nas fontes mais eficientes.

Além disso, quando uma fonte alimentar desaparece, as formigas conseguem reorganizar rapidamente suas estratégias de exploração, demonstrando elevada plasticidade comportamental. Os autores mostram ainda que níveis adequados de aleatoriedade e cooperação aumentam significativamente a eficiência do recrutamento coletivo.

Nauta et al. (2021) destacam que sistemas altruístas de recrutamento ativo foram observados principalmente em formigas e abelhas. Nessas sociedades, indivíduos que localizam recursos recrutam outros membros da colônia, aumentando a eficiência coletiva da exploração.

Segundo os autores, o recrutamento torna-se especialmente vantajoso quando os recursos são raros e persistentes.

Outro aspecto importante refere-se à comunicação local. Muitos sistemas coletivos operam por meio de interações locais rápidas, reduzindo custos de comunicação e aumentando a velocidade das respostas coletivas. Isso permite que os insetos sociais formem agregações temporárias altamente eficientes diante de ambientes dinâmicos e imprevisíveis.

A comunicação coletiva também desempenha papel central na cognição social desses organismos. Segundo Feinerman & Korman (2017), os insetos utilizam sinais: químicos, táteis, visuais, vibracionais para compartilhar informações relacionadas: ao alimento, ao perigo, à organização espacial da colônia. A estigmergia constitui um mecanismo essencial nesse processo, pois indivíduos respondem continuamente às modificações realizadas no ambiente por outros membros da colônia. Além disso, mecanismos de amplificação coletiva permitem rápida propagação de informações, aumentando a vigilância e eficiência adaptativa da colônia.

As colônias de insetos sociais conseguem ainda desenvolver formas sofisticadas de auto-organização. Segundo Dornhaus et al. (2012), esses organismos constituem exemplos clássicos de sistemas auto-organizados, nos quais o comportamento coletivo emerge a partir de interações locais simples entre milhares ou milhões de indivíduos.

A construção coletiva dos ninhos representa um dos exemplos mais impressionantes dessa capacidade organizacional. Segundo Invernizzi & Ruxton (2019), formigueiros e termiteiros apresentam: túneis; câmaras; sistemas de ventilação; módulos estruturais especializados.

Essas estruturas não dependem de planejamento centralizado, mas emergem da interação contínua entre indivíduos e ambiente por meio de mecanismos de: auto-organização; automontagem; estigmergia; feedback coletivo. Os autores demonstram que formigas e cupins ajustam continuamente suas construções em resposta: à temperatura; à umidade; à circulação do ar; ao crescimento populacional da colônia.

Caine et al. (2026) reforçam que os ninhos funcionam como extensões do “superorganismo” social, oferecendo: abrigo; armazenamento alimentar; proteção contra predadores; ambientes adequados para desenvolvimento da prole.

A arquitetura dos ninhos varia conforme características ecológicas e materiais disponíveis no ambiente. Cupins utilizam solo, lama e secreções para construir estruturas

termicamente eficientes, enquanto abelhas produzem favos hexagonais capazes de maximizar espaço e reduzir gasto energético.

Além da organização social e arquitetônica, os insetos apresentam elevada complexidade fisiológica. Segundo da Silva & Costa-Leonardo (2025), glândulas acessórias femininas desempenham funções essenciais relacionadas: à proteção dos ovos; à fertilização; à produção de substâncias adesivas; à tolerância à dessecação; à atividade antibiótica.

As secreções produzidas por essas estruturas ajudam a reduzir contaminações microbiológicas e aumentam a sobrevivência embrionária, demonstrando elevado grau de adaptação evolutiva.

Os insetos sociais também mantêm complexas relações microbiológicas e ecológicas. Morais et al. (2020) identificaram flavivírus e densovírus transmitidos verticalmente em mosquitos coletados em Angola, evidenciando mecanismos eficientes de continuidade biológica entre gerações.

Além disso, os autores destacam que esses microrganismos podem integrar naturalmente a microbiota dos insetos, influenciando a adaptação ecológica e a aptidão biológica dos hospedeiros.

Do ponto de vista evolutivo, Makrushin (2024), argumenta que os insetos sociais eliminaram progressivamente muitos comportamentos individualistas herdados de ancestrais solitários. Segundo o autor, colônias menos cooperativas foram eliminadas pela seleção natural coletiva, favorecendo sistemas altamente integrados e altruístas.

Makrushin (2024) afirma ainda que não existem “egoístas” em comunidades altamente eussociais pois a sobrevivência coletiva depende da predominância dos interesses grupais sobre os interesses individuais.

Outro elemento importante refere-se à personalidade e comportamento animal. Segundo Mehta & Gosling (2008), animais apresentam padrões relativamente consistentes de: sociabilidade; agressividade; dominância; cooperação; exploração ambiental.

Os autores demonstram que observadores independentes frequentemente concordam em suas avaliações sobre comportamento animal, indicando que esses traços apresentam estabilidade ao longo do tempo e influenciam diretamente adaptação, saúde e sobrevivência.

A divisão do trabalho nos insetos sociais também apresenta elevada flexibilidade adaptativa. Chen et al. (2020) demonstram que operárias selecionam tarefas por meio de:

interações locais; experiências individuais; aprendizagem social. Os autores mostram ainda que: ambientes difíceis favorecem maior especialização funcional; ambientes mais favoráveis estimulam maior flexibilidade nas tarefas; colônias fracamente especializadas podem alcançar desempenho próximo ao ideal devido à maior capacidade adaptativa.

Dessa forma, as sociedades animais, especialmente os insetos eusociais, demonstram elevados níveis de: cooperação coletiva; cognição social; comunicação descentralizada; adaptação ecológica; construção coletiva; flexibilidade funcional; estabilidade organizacional. Essas características tornam formigueiros e colmeias alguns dos sistemas coletivos mais eficientes conhecidos na natureza.

2.2. Sociedade humana

As sociedades humanas caracterizam-se por elevados níveis de complexidade cultural, tecnológica, econômica e institucional. Diferentemente das sociedades de insetos sociais, os seres humanos organizam suas relações sociais não apenas com base em mecanismos biológicos, mas também por meio de: cultura; linguagem simbólica; sistemas políticos; instituições; crenças; interesses econômicos; estruturas jurídicas.

Segundo Crespi (2014), muitos sistemas organizacionais humanos apresentam convergências importantes com as sociedades de insetos sociais. Os humanos desenvolveram mecanismos de: cuidado aloparental; compartilhamento alimentar; cooperação grupal; especialização de tarefas; tomada coletiva de decisões. Além disso, os seres humanos organizam-se em estruturas hierárquicas aninhadas compostas por: famílias; linhagens; grupos locais; instituições; sociedades amplas.

Outro aspecto importante refere-se ao cuidado extramaternal. Crespi (2014) destaca que avós, parceiros e outros membros do grupo desempenharam papel fundamental na evolução da reprodução cooperativa humana. Entretanto, diferentemente dos insetos sociais, os humanos não desenvolveram castas reprodutivas permanentes, pois todas as mulheres mantêm potencial reprodutivo ao longo da vida fértil.

A coexistência entre individualismo e coletivismo constitui uma das principais características das sociedades humanas. Segundo Realo et al. (1997), essas duas orientações variam conforme o contexto cultural e social. Os autores afirmam que indivíduos individualistas tendem a valorizar: autonomia pessoal; independência; realização individual.

Por outro lado, indivíduos coletivistas priorizam: vínculos sociais; obrigações grupais; cooperação; integração social. Além disso, diferentes grupos sociais apresentam padrões distintos de coletivismo relacionados ao gênero, à idade, ao contexto social, ao tipo de vínculo coletivo analisado. Complementando essa discussão, Cheng et al. (2020) afirmam que culturas individualistas enfatizam: independência; autorrealização; liberdade pessoal; competição.

Já as culturas coletivistas valorizam: lealdade grupal; relações familiares; cooperação; estabilidade social. Os autores demonstram ainda que essas diferenças influenciam diretamente: saúde mental; relações interpessoais; comunicação; educação; economia; adaptação social.

Sociedades coletivistas tendem a apresentar maior suporte social e menores níveis de isolamento, enquanto sociedades individualistas frequentemente favorecem criatividade, inovação e mobilidade social. Entretanto, o individualismo excessivo pode produzir: fragmentação social; competitividade extrema; isolamento emocional; redução da cooperação coletiva. A sociedade humana também depende fortemente de: cognição coletiva; comunicação; tomada de decisão em grupo; circulação de informações.

Contudo, diferentemente dos insetos sociais, os humanos utilizam sistemas simbólicos, políticos e tecnológicos muito mais complexos. Segundo Feinerman & Korman (2017), essa complexidade amplia a capacidade de inovação, mas também produz fragilidades associadas: a conflitos de interesse; à desinformação; à burocracia; à dificuldade de consenso coletivo. Além disso, os seres humanos desenvolveram sistemas administrativos, econômicos e urbanos extremamente sofisticados, capazes de transformar intensamente o ambiente natural. Entretanto, a organização humana frequentemente depende de estruturas centralizadas de comando e burocracia institucional, o que pode reduzir a capacidade adaptativa diante de crises ambientais, econômicas e sociais.

Outro aspecto relevante refere-se à especialização funcional. Assim como em colônias de insetos, diferentes indivíduos desempenham funções específicas. Contudo, enquanto nos insetos sociais a divisão do trabalho tende a beneficiar diretamente a sobrevivência coletiva, nas sociedades humanas ela frequentemente associa-se: à competição econômica; à desigualdade social; à fragmentação institucional. A biodemografia comparativa também demonstra que as estruturas sociais humanas exercem forte influência sobre: saúde; qualidade de vida; longevidade; adaptação social.

Segundo Weinstein & Lane (2014), indivíduos inseridos em contextos sociais mais favoráveis apresentam melhores condições de saúde e menores níveis de mortalidade. Em contrapartida, fatores como: estresse social; isolamento; desigualdade; hierarquia social pode aumentar significativamente vulnerabilidades biológicas e psicológicas. Além disso, as sociedades humanas apresentam fragilidades relacionadas: à desigualdade econômica; aos conflitos políticos; à exclusão social; à pobreza; à instabilidade institucional.

Enquanto insetos sociais operam predominantemente sob lógica coletiva, os humanos frequentemente enfrentam tensões constantes entre interesses individuais e necessidades coletivas. Outro elemento importante refere-se à gestão de recursos. Nas sociedades humanas, a distribuição de recursos é frequentemente influenciada por: burocracia; competição econômica; concentração de poder; disputas políticas. Isso reduz a eficiência coletiva observada em muitas situações sociais. Além disso, sistemas globais de informação podem tornar-se vulneráveis: à desinformação; à polarização política; aos conflitos ideológicos.

A organização reprodutiva humana também apresenta elevada complexidade. Diferentemente dos insetos sociais, nos quais os mecanismos reprodutivos estão diretamente integrados à sobrevivência coletiva da colônia, os humanos organizam a reprodução dentro de contextos: culturais, econômicos, tecnológicos, institucionais. Questões relacionadas à saúde pública, ao planejamento familiar, à desigualdade social, ao acesso a cuidados médicos influenciam diretamente a estabilidade social e o desenvolvimento humano.

Segundo Makrushin (2024), outro fator responsável pela fragilidade das sociedades humanas refere-se à permanência de fortes instintos individualistas herdados de ancestrais solitários. O autor argumenta que o egoísmo reduz significativamente a coesão social humana, pois muitos indivíduos priorizam interesses pessoais em detrimento do bem-estar coletivo. Makrushin (2024) afirma ainda que sistemas excessivamente individualistas tornam-se menos adaptáveis e mais vulneráveis ao colapso, fenômeno observado em crises políticas, desigualdades econômicas, conflitos sociais, enfraquecimento da solidariedade coletiva.

Além disso, tentativas históricas de construção de sociedades fortemente coletivistas demonstraram que mudanças institucionais isoladas não são suficientes para eliminar instintos individualistas profundamente enraizados. A organização espacial também constitui elemento central das sociedades humanas. Os seres humanos constroem: cidades; sistemas de transporte; instituições; redes urbanas; espaços habitacionais complexos.

Entretanto, diferentemente dos insetos sociais, essas estruturas dependem fortemente de planejamento técnico, decisões políticas e interesses econômicos. Segundo Caine et al. (2026), os ninhos de insetos sociais influenciam diretamente: circulação de informações; encontros sociais; divisão do trabalho; organização coletiva.

Em contraste, muitos espaços urbanos humanos apresentam: segregação espacial; desigualdade de acesso aos recursos; fragmentação territorial; degradação ambiental. Além disso, embora a divisão do trabalho humano tenha ampliado a produtividade econômica e o desenvolvimento tecnológico, ela também aumentou a dependência entre setores sociais e institucionais. Sistemas excessivamente especializados podem tornar-se menos flexíveis diante de crises econômicas, crises ambientais, instabilidades sociais.

Segundo Chen et al. (2020), insetos sociais conseguem distribuir tarefas e responder rapidamente às mudanças ambientais por meio de interações locais simples, sem necessidade de coordenação centralizada. Em contraste, a dependência humana de estruturas hierárquicas e burocráticas frequentemente reduz a velocidade e eficiência adaptativa.

Outro aspecto importante refere-se à personalidade e comportamento humano. Mehta & Gosling (2008) demonstram que traços como sociabilidade, conscienciosidade, estabilidade emocional tendem a favorecer melhores condições de saúde e adaptação social, enquanto ansiedade, hostilidade e neuroticismo podem aumentar vulnerabilidades físicas e psicológicas. Apesar das fragilidades observadas, as sociedades humanas apresentam capacidades únicas relacionadas à criatividade, à inovação tecnológica, à consciência crítica, à transformação cultural, ao desenvolvimento científico.

Assim, a comparação com os insetos sociais não busca reduzir a complexidade humana à lógica biológica dos insetos, mas compreender como princípios relacionados à cooperação, à comunicação eficiente, à adaptação coletiva, à construção social, à flexibilidade organizacional podem oferecer importantes reflexões para os desafios contemporâneos da humanidade.

2.3. Comparação das sociedades

A comparação entre sociedades humanas e sociedades de insetos sociais revela importantes convergências relacionadas à cooperação, comunicação e divisão funcional do trabalho, mas também evidencia profundas diferenças nos mecanismos de organização coletiva, adaptação social e coordenação dos grupos.

Segundo Crespi (2014), humanos e insetos sociais compartilham características fundamentais como: cooperação coletiva; cuidado extramaternal; divisão de tarefas; compartilhamento alimentar; tomada coletiva de decisões; dominância ecológica. Além disso, ambos os sistemas organizam funções de acordo com: idade; sexo; condição física; habilidades individuais. Tanto sociedades humanas quanto sociedades de insetos dependem fortemente da comunicação coletiva e da circulação de informações para garantir sobrevivência grupal e adaptação ambiental. Entretanto, existem diferenças estruturais fundamentais entre esses sistemas sociais.

Nas sociedades de insetos sociais, ocorre divisão reprodutiva rígida entre: rainhas; operárias; soldados; indivíduos reprodutivos especializados. Já nas sociedades humanas, todas as mulheres mantêm capacidade reprodutiva durante a vida fértil, inexistindo castas reprodutivas permanentes. Além disso, os seres humanos apresentam: elevada inteligência individual; linguagem simbólica complexa; cultura acumulativa; instituições políticas; sistemas econômicos sofisticados; conflitos ideológicos.

Enquanto os insetos sociais operam mediante sistemas altamente integrados e biologicamente programados, os humanos dependem de estruturas culturais, políticas e institucionais muito mais variáveis e complexas. Nas sociedades de insetos sociais, a sobrevivência coletiva depende quase exclusivamente da cooperação e da divisão eficiente de tarefas. O comportamento individual encontra-se fortemente subordinado às necessidades da colônia, favorecendo: elevada coesão social; baixa competição interna; estabilidade funcional; respostas rápidas diante de ameaças ambientais.

Em contraste, as sociedades humanas coexistem entre tendências individualistas e coletivistas. Segundo Realo et al. (1997), o coletivismo humano manifesta-se através das relações familiares, dos vínculos entre pares e da identificação com a sociedade. Já Cheng et al. (2020), afirmam que culturas individualistas tendem a valorizar: independência; liberdade pessoal; competição; autorrealização.

Enquanto sociedades coletivistas enfatizam: cooperação; lealdade grupal; harmonia social; compartilhamento de recursos. Essa diferença produz consequências importantes para os sistemas sociais. Nas sociedades humanas modernas, o individualismo excessivo pode gerar: fragmentação social; competitividade extrema; desigualdade econômica; enfraquecimento da solidariedade coletiva.

Outra diferença fundamental refere-se aos mecanismos de coordenação coletiva. Segundo Nicolis & Dussutour (2008), os insetos sociais conseguem tomar decisões coletivas eficientes por meio de interações locais simples; amplificação de sinais químicos; mecanismos de feedback positivo; comunicação descentralizada.

Quando uma formiga encontra alimento ou detecta perigo, sua informação pode ser rapidamente amplificada pela colônia por meio de trilhas químicas e recrutamento coletivo. Em consequência, a informação individual transforma-se rapidamente em ação coletiva coordenada. Nas sociedades humanas, embora a circulação de informações seja tecnologicamente muito mais avançada, ela frequentemente sofre interferência de: burocracia; polarização política; conflitos institucionais; desinformação; interesses econômicos.

Segundo Feinerman & Korman (2017), enquanto insetos sociais transformam informação em respostas funcionais rápidas, as sociedades humanas frequentemente enfrentam “ruídos sociais” que dificultam decisões coletivas eficientes. A gestão de recursos também apresenta diferenças importantes. Nas colônias de insetos, a exploração alimentar tende a ser otimizada coletivamente através da cooperação e da comunicação descentralizada. Já nas sociedades humanas, a competição econômica frequentemente produz: desperdício; desigualdade; concentração de recursos; conflitos distributivos.

Além disso, os insetos sociais demonstram elevada capacidade adaptativa diante de mudanças ambientais rápidas. Quando uma fonte alimentar desaparece, as colônias reorganizam rapidamente suas estratégias coletivas. Nas sociedades humanas, por outro lado, crises sociais, econômicas e ambientais frequentemente enfrentam: resistência institucional; lentidão burocrática; disputas políticas; dificuldades de coordenação global.

Outro contraste importante refere-se às hierarquias sociais. Segundo Weinstein & Lane (2014), conexões sociais e sistemas cooperativos influenciam diretamente a sobrevivência e a saúde coletiva. Nos insetos sociais, as hierarquias são biologicamente organizadas para garantir o funcionamento eficiente da colônia. Já nas sociedades humanas, as hierarquias frequentemente associam-se: à concentração de poder; à exclusão social; à desigualdade econômica; à competição política.

A reprodução também diferencia profundamente os dois sistemas sociais. Nos insetos sociais, estruturas fisiológicas especializadas garantem elevada eficiência reprodutiva e proteção coletiva da prole. Já nas sociedades humanas, a reprodução depende não apenas de fatores

biológicos, mas também de: condições econômicas; fatores culturais; instituições sociais; sistemas de saúde; planejamento familiar.

Além disso, os insetos sociais demonstram forte predominância de comportamentos altruístas. Segundo Makrushin (2024), a seleção natural favoreceu grupos altamente cooperativos, eliminando progressivamente comportamentos excessivamente individualistas. Em contraste, as sociedades humanas ainda apresentam forte presença de: egoísmo; competição; conflitos internos; interesses divergentes.

Makrushin (2024) argumenta que os seres humanos continuam influenciados por instintos herdados de ancestrais solitários, reduzindo a adaptabilidade coletiva das sociedades humanas.

Outra diferença importante refere-se ao modelo organizacional. Segundo Dornhaus et al. (2012), colônias maiores de insetos sociais frequentemente desenvolvem: formas mais eficientes de comunicação; recrutamento coletivo mais eficiente; maior fluxo de informações; divisão do trabalho mais refinada.

Nos insetos sociais, a organização emerge de: regras locais simples; interações descentralizadas; mecanismos de auto-organização. Já nas sociedades humanas, a coordenação coletiva depende fortemente de: governos; leis; instituições; estruturas burocráticas; sistemas hierárquicos formais.

Segundo Invernizzi & Ruxton (2019), insetos sociais conseguem produzir estruturas altamente complexas por meio de auto-organização; estigmergia; feedback coletivo; comunicação indireta baseada na modificação do ambiente.

Em contraste, sociedades humanas frequentemente enfrentam: rigidez administrativa; lentidão institucional; fragmentação espacial; segregação urbana; conflitos econômicos.

Além disso, enquanto colônias de insetos mantêm equilíbrio entre especialização e flexibilidade adaptativa, sociedades humanas excessivamente especializadas podem tornar-se vulneráveis diante de crises ambientais, instabilidades econômicas, colapsos institucionais e mudanças globais rápidas.

Chen et al. (2020) demonstram que colônias fracamente especializadas podem alcançar desempenho coletivo próximo ao ideal devido à maior flexibilidade adaptativa. Essa conclusão permite estabelecer importante analogia com sociedades humanas excessivamente burocráticas e rígidas.

Outro aspecto importante refere-se à construção do espaço social. Segundo Caine et al. (2026), os ninhos de insetos sociais influenciam diretamente: divisão do trabalho; encontros sociais; circulação de informações; organização coletiva. Nas sociedades humanas, entretanto, muitos espaços urbanos apresentam: segregação espacial; desigualdade de acesso aos recursos; fragmentação territorial; degradação ambiental. Apesar dessas diferenças, ambas as sociedades demonstram que: cooperação; comunicação; adaptação coletiva; integração social; circulação eficiente de informações são elementos fundamentais para a sobrevivência dos grupos sociais.

Assim, embora as sociedades humanas possuam capacidades intelectuais e tecnológicas superiores, as sociedades de insetos demonstram níveis impressionantes de: eficiência coletiva; adaptação ecológica; coordenação descentralizada; estabilidade funcional; cooperação social.

3. METODOLOGIA

O presente estudo adota abordagem qualitativa, bibliográfica e comparativa, fundamentada na análise crítica de artigos científicos, livros e estudos teóricos relacionados à organização social em insetos eusociais, especialmente formigas e abelhas, bem como à complexidade e às fragilidades das sociedades humanas. O objetivo metodológico consiste em compreender como diferentes formas de organização coletiva estruturam: divisão do trabalho; cooperação; comunicação; adaptação ambiental; cognição coletiva; eficiência social.

21

A pesquisa bibliográfica permitiu reunir, interpretar e integrar contribuições científicas provenientes de diferentes áreas do conhecimento, incluindo: ecologia comportamental; sociobiologia; biodemografia; psicologia comparada; comportamento coletivo; sistemas complexos; auto-organização; estudos sobre personalidade e cooperação social.

A investigação fundamenta-se principalmente na análise de trabalhos científicos que discutem: eusocialidade; reprodução cooperativa; cuidado extramaternal; divisão funcional do trabalho; compartilhamento alimentar; altruísmo; individualismo; coletivismo; cognição coletiva; adaptação ecológica; construção coletiva; comportamento social.

Entre as principais referências utilizadas encontra-se o estudo *The Insectan Apes*, de Bernard Crespi (2014), publicado na revista *Human Nature*. O autor discute convergências evolutivas entre humanos e insetos sociais, especialmente relacionadas: à cooperação coletiva; ao cuidado aloparental; ao compartilhamento de recursos, à divisão de tarefas, à dominância ecológica.

Também foi analisado o artigo *The Hierarchical Structure of Collectivism*, de Realo et al. (1997), publicado no *Journal of Research in Personality*. O estudo original utilizou a escala ESTCOL para investigar diferentes dimensões do coletivismo relacionadas à família, aos pares; à sociedade.

Além disso, foram considerados os estudos de Cheng et al. (2020), que discutem os conceitos de: individualismo; coletivismo; interdependência; cooperação social; relações interpessoais; organização social humana.

A análise também incorporou contribuições da biodemografia comparativa presentes na obra *Sociality, Hierarchy, Health: Comparative Biodemography*, organizada por Weinstein & Lane (2014). Essa literatura permitiu compreender como vínculos sociais, hierarquias, conexões cooperativas influenciam saúde, sobrevivência, adaptação e longevidade em diferentes espécies sociais.

Os mecanismos de auto-organização e tomada coletiva de decisão foram investigados a partir do estudo de Nicolis e Dussutour (2008), publicado no *European Physical Journal B*. Os autores utilizaram: modelos matemáticos de campo médio; teoria de bifurcação; simulações de Monte Carlo para analisar processos coletivos de recrutamento alimentar em colônias de formigas.

Além disso, foram considerados os trabalhos de (Nauta et al., 2021), que utilizaram modelos baseados em agentes para estudar: altruísmo; recrutamento coletivo; comunicação local; estratégias de busca; eficiência adaptativa em ambientes com recursos efêmeros. A pesquisa também incorporou os estudos de Feinerman & Korman (2017), voltados à compreensão de: cognição individual; cognição coletiva; emergência; auto-organização; redes de interação social em insetos eusociais.

Os efeitos do tamanho das colônias sobre organização coletiva, comunicação e divisão do trabalho foram analisados a partir das contribuições de Dornhaus et al. (2012), que discutem como: tamanho populacional; fluxo de informações; recrutamento; produtividade coletiva influenciam o funcionamento de colônias de insetos sociais.

A construção coletiva dos ninhos foi investigada com base nos estudos de Invernizzi e Ruxton (2019), que abordam: estigmergia; auto-organização; automontagem; adaptação ecológica; construção social em insetos eusociais. Além disso, foram analisadas contribuições

de Chen et al. (2020), relacionadas à alocação de tarefas, à especialização funcional, à aprendizagem individual, à aprendizagem social e à flexibilidade adaptativa das colônias.

A dimensão fisiológica e reprodutiva dos insetos foi investigada a partir do estudo de da Silva & Costa-Leonardo, (2025), publicado no *Journal of Insect Physiology*, que analisa: glândulas acessórias femininas; oviposição; secreções glandulares; proteção dos ovos; especialização fisiológica em insetos. Também foram incorporadas contribuições de Morais et al. (2020), relacionadas: à transmissão vertical de vírus, à adaptação ecológica, às interações microbiológicas em populações de insetos.

A análise da evolução das relações sociais fundamentou-se ainda no trabalho de Makrushin (2024), que discute: altruísmo; egoísmo; instintos sociais; envelhecimento social; seleção natural aplicada às sociedades humanas e animais. Além disso, a pesquisa incorporou estudos de Mehta e Gosling (2008), voltados à: personalidade animal; comportamento social; adaptação; relações entre personalidade, saúde e organização coletiva em humanos e animais.

O método comparativo constituiu elemento central da investigação, permitindo relacionar semelhanças e diferenças entre sociedades humanas e sociedades de insetos sociais. Foram utilizadas categorias analíticas relacionadas: à cooperação; à divisão do trabalho; à centralização e descentralização; à comunicação; à adaptação ambiental; à eficiência coletiva; aos conflitos sociais; à especialização funcional; às fragilidades organizacionais. A comparação buscou não apenas descrever os dois modelos sociais, mas também refletir criticamente sobre: os limites; as potencialidades; os mecanismos adaptativos; os desafios estruturais presentes em cada forma de organização coletiva.

Por fim, a pesquisa procurou relacionar evidências biológicas, ecológicas e comportamentais observadas em insetos sociais com desafios contemporâneos enfrentados pelas sociedades humanas, incluindo: desigualdade social; conflitos institucionais; burocracia; fragmentação social; dificuldades de cooperação coletiva; crises ambientais e econômicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos analisados demonstram que a eficiência organizacional dos insetos sociais está diretamente relacionada à cooperação coletiva, à comunicação descentralizada, à divisão funcional do trabalho e à elevada capacidade adaptativa das colônias. Observou-se que formigas,

abelhas, cupins e outros insetos eusociais conseguem desenvolver sistemas altamente eficientes de organização coletiva mesmo sem liderança centralizada.

Segundo Crespi (2014), humanos e insetos sociais compartilham diversas adaptações sociais convergentes, incluindo: sistemas cooperativos de alimentação; cuidado coletivo da prole; divisão funcional do trabalho; comunicação grupal eficiente. Além disso, Crespi (2014) demonstra que a divisão de tarefas reduz custos energéticos e aumenta significativamente a eficiência coletiva tanto em humanos quanto em insetos sociais. Os sistemas cooperativos favorecem maior capacidade adaptativa diante das mudanças ambientais e contribuem para elevada dominância ecológica.

A discussão desses resultados evidencia que muitas características frequentemente consideradas exclusivamente humanas apresentam paralelos importantes nas sociedades de insetos sociais. Entretanto, a ausência de castas reprodutivas rígidas nos humanos representa uma diferença fundamental entre os dois sistemas sociais. Além disso, a elevada complexidade cultural humana produz simultaneamente: vantagens adaptativas; inovação tecnológica; desenvolvimento científico; mas também: desigualdade social; conflitos políticos; fragmentação institucional; individualismo excessivo.

Os resultados apresentados por Realo et al. (1997), demonstram que o coletivismo humano possui estrutura multidimensional composta por três fatores principais: família, pares e sociedade. Os autores verificaram ainda que diferentes grupos sociais apresentam padrões distintos de coletivismo. Militares e antigos membros de irmandades demonstraram elevados níveis de coletivismo societal, enquanto famílias numerosas apresentaram maior coletivismo familiar. Além disso, indivíduos mais amáveis e menos abertos à experiência tendem a apresentar maiores níveis de orientação coletiva.

Esses resultados permitem compreender que as sociedades humanas apresentam formas variadas e flexíveis de organização coletiva, influenciadas por: cultura; personalidade; idade; gênero; contexto social.

Comparativamente, as sociedades de insetos apresentam sistemas coletivos mais homogêneos, altamente integrados e biologicamente especializados, permitindo maior eficiência funcional e menor conflito interno.

Segundo Weinstein & Lane (2014), vínculos sociais exercem forte influência sobre: sobrevivência; saúde; estabilidade coletiva; adaptação social. Os resultados demonstram que os

insetos sociais conseguem responder rapidamente às mudanças ambientais devido à forte integração coletiva entre os indivíduos da colônia. Em comparação, as sociedades humanas apresentam maior complexidade organizacional, porém também maior vulnerabilidade decorrente de: desigualdades econômicas; conflitos políticos; interesses individuais; fragmentação institucional.

Além disso, verificou-se que conexões sociais positivas favorecem melhores condições de vida, enquanto isolamento social, estresse e fragilidade dos vínculos coletivos aumentam vulnerabilidades biológicas e sociais. Dessa forma, sociedades altamente cooperativas tendem a apresentar maior estabilidade coletiva e maior capacidade adaptativa. Outro conjunto importante de resultados refere-se à exploração alimentar e aos mecanismos de auto-organização. Nicolis & Dussutour (2008) demonstram que colônias de formigas desenvolvem estratégias altamente eficientes de exploração através: da comunicação química; de trilhas de feromônios; da amplificação social; de mecanismos de feedback positivo.

Os autores verificaram que a intensidade do recrutamento depende diretamente da quantidade de feromônio depositado, do tamanho da colônia, das condições ambientais. Outro resultado relevante refere-se à existência de níveis ótimos de aleatoriedade capazes de maximizar a eficiência coletiva. Segundo Nicolis & Dussutour (2008), respostas coletivas eficientes surgem quando a variabilidade individual ultrapassa determinado limiar finito. Além disso, ambientes dinâmicos podem provocar mudanças inesperadas nas estratégias de exploração, dependendo das condições iniciais, dos parâmetros ambientais e da disponibilidade de recursos.

Esses resultados demonstram que sistemas coletivos eficientes dependem do equilíbrio entre: cooperação; variabilidade individual; comunicação eficiente; adaptação ecológica.

Comparativamente, as sociedades humanas frequentemente apresentam dificuldades para alcançar esse equilíbrio devido à complexidade institucional, à burocracia, aos conflitos de interesse e à polarização política.

Os resultados apresentados por da Silva e Costa-Leonardo (2025), demonstram que as glândulas acessórias femininas possuem ampla diversidade funcional e estrutural entre os insetos. Entre as principais funções observadas destacam-se: produção de revestimentos protetores dos ovos; atividade antibiótica; produção de nutrientes; proteção contra dessecação; resistência a variações térmicas.

Os autores ressaltam ainda que muitas funções dessas glândulas permanecem desconhecidas devido à enorme diversidade de espécies existentes. Esses resultados evidenciam elevado grau de especialização fisiológica e adaptação evolutiva nos insetos sociais.

Outro resultado importante refere-se ao altruísmo coletivo. Nauta et al. (2021) demonstraram que o recrutamento altruísta aumenta significativamente a eficiência coletiva quando os recursos são: escassos; persistentes; espacialmente dispersos.

Entretanto, quando os recursos tornam-se muito efêmeros ou facilmente disponíveis, os benefícios da cooperação diminuem, pois os indivíduos conseguem localizar alimento sem necessidade de recrutamento intenso. Os autores demonstraram ainda que estratégias baseadas em caminhadas de Lévy apresentam elevada eficiência na localização de recursos dispersos. Além disso, sistemas excessivamente conectados nem sempre são os mais eficientes; em muitos casos, interações locais limitadas produzem respostas coletivas mais rápidas e adaptativas.

A discussão desses resultados permite compreender que a eficiência coletiva depende não apenas da cooperação, mas também: das condições ambientais; da comunicação eficiente; da flexibilidade organizacional; da adaptação dinâmica do sistema social.

Segundo Makrushin (2024), sociedades mais cooperativas apresentam maior capacidade adaptativa e maior probabilidade de sobrevivência coletiva. O estudo demonstra ainda que comportamentos excessivamente egoístas reduzem: coesão social; estabilidade coletiva; adaptabilidade das sociedades.

Outro resultado relevante refere-se à ideia de envelhecimento social. Segundo o autor, sociedades degradam-se internamente da mesma forma que organismos envelhecem biologicamente, reduzindo eficiência coletiva e aumentando riscos de colapso social. Esses resultados sugerem que a organização social dos insetos oferece importante modelo biológico para refletir sobre: cooperação; altruísmo; sustentabilidade social; resiliência coletiva.

Os estudos de Morais et al. (2020) identificaram flavivírus e densovírus em mosquitos coletados em Angola. Aproximadamente um terço dos grupos analisados apresentava presença desses vírus específicos de insetos. Além disso, os resultados sugerem que muitos desses vírus estabelecem relações mutualísticas com os hospedeiros, podendo inclusive interferir na transmissão de arbovírus patogênicos.

Esses resultados demonstram que os insetos apresentam mecanismos altamente eficientes de: continuidade ecológica; transmissão intergeracional; adaptação microbiológica; estabilidade biológica coletiva.

Os resultados de Cheng et al. (2020) mostram que sociedades coletivistas tendem a apresentar: maior coesão social; maior suporte interpessoal; maior integração grupal; menores níveis de isolamento individual.

Além disso, indivíduos coletivistas demonstram maior tendência: à cooperação; ao compartilhamento de recursos; à manutenção da harmonia social.

Em contrapartida, sociedades individualistas favorecem: criatividade; independência; mobilidade social; mas também podem gerar: fragmentação social; competitividade extrema; desigualdade econômica.

Esses resultados sugerem que a elevada eficiência dos insetos sociais está fortemente associada à predominância de mecanismos coletivistas, enquanto muitas fragilidades das sociedades humanas modernas relacionam-se ao fortalecimento excessivo do individualismo.

Outro conjunto importante de resultados refere-se à cognição coletiva Feinerman & Korman (2017) demonstram que a eficiência das colônias depende da capacidade de integrar informações individuais em respostas coletivas coordenadas. Durante processos como escolha de novos ninhos, diferentes indivíduos avaliam alternativas e utilizam mecanismos de *quorum sensing* para selecionar as melhores opções coletivas.

Os resultados demonstram ainda que estruturas complexas podem emergir sem planejamento centralizado, apenas através de regras locais simples, da interação entre indivíduos e de mecanismos de feedback coletivo.

Segundo Dornhaus et al. (2012), colônias maiores apresentam: sistemas de comunicação mais eficientes; maior divisão do trabalho; maior estabilidade no fluxo de recursos; menor vulnerabilidade a flutuações estocásticas.

Os autores também demonstram que o crescimento da colônia favorece o surgimento de castas morfologicamente especializadas capazes de executar tarefas específicas com maior eficiência. Na comparação com a sociedade humana, observa-se que sistemas coletivos eficientes dependem menos da inteligência individual isolada e mais: da qualidade das interações sociais; da circulação de informações; da capacidade adaptativa coletiva.

Os estudos de Invernizzi & Ruxton (2019) demonstram que a eficiência das sociedades de insetos está relacionada à capacidade de transformar ações individuais simples em estruturas coletivas complexas. A construção de ninhos, túneis e câmaras não depende de planejamento central, mas de: regras locais; feedback coletivo; auto-organização; estigmergia.

Além disso, as colônias ajustam continuamente suas estruturas em resposta: à temperatura; à umidade; à circulação do ar; ao crescimento populacional.

Em contraste, sociedades humanas frequentemente apresentam: burocracia excessiva; rigidez institucional; desigualdade; conflitos de interesse; baixa coordenação coletiva.

Os estudos de Caine et al. (2026) reforçam que os ninhos de insetos sociais influenciam diretamente: encontros sociais; circulação interna; divisão do trabalho; termorregulação; organização coletiva.

Esses resultados sugerem que sistemas descentralizados baseados em cooperação local podem produzir elevada eficiência organizacional e grande capacidade adaptativa.

Os resultados de Chen et al. (2020) indicam que ambientes hostis tendem a gerar maior especialização funcional, enquanto ambientes mais favoráveis estimulam comportamentos mais flexíveis e cooperativos. Os autores demonstram ainda que a aprendizagem individual favorece maior capacidade adaptativa em ambientes dinâmicos, enquanto sistemas excessivamente dependentes de aprendizagem social podem tornar-se mais rígidos e menos adaptáveis.

Por fim, os estudos de Mehta & Gosling (2008) demonstram que animais apresentam personalidade mensurável e relativamente consistente ao longo do tempo. Características comportamentais influenciam diretamente: saúde; imunidade; adaptação; sobrevivência; dinâmica social coletiva.

A discussão geral dos resultados evidencia que sistemas sociais mais: cooperativos; flexíveis; descentralizados; adaptativos tendem a apresentar maior estabilidade coletiva e maior capacidade de sobrevivência diante de mudanças ambientais e sociais.

5. CONCLUSÕES FINAIS

A análise realizada ao longo deste estudo demonstra que as sociedades de insetos eusociais, especialmente formigueiros e colmeias, apresentam elevados níveis de eficiência organizacional baseados: na cooperação coletiva; na divisão funcional do trabalho; na

comunicação eficiente; na cognição coletiva; na adaptação ecológica; na auto-organização descentralizada.

Os estudos analisados evidenciam que insetos sociais conseguem desenvolver sistemas altamente coordenados mesmo sem estruturas centralizadas de liderança. Por meio de mecanismos como: estigmergia; feedback coletivo; comunicação química; recrutamento cooperativo; interação local entre indivíduos, as colônias conseguem transformar ações individuais simples em respostas coletivas complexas e adaptativas.

Segundo Bernard Crespi (2014), humanos e insetos sociais compartilham importantes convergências relacionadas: à cooperação; ao cuidado coletivo; ao compartilhamento alimentar; à divisão de tarefas; à organização social.

Entretanto, embora as sociedades humanas apresentem enorme complexidade cultural, tecnológica e institucional, elas também enfrentam fragilidades significativas relacionadas à desigualdade social, aos conflitos políticos, à burocracia, ao individualismo excessivo, à fragmentação institucional e às dificuldades de coordenação coletiva.

Os resultados também demonstram que o coletivismo constitui elemento central para a estabilidade e eficiência social. Segundo Realo et al. (1997), estruturas coletivistas relacionadas à família, aos pares e à sociedade influenciam diretamente a cooperação, integração social e organização coletiva.

Em contraste, o fortalecimento excessivo do individualismo nas sociedades humanas modernas pode gerar: fragmentação social; competitividade extrema; enfraquecimento da solidariedade coletiva; dificuldades adaptativas.

Outro aspecto fundamental identificado neste estudo refere-se à importância da comunicação descentralizada Nicolis & Dussutour (2008) demonstram que colônias de insetos conseguem tomar decisões coletivas eficientes através da amplificação de sinais químicos, de mecanismos de feedback positivo e de interações locais simples.

Esses mecanismos permitem respostas rápidas diante de: mudanças ambientais; escassez de recursos; ameaças ecológicas; alterações espaciais na colônia.

Além disso, os estudos demonstram que sistemas descentralizados frequentemente apresentam: maior flexibilidade adaptativa; maior resiliência ecológica; maior robustez organizacional.

A literatura analisada evidencia ainda que a eficiência coletiva não depende exclusivamente da inteligência individual isolada, mas principalmente: da qualidade das interações sociais; da circulação eficiente de informações; da cooperação grupal; da capacidade adaptativa do sistema coletivo.

Segundo Feinerman & Korman (2017), colônias de insetos funcionam como sistemas integrados de cognição coletiva, capazes de processar informações distribuídas entre milhares de indivíduos.

Outro resultado importante refere-se à construção coletiva dos ninhos. Os estudos de Invernizzi & Ruxton (2019) e Caine et al. (2026), demonstram que: túneis; câmaras; sistemas de ventilação; estruturas arquitetônicas complexas emergem da interação contínua entre indivíduos e ambiente, sem necessidade de planejamento centralizado.

Esses mecanismos revelam elevados níveis de: eficiência ecológica; adaptação ambiental; estabilidade estrutural; integração funcional.

Além disso, os resultados mostram que o tamanho da colônia exerce forte influência sobre: comunicação; divisão do trabalho; fluxo de informações; estabilidade coletiva; eficiência funcional.

Segundo Dornhaus et al. (2012), colônias maiores apresentam maior capacidade adaptativa e menor vulnerabilidade a flutuações ambientais e estocásticas.

Os estudos analisados também demonstram que a especialização funcional precisa manter equilíbrio com flexibilidade adaptativa. Chen et al. (2020) mostram que colônias fracamente especializadas podem apresentar desempenho próximo ao ideal em ambientes dinâmicos devido à maior capacidade de reorganização das tarefas.

Essa conclusão possui grande relevância para reflexão sobre sociedades humanas contemporâneas, muitas vezes marcadas por: excesso de burocracia; rigidez institucional; hiperespecialização; baixa adaptabilidade diante de crises sociais e ambientais.

Outro aspecto importante refere-se à relação entre altruísmo e sobrevivência coletiva. Segundo Makrushin (2024), sociedades mais cooperativas apresentam: maior estabilidade; maior resiliência; maior capacidade adaptativa; menor vulnerabilidade ao colapso social.

Em contrapartida, sociedades excessivamente egoístas tornam-se menos coesas e mais vulneráveis: a conflitos internos; à degradação institucional; à instabilidade política; ao enfraquecimento da solidariedade social.

A análise comparativa também evidencia que os insetos sociais desenvolveram, ao longo da evolução, mecanismos altamente eficientes relacionados à reprodução, à proteção coletiva, à sobrevivência ecológica e à continuidade populacional.

Segundo da Silva e Costa-Leonardo (2025), estruturas fisiológicas especializadas garantem: proteção embrionária; fertilização eficiente; resistência ambiental; estabilidade reprodutiva.

Além disso, Morais et al. (2020) demonstram que os insetos mantêm complexas relações microbiológicas e ecológicas capazes de garantir continuidade biológica e adaptação intergeracional.

A comparação com a sociedade humana evidencia que os seres humanos possuem: maior capacidade simbólica; linguagem complexa; desenvolvimento científico; inovação tecnológica; consciência crítica.

Entretanto, essas capacidades não garantem automaticamente elevada eficiência coletiva. Em muitos casos, conflitos de interesse, desigualdade social e fragilidade institucional reduzem a capacidade adaptativa das sociedades humanas.

Assim, conclui-se que a verdadeira eficiência social não depende apenas da inteligência individual, da tecnologia, da complexidade institucional, mas principalmente: da cooperação; da comunicação eficiente, da flexibilidade organizacional; da capacidade adaptativa, do equilíbrio entre individualidade e interesse coletivo.

Portanto, a análise das sociedades de insetos sociais oferece importantes reflexões para compreender os desafios contemporâneos da humanidade, especialmente aqueles relacionados à sustentabilidade, à governança social, à desigualdade, à resiliência coletiva, à adaptação diante de crises globais, à construção de sistemas sociais mais cooperativos e sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS

Caine, P. B., Robertson, A. T., Treers, L. K., Goldman, D. I., & Goodisman, M. A. D. (2026). Architecture of the insect society: comparative analysis of collective construction and social function of nests. *Insectes Sociaux*, 73(1), 13–35. <https://doi.org/10.1007/s00040-025-01057-7>

Chen, R., Meyer, B., & Garcia, J. (2020). A computational model of task allocation in social insects: ecology and interactions alone can drive specialisation. *Swarm Intelligence*, 14(2), 143–170. <https://doi.org/10.1007/s11721-020-00180-4>

- Cheng, A. W., Rizkallah, S., & Narizhnaya, M. (2020). Individualism vs. Collectivism. In *The Wiley Encyclopedia of Personality and Individual Differences* (Vol. 4, pp. 287–297). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119547181.ch313>
- Crespi, B. (2014). The Insectan Apes. *Human Nature*, 25(1), 6–27. <https://doi.org/10.1007/s12110-013-9185-9>
- da Silva, I. B., & Costa-Leonardo, A. M. (2025). Reviewing the female accessory glands of insects: Where they come from, what they do, and where they are going. *Journal of Insect Physiology*, 161, 104780. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2025.104780>
- Dornhaus, A., Powell, S., & Bengston, S. (2012). Group Size and Its Effects on Collective Organization. *Annual Review of Entomology*, 57(1), 123–141. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100604>
- Feinerman, O., & Korman, A. (2017). Individual versus collective cognition in social insects. *Journal of Experimental Biology*, 220(1), 73–82. <https://doi.org/10.1242/jeb.143891>
- Invernizzi, E., & Ruxton, G. D. (2019). Deconstructing collective building in social insects: implications for ecological adaptation and evolution. *Insectes Sociaux*, 66(4), 507–518. <https://doi.org/10.1007/s00040-019-00719-7>
- Makrushin, A. (2024). Parallelism of the Evolution of Social Insects and Humans: A Hypothesis. *Archives of Psychiatry and Mental Health*, 8(1), 038–040. <https://doi.org/10.29328/journal.apmh.1001055>
- Mehta, P. H., & Gosling, S. D. (2008). Bridging human and animal research: A comparative approach to studies of personality and health. *Brain, Behavior, and Immunity*, 22(5), 651–661. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2008.01.008>
- Morais, P., Pinto, J., Jorge, C. P., Troco, A. D., Fortes, F., Sousa, C. A., & Parreira, R. (2020). Insect-specific flaviviruses and densoviruses, suggested to have been transmitted vertically, found in mosquitoes collected in Angola: Genome detection and phylogenetic characterization of viral sequences. *Infection, Genetics and Evolution*, 80, 104191. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104191>
- Nauta, J., Khaluf, Y., & Simoens, P. (2021). Resource ephemerality influences effectiveness of altruistic behavior in collective foraging. *Swarm Intelligence*, 15(4), 427–457. <https://doi.org/10.1007/s11721-021-00205-6>
- Nicolis, S. C., & Dussutour, A. (2008). Self-organization, collective decision making and resource exploitation strategies in social insects. *The European Physical Journal B*, 65(3), 379–385. <https://doi.org/10.1140/epjb/e2008-00334-3>
- Realo, A., Allik, J., & Vadi, M. (1997). The Hierarchical Structure of Collectivism. *Journal of Research in Personality*, 31(1), 93–116. <https://doi.org/10.1006/jrpe.1997.2170>
- Weinstein, Maxine., & Lane, M. A. . (2014). *Sociality, Hierarchy, Health* (Maxine Weinstein e Meredith A. Lane, Ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18822>