

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE BIOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E  
CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**LIMITAÇÃO POR SÓDIO EM ASSEMBLÉIAS DE  
FORMIGAS NO CERRADO**

**JÉSSICA VIEIRA**

2014

Jésica Vieira

# **LIMITAÇÃO POR SÓDIO EM ASSEMBÉLIAS DE FORMIGAS NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia e Conservação de  
Recursos Naturais

Orientador:  
Prof. Dr. Heraldo Luis de Vasconcelos

UBERLÂNDIA  
Fevereiro – 2014

Jésica Vieira

## **LIMITAÇÃO POR SÓDIO EM ASSEMBLÉIAS DE FORMIGAS NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia e Conservação de  
Recursos Naturais

APROVADA em 21 de fevereiro de 2014

Prof. Dr. Ricardo Ildefonso de Campos  
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dra. Kátia Gomes Facure Giaretta  
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Heraldo Luis de Vasconcelos  
Universidade Federal de Uberlândia (Orientador)

UBERLÂNDIA  
Fevereiro – 2014

*Dedico esta dissertação a minha mãe Divina Fernandes, ao meu pai João Geraldo Vieira e ao meu irmão Bruno Fernandes, aos meus avós, Brandina Gonçalves e Antônio Fernandes, que sempre lutaram para me permitir chegar onde estou e que são a minha fonte de inspiração nesta vida.*

## AGRADECIMENTOS

---

Ao meu orientador Dr. Heraldo L. Vasconcelos por me receber no laboratório de ecologia de insetos sociais, acreditar em mim, me apoiar, incentivar e ajudar durante todo o período de realização deste trabalho. Grata também pela paciência, por me fazer aprender “andar sozinha” e amadurecer profissionalmente. E também, um amigo e boa companhia nos churrascos e reuniões do LEIS.

Aos Prof. Dr. Ricardo Ildefonso de Campos e Prof<sup>a</sup>. Dra. Kátia Gomes Facure Giaretta pela presença na banca examinadora e pelas significativas contribuições para o aperfeiçoamento desta dissertação.

A todos os colegas do Laboratório de Ecologia de Insetos Sociais (LEIS) pelo convívio e auxílio em qualquer dúvida ou problema que surgisse. Agradecimento especial à Lilian Suelen, Flávio Camarota e Elmo Koch pela ajuda no campo.

Aos meus familiares e ao meu companheiro Antonio Martins por vir a acrescentar muito em minha vida neste ano que passou. Aos velhos amigos Flaviane Andrade, Patrícia Avelar, Juliana de Curcio, Gabriela Aguiar, Laís Santos. Aos que se tornaram amigos nesses dois anos de mestrado: Daniela de Paula, Raquel Costa, Diogo Fernandes, Tayná Lopes, Lilian Suelen, Flávio Camarota, Jonas Maravalhas, Elmo Koch e Laura Vivian.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

# ÍNDICE

---

RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iii
INTRODUÇÃO .....	1
MATERIAL E MÉTODOS .....	6
Experimento com iscas .....	6
Experimento de suplementação nutricional em <i>Cephalotes pusillus</i> .....	10
Análises estatísticas .....	13
RESULTADOS .....	15
DISCUSSÃO .....	23
CONCLUSÃO .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30
ANEXOS .....	36

## RESUMO

---

**Vieira, J. 2014. Limitação por sódio em assembléias de formigas no Cerrado. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. UFU. Uberlândia-MG. 37p**

Um grande desafio para qualquer animal é manter o equilíbrio dos múltiplos nutrientes no corpo, em face de um ambiente nutricionalmente heterogêneo. O sódio (Na) é um nutriente essencial para a vida e apesar de se mostrar um nutriente limitante para vários organismos, inclusive para as formigas, pouco se sabe ao certo até que ponto esse nutriente pode ser benéfico. Neste trabalho foi investigada o uso das comunidades de formigas por iscas de sal ou de sacarose em diferentes fitofisionomias do Cerrado representando um gradiente de aumento na cobertura arbórea e de serapilheira e um decréscimo na cobertura de gramíneas. Foi realizado também, um experimento em campo a fim de determinar o efeito da suplementação de sódio sobre o desenvolvimento de colônias de uma espécie arborícola comum no cerrado (*Cephalotes pusillus*). Foram distribuídas iscas com diferentes concentrações de sal ou açúcar em áreas de cerrado ralo, cerrado típico, cerrado denso e cerradão. Para o experimento, 40 colônias incipientes de *C. pusillus* foram transplantadas para ninhos artificiais de madeira, cada um contendo uma rainha, dois soldados 20 operárias. Os ninhos foram colocados em uma espécie de árvore comum no Cerrado (*Qualea grandiflora*). Durante o experimento as colônias receberam diferentes tratamentos. Dez ninhos receberam solução de sal a 1%, 10 receberam solução de sacarose (14%) e aminoácido (1%), 10 receberam tanto sal quanto sacarose e aminoácido, enquanto as 10 colônias restantes receberam apenas água como controle. O uso das formigas pelas iscas de sal foi maior na vegetação, enquanto no solo a preferência por sacarose foi maior. Esse padrão não diferiu entre as fitofisionomias. O uso das formigas por iscas de sal ou sacarose variou em gêneros filogeneticamente distantes e o que possivelmente melhor explica essas diferenças são as variações em seus hábitos alimentares. Gêneros que tem como principal fonte de alimento exsudados açucarados, como *Azteca*, *Cephalotes* e *Camponotus* usaram preferencialmente iscas de sal. Para as iscas de sacarose o uso foi maior entre os gêneros que frequentemente se alimentam de presas como *Ectatomma*, *Pachycondyla*, *Pheidole* e *Nylanderia*. No experimento em campo com colônias de *C. pusillus*, as colônias que receberam sal, produziram menor número de ovos, larvas e pupas do que aquelas que não receberam. Isso nos mostra que embora o sódio seja um elemento aparentemente limitante para alguns gêneros, quando consumido em excesso, pode inibir o desenvolvimento da colônia.

•  
Palavras-chave: gradiente vegetacional, suplementação de sódio, *Cephalotes pusillus*.

## ABSTRACT

---

**Vieira, J. 2014. Sodium limitation in ant assemblages in the Brazilian Cerrado. Master of Science thesis. UFU. Uberlândia-MG. 37p.**

A major challenge for any animal is to maintain the balance of multiple nutrients in the body, in the face of a nutritionally heterogeneous environment. Sodium (Na) is an essential nutrient for life and although it is well known that they are a limiting nutrient for many organisms, including ants, little is known to what extent this nutrient may be beneficial. In this work we investigated the use of ant communities for baits containing salt or sucrose in different Cerrado physiognomies along a gradient of increasing vegetation cover and litter and decreasing grass cover. A field experiment was also conducted to determine the effect of sodium supplementation on the development of colonies of a common cerrado arboreal ant species (*Cephalotes pusillus*). We distributed baits with different concentrations of salt and sucrose in areas of open cerrado, cerrado stricto sensu, dense cerrado and cerradão. For the experiment, 40 incipient colonies of *C. pusillus* were transplanted to artificial wood nests, each containing a queen, two soldiers and twenty workers. The artificial nests were placed in a common Cerrado tree species (*Qualea grandiflora*). During the experiment the colonies received four different treatments. Ten nests were fed with a solution with salt at 1%, ten with a solution of 14% sucrose and 1% of one amino acid, ten trees with sucrose, amino acid and salt and ten control trees with distilled water. On the vegetation, the ants preferred the baits containing salt, while on the soil they preferred the sucrose baits. This pattern was the same in all vegetation types. The use of the ants for baits containing salt or sucrose was different in phylogenetically distant genera, what can be better explained by the variation on its food habits. Genera which the main food source is in form of liquid sugary exudates, like *Azteca*, *Cephalotes* and *Camponotus* preferred the salt baits. The sucrose baits, on the other hand, were preferred by predatory genera, like *Ectatomma*, *Pachycondyla*, *Pheidole* e *Nylanderia*. Of the experimental colonies of *C. pusillus*, the ones that were fed with a salt solution produced fewer eggs, larvae and pupae than the colonies of the other treatments. This shows that although sodium is an apparently limiting element for some genera, when consumed in excess, it can inhibit the development of the colony.

**Keywords:** vegetation gradient, sodium supplementation, *Cephalotes pusillus*.



## INTRODUÇÃO

Os organismos foram modificados no decorrer da evolução em função das disponibilidades dos elementos químicos os quais geram pressões seletivas (Williams e Fraústo da Silva, 2003). Os 25 elementos químicos essenciais para a manutenção da vida apresentam uma variedade de funções fisiológicas e estruturais, e são usados em proporções aproximadas à sua disponibilidade no ambiente (Williams 1981, Sterner e Elser 2002, Williams e Fraústo da Silva 2005, Kaspari 2012). A Teoria da Estequiometria Ecológica compara as razões estequiométricas desses múltiplos elementos entre os organismos e o meio abiótico, explorando como a disponibilidade e o balanço dos elementos influencia as interações e os processos ecológicos (Lotka 1925, Loladze e Kuang 2000, Sterner e Elser 2002, Kaspari 2012).

Essa teoria assume que grupos de organismos afins têm estequiometria semelhante e que os consumidores mantêm a homeostase dos elementos na composição do corpo mesmo diante de recursos limitados (Reiners *et al.* 1986, Sterner e Elser 2002). O mais frequentemente visto na natureza é a composição química do recurso alimentar ser diferente à do seu consumidor, ou o nutriente que o consumidor necessita ser escasso. Dessa forma, quando confrontados com fontes alternativas de alimento, os organismos tendem a preferir nutrientes que são relativamente raros (Tilman 1982, Rosemond *et al.* 2001, Kaspari e Yanoviak 2001, Davidson 2005, Bihn *et al.* 2008, Kaspari *et al.* 2008).

O sódio (Na) é um nutriente essencial para a vida e assim sua disponibilidade pode impactar os organismos e suas populações (Kaspari *et al.* 2008). Esse nutriente é responsável por várias funções fisiológicas, sendo vital para manter o balanço osmótico e as atividades neuromusculares dos animais (Frausto da Silva e Williams, 2001). A concentração de sódio nos tecidos das plantas é cerca de 10 vezes menor do que é

encontrado nos tecidos dos animais. Por isso, muitos herbívoros vertebrados e invertebrados precisam suplementar suas dietas procurando por Na em outras fontes de recurso (Stamp e Harmon 1991, Tracy e McNaughton 1995, Dudley *et al.* 2012). Grandes herbívoros das florestas tropicais, frequentemente encontram dificuldades em localizar sódio para balancear suas dietas (Belovsky e Jordan 1981, Denton 1984, Rothman *et al.* 2006). Os gorilas, por exemplo, suplementam suas necessidades por sódio se alimentando de madeira em decomposição, a qual contribui com cerca de 95% desse nutriente em suas dietas (Rothman *et al.* 2006). Nas florestas boreais, Alces (*Alces alces*) procuram por sódio em "piscinas" de sal formadas pela acumulação de sais do degelo ao longo das estradas (Laurian *et al.* 2008). Nos artrópodes, a procura por sódio pode ser observada em machos de lepidópteros que visitam poças de água e lama para absorção de sódio, que é transferido para as fêmeas durante o acasalamento, para uma eventual incorporação nos ovos (Smedley e Eisner 1995). Em outros táxons de herbívoros invertebrados, também é comum a procura por sódio em fezes de animais e carniças (Arms *et al.* 1974, Molleman *et al.* 2005).

Os desequilíbrios estequiométricos enfrentados pelos organismos podem também variar em função da estrutura física, da disponibilidade de recursos e das condições abióticas dos habitats (Kaspari e Yanoviak 2001, Sterner e Elser 2002, Davidson *et al.* 2005). As formigas parecem ser bons organismos modelo para o estudo da estequiometria, uma vez que elas são um grupo de insetos dominante na maioria dos ecossistemas terrestres e a maioria das espécies possui uma dieta diversificada, que inclui tanto alimentos de origem vegetal (p.ex., néctar produzidos em nectários extraflorais) como animal (p.ex., insetos presa). Entretanto, a disponibilidade destes alimentos pode ser variável tanto dentro como entre habitats. No dossel das florestas tropicais, por exemplo, há uma grande disponibilidade de açúcar presente nos nectários

extraflorais e exsudados de homópteros, e por consequência uma provável deficiência de sódio para as formigas. Em contraste, no solo destas, há baixa oferta de néctar e consequentemente a dieta é baseada principalmente no consumo de artrópodes de serapilheira, gerando potencialmente assim uma menor deficiência de sódio (Swift *et al.* 1979, Begon *et al.* 1996, Yanovik e Kaspari 2000, Kaspari *et al.* 2012).

Kaspari *et al.* (2008) estudou o uso de sódio e de sacarose em comunidades de formigas na região Neotropical e concluiu que a limitação por sódio é maior na vegetação do que no solo. Já Hernández *et al.* (2012) observaram que tanto as formigas do dossel de uma floresta da Amazônia quanto aquelas do solo recrutaram fortemente para iscas de sal, sugerindo que este é um nutriente limitante chave em ambos estratos. Hernández *et al.* (2012) também investigaram se alterações na quantidade de sal disponível para uma espécie de formiga arborícola (*Camponotus mirabilis*) poderia afetar sua sobrevivência. Em um experimento feito em laboratório, realizaram testes de preferência em colônias dessa espécie com soluções de sal em baixas e altas concentrações. Seus resultados mostraram que as formigas com acesso irrestrito ao sal sofreram altas taxas de mortalidade. Isso sugere que o sódio apesar de ser um nutriente limitante, pode ser tóxico quando utilizado em doses elevadas. Já para a formiga *Solenopsis invicta*, uma espécie predadora de solo, diferentes níveis de sódio na dieta não resultaram em diferenças significativas no crescimento das colônias (Resasco *et al.* 2013).

Estudos recentes mostram que a disponibilidade de sódio varia geograficamente (Kaspari *et al.* 2008, Kaspari 2012, Dudley *et al.* 2012). Como o transporte de sódio é feito pelos aerossóis oceânicos, a quantidade deste nutriente na chuva diminui à medida que se distancia do oceano (Stallard e Edmond 1981). Kaspari *et al.* (2008) observaram que a atração das formigas para iscas de sal aumenta significativamente em locais

distantes do oceano. De forma similar, em estradas onde o sal é usado para derreter a neve, a atração das formigas para iscas de sal aumenta à medida que se distâcia da estrada (Kaspari *et al.* 2010). É importante ressaltar que o recrutamento das formigas para iscas de sal é direcionado pelo  $\text{Na}^+$  e não pelo  $\text{Cl}^-$  (Kaspari *et al.* 2009).

Como visto, o sódio é um nutriente essencial para os organismos, e os estudos com formigas parecem dar apoio à ideia de que os organismos preferem nutrientes que estão escassos localmente (Kaspari *et al.* 2008, 2010, O'Donnell *et al.* 2010, Hernandez *et al.* 2012, Resasco *et al.* 2013). O cerrado na região oeste de Minas Gerais e sul de Goiás está localizado a cerca de 600- 750 km de distância do litoral. Isso nos leva a acreditar que nestas regiões o sódio seja encontrado em pequenas concentrações. As evidências sugerem que além da questão geográfica, há uma maior deficiência de sódio no dossel do que no solo (Kaspari *et al.* 2008). Por isso é esperado que em ambientes florestais, onde há um maior contraste entre esses dois estratos, existam diferenças marcantes na atratividade de iscas de sal entre as comunidades de formigas do solo e do dossel. Por outro lado, em ambientes savânicos espera-se que o mesmo não ocorra. Isso porque em uma savana há uma maior proximidade entre o estrato arbóreo e o solo e a abundância de vegetação rasteira provavelmente proporciona maior oferta de exsudados açucarados para as formigas que nidificam e forrageiam no solo de savanas.

Outra questão pouco estudada é que a preferência por sal nas comunidades de formigas pode não ser universal. Baseado nos hábitos alimentares, alguns gêneros podem ser mais limitados por sódio que outros. Isso porque gêneros de formigas que se alimentam basicamente de exsudados açucarados (p.ex., muitas espécies arbóreas), têm uma dieta rica principalmente em carboidratos e conseqüentemente uma possível deficiência por Na. Apesar do sódio se mostrar um nutriente limitante para vários organismos, inclusive para as formigas, não se sabe ao certo até que ponto esse nutriente

pode ser benéfico. Para nosso conhecimento, os únicos trabalhos que avaliaram o efeito do sódio em colônias de formigas (Hernandez *et al.* 2012, Resasco *et al.* 2013), o fizeram exclusivamente com colônias de laboratório e obtiveram resultados contrastantes.

Neste trabalho foi avaliado o uso de iscas de sal e sacarose por comunidades de formigas em diferentes fitofisionomias do Cerrado, variando desde fitofisionomias com pouca cobertura arbórea e uma predominância de gramíneas como o cerrado ralo, até fitofisionomias com um dossel contínuo e grande quantidade de serapilheira como o cerradão, formando assim um gradiente de cobertura arbórea. Foram levantadas as seguintes questões: 1- As comunidades de formigas preferem iscas de sal ou de sacarose? 2- Essa preferência varia entre fitofisionomias ou entre estratos de forrageio (solo e vegetação)? 3- Essa preferência varia entre os gêneros de formigas? 4- Gêneros filogeneticamente próximos têm preferências similares quando comparados a gêneros mais distantes? 5- A suplementação na dieta melhora o desenvolvimento de colônias de *Cephalotes pusillus*?

Para responder essas questões, primeiramente foi realizado um experimento de preferência utilizando iscas de sal e sacarose. Foi testada a hipótese de que formigas de gêneros arborícolas apresentam maior preferência por iscas de sal e formigas de solo preferem iscas de sacarose. Em seguida, foi realizado um experimento em campo a fim de testar a hipótese de que a suplementação de sódio na dieta afeta o desenvolvimento de colônias de formigas, utilizando para isto como modelo uma espécie arborícola comum no cerrado (*C. pusillus*).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Experimento com iscas

#### *Área de estudo:*

Este estudo foi realizado entre junho de 2012 e fevereiro de 2013 em Uberlândia (18°56'38"S, 48°18'39"W), na região oeste do estado de Minas Gerais e no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas (PESCAN) (17°33'S e 48°40'O), localizado ao sul de Goiás entre as cidades de Rio Quente e Caldas Novas. As duas regiões possuem um clima subtropical caracterizado por um verão chuvoso e inverno seco, com uma temperatura média anual entre 20 e 25°C e precipitação anual de 1600 mm (Rosa *et al.* 1991; Magnago *et al.* 1983, Novaes *et al.* 1983). O solo em todo o Triângulo Mineiro é predominantemente do tipo Latossolo Vermelho Escuro de moderado a fortemente ácido (Embrapa 1982). No PESCAN os solos variam de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos à Cambissolos e Neossolos Litólicos associados aos afloramentos rochosos (Lima *et al.* 2010).

As regiões da área de estudo estão inseridas no bioma Cerrado, o qual possui um mosaico de fitofisionomias vegetais, que inclui campos, savanas (a vegetação dominante) e florestas (Oliveira-Filho e Ratter 2002). Para este estudo, escolhemos quatro fitofisionomias do Cerrado: o cerrado ralo o qual segundo Ribeiro e Walter (1998) é caracterizado por uma cobertura arbórea esparsa (5 a 20%) e uma dominância do estrato herbáceo, o cerrado típico caracterizado por uma cobertura arbórea variando entre 30 a 50%, uma cobertura do estrato herbáceo de 50 a 60% e pouca serapilheira, o cerrado denso com uma cobertura arbórea de 50 a 70% e grande quantidade de serapilheira e, o cerradão que é uma formação florestal com dossel contínuo e solo coberto por serapilheira (Figura 1). Assim, essas quatro fitofisionomias representam um

gradiente de aumento de cobertura vegetal e serapilheira e decréscimo na cobertura de gramíneas.

O experimento foi feito em sete áreas com vegetações de cerrado ralo, cerrado típico, ou cerradão e seis áreas com vegetação de cerrado denso. Na Estação Ecológica do Panga, que apresenta uma variedade de tipos de vegetação do Cerrado (Cardoso *et al.* 2009), foram feitos transectos em todas as fitofisionomias (quatro no cerrado ralo, quatro no cerrado típico, cinco no cerrado denso e quatro no cerradão). Na Reserva do Patrimônio Particular Natural do Clube de Caça e Pesca Itororó foram feitos dois transectos no cerrado típico, principal fitofisionomia do local (Oliveira-Filho e Ratter 2002). No Parque Municipal Victório Siquierolli, o qual possui manchas de vegetação nativa, foram feitos dois transectos no cerradão. Na Fazenda Água Limpa, próximo à Uberlândia, foram feitos dois transectos no cerrado ralo. No Parque Estadual da Serra de Caldas Novas-GO (PESCAN), foi feito um transecto em cada uma das quatro fitofisionomias.

### ***Experimento de preferência***

No intuito de determinar a preferência das formigas por sal ou sacarose entre diferentes tipos de vegetação e entre diferentes estratos de forrageamento (solo ou copa das árvores), foram feitos transectos utilizando iscas nas quatro fitofisionomias escolhidas. Foram feitos um total de 27 transectos para cada estrato, sete no solo e sete na vegetação em cada fitofisionomia (exceto para o cerrado denso onde o número de transectos foi igual a seis). Nos transectos da vegetação a altura das árvores variou entre as fitofisionomias, sendo cerca de: 1,5- 2,5m no cerrado ralo; 2,0-3,5m no cerrado típico; 3,5-5,0 no cerrado denso e 6,0-8,5m no cerradão.

Em cada transecto foram colocados tubos Vacutainer de 4 ml parcialmente preenchidos com algodão umedecido com solução de sal ou sacarose. O açúcar foi

utilizado como uma medida padrão da atividade das formigas, de modo a comparar a preferência das formigas por iscas de sal em relação às iscas de sacarose, visto que o açúcar é um constituinte comum e abundante de importantes recursos alimentares para as formigas. Foram escolhidas diferentes concentrações, utilizadas em estudos anteriores, para cada solução: 1%; 5% e 10 % para sacarose e 0,1%; 0,5% e 1% para o sal (Kaspari *et al.* 2008, 2010). Aqui, espera-se que o sódio seja um nutriente limitante para as formigas que forrageiam na vegetação e não para as que forrageiam no solo, por isso é esperado que na vegetação as formigas preferissem soluções de sal com altas concentrações, enquanto no solo utilizem concentrações menores. Doze tubos de cada concentração foram colocados em sacos plásticos, misturados, abertos e expostos aleatoriamente ao longo do transecto no solo (Figura 2a), mantendo uma distância mínima de 2 m entre cada tubo. Simultaneamente, a mesma quantidade de tubos foi colocada na vegetação, presos com fita adesiva (Figura 2b). Em todos os transectos foi colocado apenas um tubo por árvore, exceto no cerradão, onde foram colocados três tubos por árvore (mantendo um espaçamento mínimo de 2m entre eles), já que nessa fisionomia as árvores são altas e de difícil acesso. Após duas horas todos os tubos foram retirados e levados ao Laboratório de Ecologia de Insetos Sociais (LEIS) na Universidade Federal de Uberlândia para contagem e identificação das formigas ao nível de gênero com o uso de uma chave dicotômica (Palacio e Fernández 2003).





**Figura 1:** Fotos de quatro áreas de estudo na Estação Ecológica do Panga: a) cerrado ralo, b) cerrado típico, c) cerrado denso e d) cerradão.



**Figura 2:** Tubos com algodão umedecido por solução de sal ou sacarose usados como iscas no solo (a) e na vegetação (b).

## **Experimento com colônias de *Cephalotes pusillus***

Este experimento foi conduzido de abril a agosto de 2013 na Reserva Ecológica do Panga que está situada 35 km ao sul do centro da cidade de Uberlândia, MG (19°10'S, 48°24'O) (CARDOSO *et al.* 2009). Para avaliar o efeito da suplementação de sal ou de açúcar e aminoácido sobre o desenvolvimento em campo de colônias de *C. pusillus*, foram coletados 40 ninhos em fase inicial de estabelecimento. *Cephalotes pusillus* Klug (Myrmicinae) é uma formiga polimórfica, com tamanho distinto entre operária (3-4 mm), soldado (5-6 mm) e rainha (9-11 mm) e é uma das espécies mais abundantes no cerrado (Del-Claro *et al.* 2002). Essas formigas se alimentam basicamente de néctar (74%), *honeydew* (17%), frutas caídas (2%), fezes de pássaros (2%), matéria animal morta (5%) e raramente de presas (Del-Claro e Oliveira 2000, Del-Claro *et al.* 2002, Davidson *et al.* 2003). Colônias de *C. pusillus* nidificam principalmente em cavidades naturais de árvores, em cavidades produzidas por coleópteros ou em caules e troncos mortos (Powell 2008).

Todos os ninhos usados no experimento foram encontrados em galhos secos de indivíduos jovens de *Caryocar brasilienses*, em uma área de cerrado sentido restrito na Reserva do Patrimônio Particular Natural do Clube de Caça e Pesca Itororó. Os ninhos foram abertos no campo e aqueles que tinham uma ou mais rainhas eram colocados em sacos plásticos e levados ao laboratório. No laboratório ninhos artificiais de madeira com cavidades de 10 cm de profundidade, largura de 10 mm e abertura de 4 mm (Powell *et al.* 2011) foram colocados dentro de vasilhas plásticas e os ninhos coletados em campo foram transferidos para os ninhos artificiais. As colônias foram alimentadas com água e dieta de proteína (Bhatkar e Whitcomb 1970) por uma semana. Depois, as mesmas foram manipuladas com a retirada de toda a prole (ovos, larvas e pupas) e foi estabelecido um mesmo número de indivíduos para todos os ninhos experimentais, cada

um deles contendo uma rainha, dois soldados e vinte operárias. Posteriormente os ninhos foram levados para o campo.

No campo, foram marcados 40 indivíduos jovens de *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), espécie abundante na área de estudo e no cerrado como um todo (Moreno 2009). O experimento começou em abril, período em que os nectários extraflorais de *Q. grandiflora* estavam inativos (Oliveira e Gibbs 2000). Os ninhos foram afixados em galhos com 1 a 1,5 m de comprimento (Figura 3a,b) e que não possuíam qualquer formiga residente. Na base de cada galho uma camada de Tanglefoot® foi colocada de modo a impedir o acesso de outras formigas para o galho e também para impedir que as formigas dos ninhos experimentais deixassem a planta.

As colônias de *C. pusillus* permaneceram durante quatro meses no campo, abrangendo um período de inatividade dos nectários extraflorais de *Q. grandiflora*. Durante o experimento as colônias receberam diferentes tratamentos. Dez ninhos receberam solução de sal a 1%, 10 receberam solução de sacarose (14%) e aminoácido (1%) (de forma a mimetizar o néctar produzido em nectários extraflorais; Blüthgen *et al.* 2004), 10 receberam tanto sal quanto sacarose e aminoácido, enquanto as 10 colônias restantes receberam apenas água como controle. Para isto foram afixados ao lado de cada ninho coletores universais (com aberturas de 2 mm nas laterais) dentro dos quais foi colocado pedaços de algodão saturados com uma das soluções acima (Figura 3a). Semanalmente o líquido de cada tratamento era trocado e eram feitas anotações sobre a atividade de forrageio das formigas (se elas estavam visitando ou não as iscas). Após os quatro meses do início do experimento, os ninhos foram retirados, abertos e foi observada a presença da rainha e contados o número de operárias, soldados, pupas, larvas e ovos (Figura 3c).





**Figura 3:** Vista geral do experimento mostrando o coletor universal com algodão umedecido pelas soluções de sacarose e aminoácido, sal, ou água (a) e o ninho artificial (b) fixado em um galho de *Qualea grandiflora*. A figura 3c mostra uma rainha e algumas operárias retiradas do ninho para contagem.

### **Análises estatísticas:**

Para determinar a influência do tipo de fitofisionomia sobre a preferência pelas comunidades de formigas arbóreas e do solo por iscas de sal ou sacarose, calculou-se a proporção de cada tipo de isca que continham formigas independentemente da sua concentração. Os dados foram analisados através de uma ANOVA para medidas repetidas, na qual os fatores fixos eram o estrato e a fisionomia, e o tipo de isca (sal ou sacarose) a medida repetida. Para avaliar se a preferência das formigas pelas iscas varia de acordo com a concentração e se esta preferência depende do estrato ou fitofisionomia foi calculada a proporção de iscas que continham formigas em cada concentração. Foi feita uma análise de variância (ANOVA) para cada tipo de isca (sal e sacarose), considerando as concentrações como uma variável categórica (com três níveis). Todos os dados foram transformados através da transformação Logit das proporções(p), usando a seguinte fórmula  $\log(p/[1 - p])$  (Warton e Francis 2011).

Para determinar se a preferência por iscas de sal e sacarose depende do gênero da formiga, foram quantificadas quantas vezes cada gênero esteve presente nas iscas de sal e de sacarose nos transectos do solo e da vegetação de todas as fitofisionomias. Foi utilizado um teste não paramétrico (o Teste Binomial) para análise desses dados.

Para avaliar o efeito da oferta de sal e da oferta de açúcar e aminoácido sobre o desenvolvimento das colônias de *C. pusillus* foi feita uma ANOVA fatorial utilizando como medida do desenvolvimento da colônia o número total de ovos, larvas e pupas produzidos por colônia. Os dados do total de ovos, larvas e pupas produzidos foram transformados em Rank (Conover e Ronald 1981) antes da análise de modo a atender as premissas do teste. Foi avaliado também se houve diferença no número de operárias e soldados que sobreviveram desde o início do experimento nos tratamentos através de uma ANOVA fatorial. Três dos 40 ninhos inicialmente utilizados para este experimento

foram excluídos das análises, um deles por ter sido invadido por formigas do gênero *Camponotus* e outros dois que se encontravam totalmente vazios ao final do experimento e que supostamente foram capazes de migrar para outra parte da planta.

O Teste Binomial foi feito utilizando o software R 3.0 (R Development Core Team 2013). As demais análises estatísticas foram feitas com o uso do programa Systat versão 10 (SPSS, 2000).

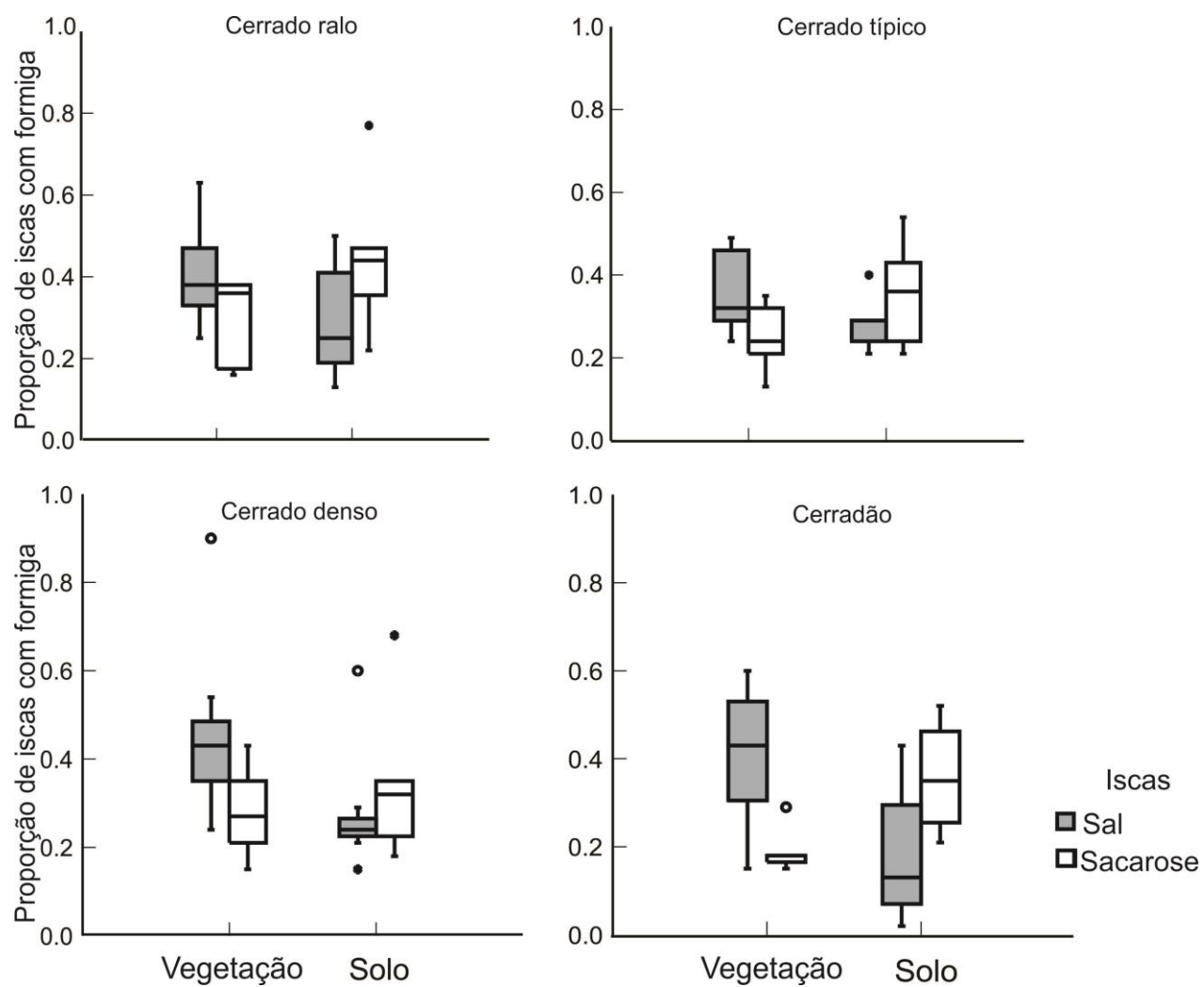
## RESULTADOS

### Preferência de iscas em comunidades de formigas de solo e de vegetação

Não foi encontrada diferença significativa na quantidade de iscas visitadas pelas formigas entre as iscas de sal ou sacarose. De forma geral também não houve diferença na quantidade de iscas visitadas entre os estratos; porém houve diferenças entre as fitofisionomias (Tabela 1). No cerrado ralo e no cerrado denso foram encontrados os maiores e menores números de iscas visitadas, respectivamente. Foi encontrada uma interação significativa entre o estrato e o tipo de isca (Tabela 1, Figura 4). A preferência das formigas por iscas de sal foi maior na vegetação, enquanto no solo a preferência foi maior para as iscas de sacarose. Não houve interação entre o tipo de isca e a fitofisionomia, e nem entre o tipo de isca, a fitofisionomia e o estrato (Tabela 1, Figura 4).

**Tabela 1.** Resultado da Anova para Medidas Repetidas avaliando o efeito do estrato de forrageamento e da fitofisionomia sobre a proporção de iscas de sal ou sacarose visitadas por formigas.

<b>Efeito</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Fitofisionomia	3	0,302	3.635	0,02
Estrato	1	0,06	0,72	0,4
Fitofisionomia x Estrato	3	0,072	0,87	0,463
Erro	46	0,792		
Tipo de isca	1	0,023	0,22	0,641
Isca x Fitofisionomia	3	0,154	0,488	0,692
Isca x Estrato	1	2.450	23.286	< 0,001
Isca x Estrato x Fitofisionomia	3	0,412	1.304	0,284
Erro	46	0,944		



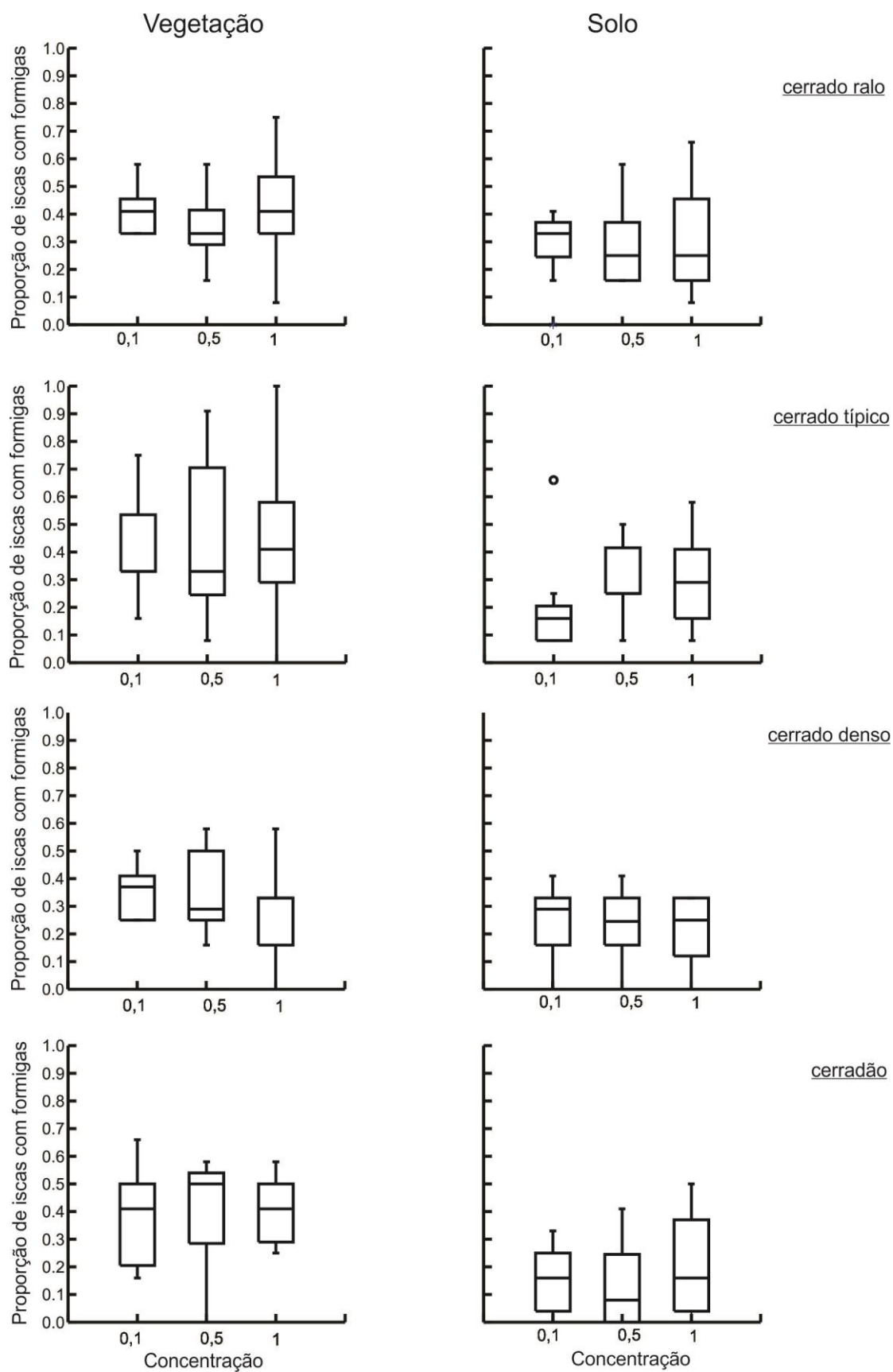
**Figura 4:** Proporção de iscas de sal ou sacarose visitadas por formigas no solo ou na vegetação arbórea de quatro fitofisionomias do Cerrado (cerrado ralo, cerrado típico, cerrado denso e cerradão).



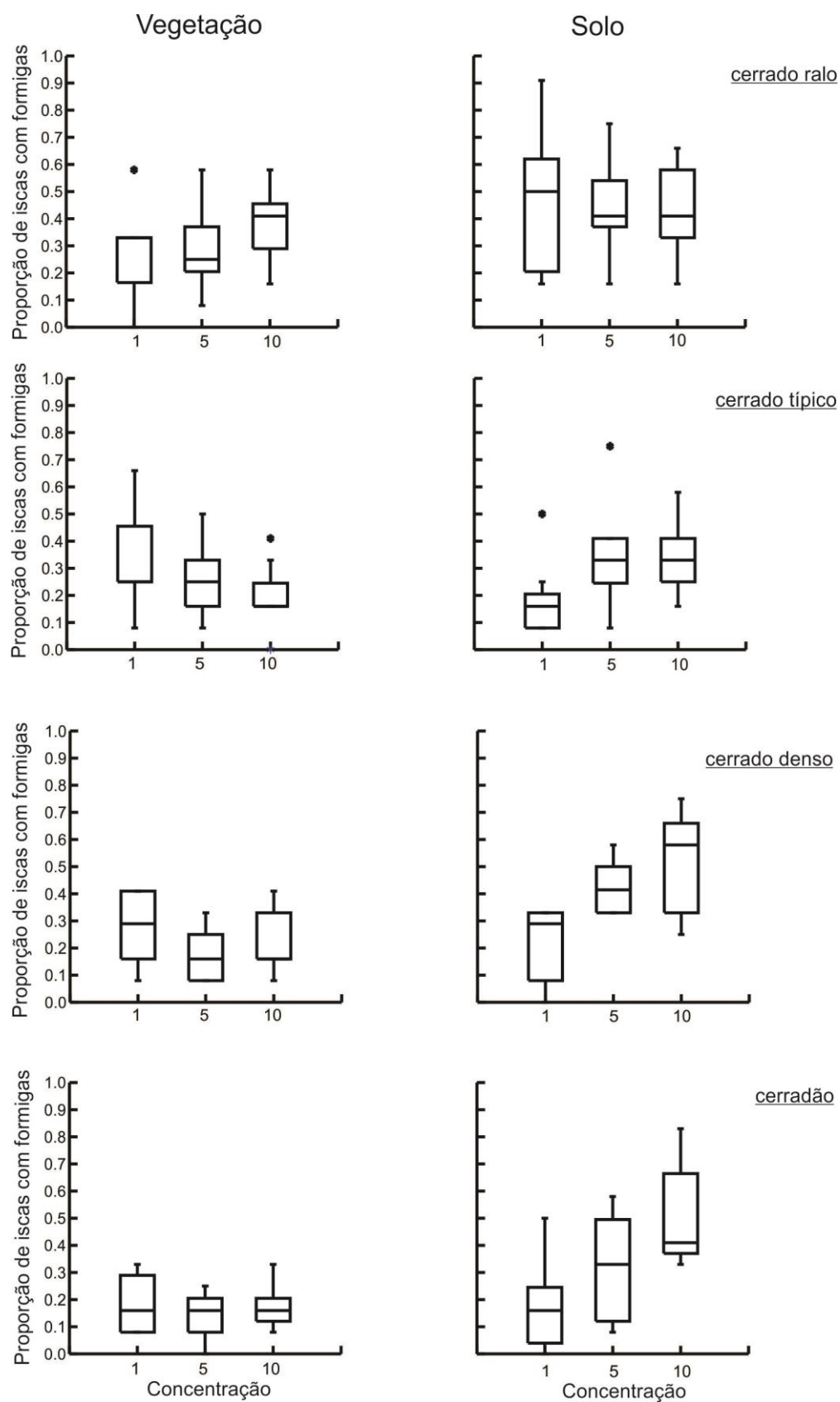
A proporção de iscas de sal visitadas não variou significativamente entre as diferentes concentrações. Também não houve interação entre a concentração e o estrato ou fitofisionomia (Tabela 2, Figura 5). Já para as iscas de sacarose, a concentração teve um efeito, porém este efeito foi dependente do estrato, sendo que no solo a proporção de iscas visitadas foi maior para iscas com concentrações maiores de açúcar (5% e 10%), enquanto na vegetação não houve diferenças entre as concentrações (Tabela 2, Figura 6).

**Tabela 2.** Resultados da ANOVA que avaliou o efeito da concentração das iscas de sal e sacarose sobre a taxa de visitação por formigas.

<b>Efeito</b>	<b>gl</b>	<b>SQ</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<u>Sal</u>				
Concentração	2	0,017	0,059	0,942
Estrato	1	3.467	24.579	<0,001
Fitofisionomia	3	0,325	2.302	0,08
Concentração x Estrato	2	0,055	0,193	0,824
Concentração x Fitofisionomia	6	0	0	0,91
Concentração x Estrato x Fitofisionomia	6	0,092	0	0,995
Erro	138	19,456		
<u>Sacarose</u>				
Concentração	2	0,743	3.641	0,029
Estrato	1	1.901	18.623	<0,001
Fitofisionomia	3	0,451	4.416	0,005
Concentração x Estrato	2	1.340	6.561	0,002
Concentração x Fitofisionomia	6	0	1	0,699
Concentração x Estrato x Fitofisionomia	6	1.228	2.004	0,069
Erro	138	14		



**Figura 5:** Proporção de iscas com formigas em iscas com diferentes concentrações de sal (0.1%, 0.5% e 1%) na vegetação e no solo em quatro fitofisionomias do Cerrado (cerrado ralo, cerrado típico, cerrado denso e cerradão).



**Figura 6:** Proporção de iscas com formigas em iscas com diferentes concentrações de sacarose (1%, 5% e 10%) na vegetação e no solo em quatro fitofisionomias do Cerrado (cerrado ralo, cerrado típico, cerrado denso e cerradão).

### Preferência por iscas de sal e de sacarose entre os gêneros de formigas

Das 4.704 iscas colocadas nos transectos, cerca de 30% foram visitadas por formigas. Nós coletamos um total de 9.111 formigas nas iscas, das quais a maioria das formigas foi coletada nas iscas de sal (83%). Nas iscas foram encontrados formigas de 15 gêneros, pertencentes a seis subfamílias (Tabela 3).

Os gêneros de formigas que apresentaram uma preferência significativa para as iscas de sal foram *Azteca*, *Camponotus* e *Cephalotes*. Os gêneros que preferiram iscas de sacarose foram *Pheidole*, *Ectatomma*, *Pachycondyla* e *Nylanderia*. Já *Atta*, *Brachymyrmex*, *Crematogaster*, *Solenopsis*, *Pseudomyrmex*, *Dorymyrmex*, *Linepithema* e *Wasmannia* não mostraram uma preferência significativa por nenhum tipo de isca (Tabela 3).

**Tabela 3.** Número total de iscas de sal ou de sacarose visitadas por formigas de diferentes gêneros.

Subfamília	Gênero	Total de iscas com formigas		P
		sal	sacarose	
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Azteca</i>	<u>53</u>	18	<i>0,01</i>
	<i>Dorymyrmex</i>	3	4	1
	<i>Linepithema</i>	5	4	1
<b>Ectatomminae</b>	<i>Ectatomma</i>	2	<u>22</u>	<i>0,011</i>
<b>Formicinae</b>	<i>Brachymyrmex</i>	16	9	0,229
	<i>Camponotus</i>	<u>285</u>	118	<i>0,011</i>
	<i>Nylanderia</i>	1	<u>9</u>	<i>0,021</i>
<b>Myrmicinae</b>	<i>Atta</i>	5	1	0,218
	<i>Cephalotes</i>	<u>79</u>	44	<i>0,002</i>
	<i>Crematogaster</i>	40	28	0,182
	<i>Pheidole</i>	60	<u>235</u>	<i>0,011</i>
	<i>Solenopsis</i>	54	54	1
	<i>Wasmannia</i>	4	10	0,179
<b>Pseudomyrmecinae</b>	<i>Pseudomyrmex</i>	28	34	0,52
<b>Ponerinae</b>	<i>Pachycondyla</i>	0	<u>6</u>	<i>0,031</i>

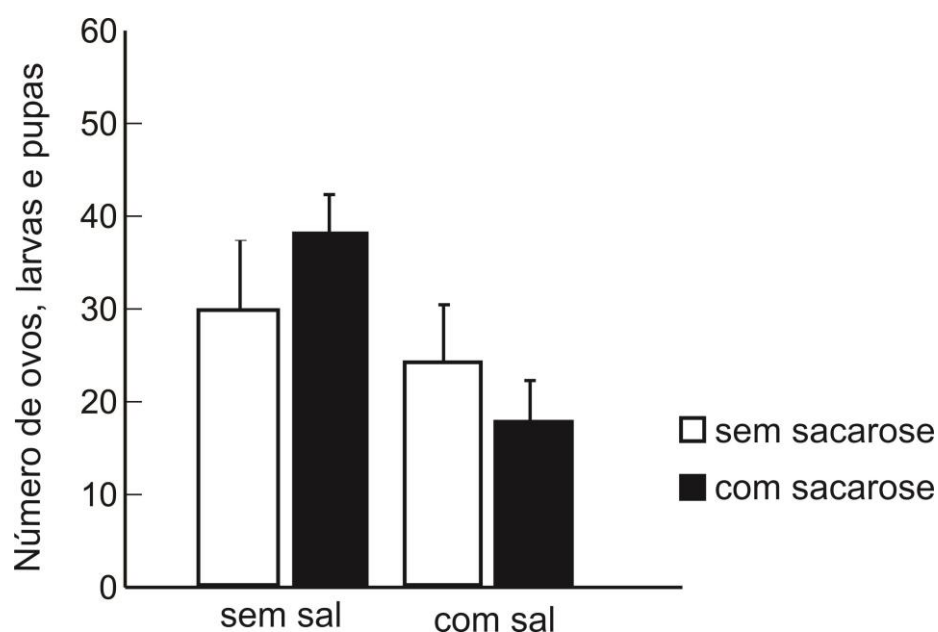
Valores em itálico foram significativos ( $p < 0,05$ ).

### Experimento de suplementação alimentar

A suplementação de sacarose e aminoácido não teve um efeito significativo sobre o desenvolvimento das colônias de *C. pusillus*. Já as colônias que receberam sal produziram menos ovos, larvas e pupas do que as que não receberam sal (Tabela 5, Figura 7).

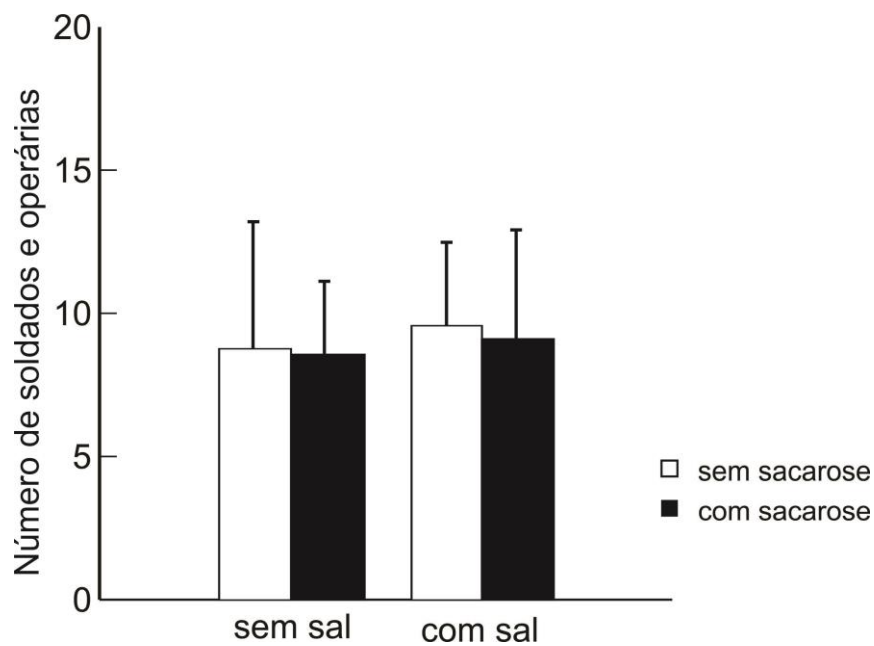
**Tabela 5.** Resultados da Anova Fatorial sobre o efeito da suplementação de sal ou de açúcar e aminoácido sobre o desenvolvimento das colônias de *C. pusillus*.

Tratamento	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Sal	1	887.528	9.210	0,005
Sacarose e aminoácido	1	0,064	0,001	0,98
Sal x Sacarose e aminoácido	1	122.229	1.268	0,268
Erro	33	3180		



**Figura 7:** Total de ovos, larvas e pupas produzido por colônias de *C. pusillus* que receberam em campo uma suplementação de sal ou sacarose e aminoácido durante quatro meses.

O número de soldados e operárias presentes nos ninhos no fim do experimento não diferiu entre os tratamentos ( $F_{3, 38} = 0,221$ ;  $P = 0,881$ ) (Figura 8). Todas as rainhas das colônias estavam vivas, exceto uma rainha em um ninho no tratamento com sal mais açúcar e uma rainha em um ninho no tratamento com água.



**Figura 8.** Número médio de soldados e operárias de *C. pusillus* que receberam em campo uma suplementação de sal ou sacarose e aminoácido durante quatro meses.

## DISCUSSÃO

As comunidades de formigas de todas as fitofisionomias do Cerrado estudadas preferiram iscas de sal na vegetação e iscas de sacarose no solo. A preferência das formigas por iscas de sal na vegetação possivelmente está associada à grande oferta de carboidrato nesse estrato. Embora plantas com NEF's sejam comuns em todos os ambientes tropicais, sua abundância é especialmente alta no cerrado em relação a outros ecossistemas (Rico-Gray e Oliveira 2007). Entre os principais recursos alimentares disponíveis para as formigas em plantas do cerrado estão excreções açucaradas de hemípteros sugadores do floema das plantas (*honeydew*), secreções produzidas por larvas de lepidópteros e o néctar presente nos nectários extraflorais (NEF's) (Oliveira e Freitas 2004). Já no solo, a preferência por iscas de sacarose pelas formigas pode ser devido a maior disponibilidade de sódio nesse estrato. O solo e principalmente a serapilheira abrigam uma significativa microfauna de artrópodes que serve de alimento para vários táxons predadores contribuindo com uma dieta rica em sódio para as formigas que ali forrageiam (McBrayer 1997, Kaspari *et al.* 2009, Jacquemin *et al.* 2012).

Os padrões no recrutamento das formigas sugerem uma limitação por sódio na vegetação, no entanto, diferente do esperado as formigas utilizaram de forma similar as diferentes concentrações das iscas de sal em todos os estratos e fitofisionomias. Na vegetação onde há uma maior deficiência de sódio, esperávamos que as formigas utilizassem de forma preferencial as iscas com maiores concentrações de sal. Porém, ainda que não tenha havido diferenças entre as concentrações, de forma geral o uso de iscas de sal foi significativamente maior que o uso iscas de sacarose nesse estrato e, o que sugere ser este um elemento limitante para as formigas. Já a preferência por sacarose foi dependente da concentração. Na vegetação, onde provavelmente há uma

maior disponibilidade de açúcar, as formigas recrutaram para os três tipos de concentrações igualmente. Em contraste, no solo, as comunidades de formigas preferiram iscas com concentrações maiores de sacarose do que as com baixas concentrações. Kaspari *et al.* (2008) sugere que as formigas utilizaram altas concentrações de iscas de sacarose em locais com ausência de limitação por sódio e nesse sentido os resultados obtidos aqui dão apoio a esta hipótese. Embora não tenha sido encontrada uma interação entre concentração, estrato e fitofisionomia pode se observar (Figura 5) que a procura por concentrações maiores de açúcar tendeu a ser pronunciada no solo das fitofisionomias florestais, resultado este que sugere que a oferta de açúcar é menor neste habitat do que nos demais habitats amostrados.

Apesar da diferença na disponibilidade de sódio e açúcar entre o solo e a copa das árvores provavelmente ser maior em fitofisionomias florestais do que nas fitofisionomias savânicas mais abertas, os padrões de preferência aqui observados foram bastante similares. Nas fitofisionomias savânicas, caracterizadas por árvores mais baixas e abundante vegetação rasteira, a fauna de formigas que forrageia na vegetação é tipicamente arbórea, já que as formigas do solo que eventualmente sobem na vegetação para forragear o fazem de forma oportunista (Oliveira e Brandão 1991). Isto sugere que a preferência por sacarose no solo e sal na vegetação está associada principalmente às diferenças na composição das comunidades de formigas de cada hábitat e de seus hábitos alimentares

De fato, a preferência das formigas por iscas de sal ou sacarose variou entre os gêneros mais frequentemente encontrados nas iscas. Enquanto alguns gêneros preferiram ou iscas de sal ou de sacarose, outros não apresentaram preferência por nenhum tipo de isca. Gêneros de uma mesma subfamília muitas vezes apresentaram preferências distintas, enquanto gêneros menos aparentados, de diferentes subfamílias,



mostraram o mesmo padrão de preferência. Isto sugere que a preferência de cada gênero por um dado tipo de isca é possivelmente resultado de uma convergência evolutiva e não determinada por uma ancestralidade comum, e esta convergência está associada aos hábitos alimentares. Foi sugerido que os herbívoros são mais limitados por sódio do que os carnívoros (Kaspari *et al.*, 2008), uma vez que os herbívoros necessitam de uma maior quantidade de sódio do que eles encontram nas plantas que consomem (Arms *et al.* 1974). Entre as formigas, espécies que possuem uma dieta fortemente dependente de néctar (Blüthgen *et al.* 2003, Bihn *et al.* 2008) são consideradas, funcionalmente, como herbívoras.

Os resultados obtidos aqui mostram que gêneros com espécies que têm como principal fonte de alimento exsudados açucarados e hábito predominantemente arbóreo, como *Azteca* e *Cephalotes* (Brown 2000), preferiram iscas de sal. De forma similar, o gênero *Camponotus* também teve preferência por iscas de sal. Apesar de possuir espécies oportunistas de solo e de vegetação, *Camponotus* é um gênero caracterizado por uma dieta baseada em néctar e outros exsudados (Silvestre *et al.* 2003, Davidson *et al.* 2003, Davidson *et al.* 2005). Para as iscas de sacarose a preferência foi maior entre os gêneros de hábito epigéico, como *Ectatomma*, *Pachycondyla*, *Pheidole* e *Nylanderia*, as quais são principalmente predadoras de outros artrópodes e necrófagas (Silvestre *et al.* 2003, Davidson *et al.* 2003, Davidson *et al.* 2005). Muitas espécies de *Pheidole* são predadoras de sementes e de ovos e larvas de insetos (Way e Khoo 1992, Carrol e Janzen 1973), enquanto que a maioria das espécies do gênero *Nylanderia* tem hábitos alimentares generalistas (Lapolla *et al.* 2011).

Alguns gêneros não mostraram um padrão de preferência. As formigas cortadeiras do gênero *Atta* não apresentaram preferência significativa por nenhuma isca, embora outros trabalhos tenham encontrado que a espécie *Atta cephalotes* foi menos

atraída por iscas de sal do que por iscas de sacarose (O'Donnel *et al.* 2010, Chavarria Pizarro *et al.* 2012). No entanto, as variações dos hábitos alimentares dentro dos gêneros podem ter influenciado a não preferência de alguns grupos. *Pseudomyrmex*, por exemplo, recrutou de forma similar tanto para iscas de sal quanto para iscas de sacarose, embora seja um gênero arborícola e de acordo com Davidson *et al.* (2003, 2005) possuir dieta baseada em exsudados, também contêm espécies que são predominantemente predadoras (Kaspari *et al.* 2012). Já outros gêneros que não tiveram preferências como *Atta*, *Dorymyrmex* e *Linepithema* ocorreram de forma muito esporádica nas iscas e, portanto, nosso poder de inferência para estes gêneros é baixo.

No experimento com colônias de *C. pusillus*, a suplementação com açúcar e aminoácido não resultou em aumento no crescimento das colônias. A dieta de *C. pusillus* na natureza é baseada no néctar de nectários extraflorais (Del-Claro *et al.* 2002) sendo este uma importante fonte de açúcar, água e aminoácido (Bluthgen *et al.* 2004, González-Teuber e Heil 2009) e parece ter um efeito positivo sobre o desenvolvimento das colônias, ao menos em condições de laboratório (Byk e Del-Claro 2011). Embora no presente estudo o tratamento com açúcar e aminoácido tenha mimetizado o néctar produzido pelos nectários extraflorais, esta suplementação não teve um impacto positivo nas taxas de crescimento das colônias em condições naturais. Talvez a duração deste experimento não tenha sido o suficiente para mostrar um efeito significativo da suplementação de açúcar e aminoácido no crescimento das colônias. Já para a suplementação de sal, o tempo do experimento foi o suficiente para mostrar um efeito inibidor do sal no desenvolvimento das colônias.

Alguns trabalhos têm documentado diferentes efeitos da ingestão de sódio sobre a reprodução de insetos herbívoros. Para a espécie de borboleta *Thymelicus lineola*, sódio adicional em suas dietas proporcionou maior sobrevivência dos ovos e larvas

(Pivnick e McNeil, 1987), já para *Bicyclus anynana* uma dieta de sódio não teve efeito na produção de ovos e na fertilidade dessa espécie (Molleman *et al.* 2004). Em besouros o fornecimento de sódio extra, levou a uma redução na produção de ovos (Stamp e Harmon 1991). Neste estudo, as colônias de formigas que receberam sal produziram menor número de ovos, larvas e pupas do que as que não receberam, ainda que as rainhas de praticamente todas as colônias mantiveram-se vivas até o final do experimento e que o número de operárias e soldados não tenha diferido entre os tratamentos.

De modo geral, em insetos sociais, as colônias precisam ajustar suas estratégias de forrageamento para atender a demanda total de nutrientes dentro do ninho, visto que as necessidades nutricionais são diferentes entre os membros das colônias (Dussutour e Simpson 2008). Em um trabalho com colônias de *Solenopsis invicta* diferentes concentrações de sódio não resultaram em diferenças nas taxas de crescimento das colônias da espécie (Resasco *et al.* 2013). Já para *Camponotus mirabilis*, altas concentrações de sal provocaram taxas de mortalidade elevadas nas operárias, mas não tiveram efeito sobre a sobrevivência das larvas e pupas. Eles sugerem que as formigas operárias em seu experimento não conseguiram regular a entrada de sal devido à ausência da rainha ou pelo status reprodutivo da colônia, uma vez que utilizaram fragmentos de colônias já estabelecidas e que talvez as operárias possam ter coletado grandes quantidades de sal esperando fornecê-lo aos outros membros da colônia quando retornassem ao ninho (Hernandez *et al.* 2012).

Aqui, os soldados e operárias parecem ter conseguido ingerir quantidades adequadas de sal para suprir suas necessidades nutricionais, talvez por termos coletado colônias em estágio inicial de estabelecimento ou pela própria presença da rainha e posteriormente a prole melhoraram a capacidade das operárias de regular a ingestão de

sódio, assim como no trabalho de Dussutour e Simpson (2009) em que na presença da prole, as formigas regularam melhor a ingestão de carboidratos. No entanto, para a produção de ovos, larvas e pupas esta regulação parece não ter ocorrido. O que talvez tenha inibido o desenvolvimento das colônias de *C. pusillus* tenha sido a concentração de sódio utilizado no experimento, já que essa quantidade de sal não é comumente encontrada na natureza, ou devido ao cloreto do NaCl e não ao sódio, que pode ser tóxico para as formigas (Hernandez *et al.* 2012). Infelizmente, não há estudos fisiológicos que expliquem como a ingestão de sódio adicional afetaria o fitness de formigas ou mesmo de outros insetos (Moleman 2010).

Embora a preferência do gênero *Cephalotes* por iscas de sal no primeiro experimento sugere que este tem uma deficiência por sódio em suas dietas, no experimento com colônias de *C. pusillus* a suplementação de sal teve um efeito negativo em seu desenvolvimento. Possivelmente quando esse nutriente está disponível em longo prazo e em grandes quantidades, gêneros com uma dieta pobre em sódio como *Cephalotes* e *Camponotus* parecem não conseguir adequar a quantidade de sal ingerido de acordo com suas necessidades (Hernandez *et al.* 2012). Já gêneros que têm sódio presente em suas dietas, como o gênero predador *Solenopsis* (Davidson *et al.* 2005), talvez tenha esse nutriente em equilíbrio, fazendo com que uma suplementação de sódio não resultasse em diferenças significativas no crescimento de colônias de *S. invicta* (Resasco *et al.* 2013). Os resultados deste trabalho evidenciam diferentes atuações do sódio para uma espécie de formiga comum no cerrado e adicionam respostas de como o sódio pode influenciar no desenvolvimento das colônias de formigas em condições naturais, mostrando a importância de mais estudos com outras espécies que venham a esclarecer em quais proporções e sob quais condições esse nutriente pode trazer benefícios para as formigas.

## CONCLUSÃO

Este trabalho é o primeiro a abordar a limitação por sódio em comunidades de formigas no cerrado e vem evidenciar que as formigas são mais limitadas por sódio na vegetação do que no solo, e que este padrão se repete em fitofisionomias contrastantes. Os resultados sugerem também que a limitação por sal ocorre em gêneros filogeneticamente distantes e que esta limitação é mais frequente em gêneros cuja dieta é baseada principalmente em exsudados vegetais. Além disso, o experimento com as colônias no campo nos mostrou que o sódio, apesar de ser um elemento aparentemente limitante para alguns gêneros, quando disponível e consumido em excesso, pode inibir o desenvolvimento da colônia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arms, K., Feeny, P., Lederhouse, R. C. 1974. Sodium: stimulus for puddling behavior by Tiger Swallowtail butterflies, *Papilio glaucus*. *Science* **185**, 372-374.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L. 1996. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell, Oxford, UK. 738p.
- Belovsky, G. E. & Jordan, P. A. 1981 Sodium dynamics and adaptations of a moose population. *J. Mammal.* **62**, 613–621
- Bhatkar, A. & Whitcomb, H. W. 1970. Artificial diet for rearing various species of ants. *Florida Entomological Society* **53**, 229-232.
- Bihn, H. J., Verhaagh, M., Brandl, R. 2008. Ecological stoichiometry along a gradient of forest succession: Bait preferences of litter ants. *Biotropica*. **40**, 597-599.
- Blüthgen, N., Gebauer, G. & Fiedler, K. 2003. Disentangling a rainforest food web using stable isotopes: dietary diversity in a species-rich ant community. *Oecologia* **137**:426-435.
- Blüthgen, N., Gebauer, G., Fiedler, K. 2004. Sugar and amino acid composition of ant-attended nectar and honeydew sources from an Australian rainforest. *Austral. Ecology* **29**, 418-429.
- Brown, W.L. 2000. Diversity of ants. pp.45-79. In Agosti, D., Majer, J.D., Alonso L.E. & T.R. Schultz (Editors) *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. The Smithsonian Institution Press, Washington D.C., USA. 280 pp.
- Byk, J. & Del-Claro, K. 2011. Ant-plant interaction in the Neotropical savanna: direct beneficial effects of extrafloral nectar on ant colony fitness. *Population Ecology* **53**, 327-332.
- Cardoso, E., Moreno, M.I.C., Bruna, E.M., Vasconcelos, H.L. 2009. Mudanças fitofisionômicas no Cerrado: 18 anos de sucessão ecológica na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia - MG. *Caminhos de Geografia* **10**, 254–268.
- Carroll, C. R. & D. H. Janzen. 1973. Ecology of Foraging by Ants. *Annual Review of Ecology and Systematics* **4**, 231-257.
- Chavarria Pizarro, L., McCreery, H. F., Lawson, S. P., Winston, M. E., O'Donnell, S. 2012 Sodium-specific foraging by leafcutter ant workers (*Atta cephalotes*, Hymenoptera: Formicidae). *Ecological Entomology*, **37**, 435–438.
- community of Central Brazil. *Flora* **195**, 311-329.
- Conover, W.J. & Iman, L. R. 1981. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The American Statistician* **35**, 124- 128.
- Davidson, D. W. 1997. The role of resources imbalances in the evolutionary ecology of tropical arboreal ants. *Biological Journal of the Linnean Society*. **61**, 153-181.

- Davidson, D. W. 2005. Ecological stoichiometry of ants in a New World rain forest. *Oecologia* **142**, 221-231.
- Davidson, D. W., Cook, S. C., Snelling, R. R., Chua, T. H. 2003. Explaining the abundance of ants in lowland tropical rainforest canopies. *Science* **300**, 969-72.
- Del-Claro, K. & Oliveira, P. S. 2000. Conditional outcomes in a neotropical treehopper-ant association: temporal and species-specific variation in ant protection and homopteran fecundity. *Oecologia* **124**, 156-165.
- Del-Claro, K., Santos, J. C., Junior, A. D. S. 2002. Etograma da formiga arborícola *Cephalotes pusillus* (Klug, 1824) (Formicidae: Myrmicinae). *Rev Etol* **4**, 31-40.
- Denton, D. A. 1984. The hunger for salt: an anthropological, physiological and medical analysis. New York, NY: Springer.
- Dudley, R., Kaspari, M., Yanoviak, S. P. 2012. Lust for salt in the Western Amazon. *Biotropica* **44**, 6-9.
- Dussutour, A. & Simpson, S. J. 2008. Carbohydrate regulation in relation to colony growth in ants. *The Journal of Experimental Biology* **211**, 2224-2232.
- Embrapa. 1982. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Boletim Técnico no 1, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos, Rio de Janeiro
- Frausto da Silva, J. J. R. & Williams, R. J. P. 2001. *The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life*. Oxford University Press, Oxford.
- González-Teuber, M., Heil, M. 2009. Nectar chemistry is tailored for both attraction of mutualists and protection from exploiters. *Plant Sign Behav* **4**, 809-813
- Hernández, A. L. M., Todd, E. V., Miller, G. A., Frederickson, M. E. 2012. Salt intake in Amazonian ants: too much of a good thing? *Insectes Sociaux* **59**, 425-432.
- Jacquemin, J., Maraun, M., Roisin, Y., Leponde, M. 2012. Differential response of ants to nutrient addition in a tropical brown food web. *Soil Biology & Biochemistry* **46**, 10-17.
- Kaspari, M. 2012. Stoichiometry. *Metabolic Ecology: A Scaling Approach*, 34-47.
- Kaspari, M. & S. P. Yanoviak. 2001. Bait use in tropical litter and canopy ants: evidence of differences in nutrient limitation. *Biotropica* **33**, 207- 211.
- Kaspari, M., Chang, C., Weaver, J. 2010. Salted roads and sodium limitation in a northern forest ant community. *Ecological Entomology* **35**, 543-548.

- Kaspari, M., Donoso, D., Lucas, J. A., Zumbusch, T., Kay, A. D. 2012. Using nutritional predict community structure: a field test in Neotropical ants. *Ecosphere* **11**, 1-15.
- Kaspari, M., Yanoviak, P. S., Dudley, R., Yuan, M., Clay. A. N. 2009. Sodium shortage as a constraint on the carbono cycle in na inland tropical rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **106**, 19405-19409.
- Kaspari, M., Yanoviak, S. P., Dudley, R. 2008. On the biogeography of salt limitation: a study of ant communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**, 17848–51.
- Lapolla, J. S., Brady, S. G., Shattuck, O. S. 2011. Monograph of *Nylanderia* (Hymenoptera: Formicidae) of the World: An introduction to the systematics and biology of the genus. *Zootaxa* **3110**, 1-9.
- Laurian, C., Dussault, C., Ouellet, J. P., Courtois, R., Poulin, M., Breton, L. 2008. Behavioral adaptations of moose to roadside salt pools. *Journal Wildl. Manage.* **72**, 1094-1100.
- Lima, T.A., Pinto, J.R.R., Lenza, E., Pinto, A.S. 2010. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em uma área de cerrado rupestre no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. *Biota Neotrop.* **10**, 159-166.
- Loladze, I. & Kuang, Y. 2000. Stoichiometry in Producer–Grazer Systems: Linking Energy Flow with Element Cycling. *Bulletin of Mathematical Biology*, **62**, 1137–1162.
- Lotka, A.J. *Elements of physical Biology*. 1925. Williams & Ilhins company, Baltimore.
- Magnago, H., Silva, M. T. M., Fonzar, B. C. 1983. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos: estudo fitogeográfico. In: *Radambrasil*. Levantamento de recursos naturais: Folha SE.22, Goiânia. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. 577-636.
- McBrayer, J. F., Ferris, J. M., Gist, C. S., Cornaby, B. W., Kitazawa, Y., Wernz, J. G., Krantz, G. W., Jenzen, H. 1977. Decomposer invertebrate populations in U. S. forest biomes. *Pedobiology* **17**, 89-96.
- Molleman, F. 2010. Puddling: from natural history to understanding how it affects fitness. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **134**, 107–113.
- Molleman F, Zwaan, B. J. & Brakefield, P. M. 2004. The effect of male sodium diet and mating history on female reproduction in the puddling squinting bush brown *Bicyclus anynana* (Lepidoptera). *Behavioral Ecology and Sociobiology* **56**, 404–411.
- Molleman, F., Grunsven R. H. A., Liefting M., Zwaan B. J., Brakefield, P. M. 2005. Is male puddling behaviour of tropical butterflies targeted at sodium for nuptial gifts or activity? *Biol. J. Linn. Soc.* **86**, 345-361.



- Moreno, M. I. C. 2005. Estado nutricional de espécies lenhosas e disponibilidade de nutrientes no solo e na serapilheira em diferentes fitofisionomias do cerrado na região do triângulo mineiro. *Master Thesis*. Universidade de Brasília, Brasília.
- Novaes, A.S.S., Amaral-filho, Z.P., Vieira, P.C., Fraga, A.G.C. 1983. Pedologia. In: Projeto *Radambrasil*: Levantamento de Recursos Naturais, Folha SE. 22, Goiânia. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. 413-576.
- O'Donnell, S., García-C, J. M., Beard, J., Chiwocha, T., Lewis, D., Liu, C., Phillips, H., Williams, T. 2010. Leaf cutter ants (*Atta cephalotes*) harvest baits offering sodium chloride rewards. *Insectes Sociaux* **57**, 205-208.
- Oliveira, P.E. & P.E. Gibbs. 2000. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of Central Brazil. *Flora* **195**, 311-329.
- Oliveira, P.S. & A.V.L Freitas. 2004. Ant-plant-herbivore interactions in the neotropical cerrado savanna. *Naturwissenschaften*. **91**, 557-570.
- Oliveira, P.S. e Brandão, C.R.F. 1991. The ant community associated with extrafloral nectaries in Brazilian cerrados. In: *Ant-Plant Interactions*. Cutler, D.F. & Huxley, C.R. (editors). Oxford University Press, Oxford. pp. 198-212.
- Oliveira-Filho, A. T. & Ratter, J. A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. (P.S. Oliveira; R.J. Marquis, eds.) ColumbiaUniversity Press, NewYork. p. 91-120.
- Palacio, E. E. & Fernández, F. 2003. Clave para las subfamilias y géneros. In Fernández, F. (ed.) *Introducción a las hormigas de La región Neotropical*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. p. 233-260.
- Pivnick, K. A. & McNeil, J. N. 1987. Puddling in butterflies: sodium affects reproductive success in *Thymelicus lineola*. *Physiological Entomology* **12**, 461-472.
- Powell, S. 2008. Ecological specialization and the evolution of a specialized caste in *Cephalotes* ants. *Functional Ecology* **22**, 902-911.
- Powell, S., Costa, A. N., Lopes, C. T., Vasconcelos, H. L. 2011. Canopy connectivity and the availability of diverse nesting resources affect species coexistence in arboreal ants. *The Journal of animal ecology* **80**, 352-60.
- R Development Core Team 2013. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, <http://www.r-project.org>. Acessado em 15 de novembro de 2013.
- Reiners, A. W. 1986. Complementary models for ecosystems. *The American Naturalist*. **127**, 59-73.

- Resasco, J., Porter, S. D., Sanders, N. J., Levey, D. J. 2013. Assessing the effects of sodium on fire ant foraging in the field and colony growth in the laboratory. *Ecological Entomology* 1-5.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T. 1998. Fitofisionomias do bioma cerrado. In *Cerrado: ambiente e flora*. (S.M. Sano; S.P. Almeida, eds.). Planaltina: EMBRAPA-CPAC. p. 89-166.
- Rico-Gray, V. e P. S. Oliveira. (2007). *The ecology and evolution of ant-plant interactions*. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA. 331p.
- Rosa, R., Lima, S. C., Assunção, W. L. 1991. Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia (MG). *Revista Sociedade e Natureza* 3, 91-108.
- Rosemond, A. D., Pringle, C. M., Ramirez, A., Paul, J. 2001. A test of top-down and bottom-up control in a detritus-based food web. *Ecology* 82, 2279-2293.
- Rothman, J. M., Van Soest, P. J., Pell, A. N. 2006. Decaying wood is a sodium source for mountain gorillas. *Biol lett* 2, 312-324.
- Seasted, T. R. & Crosseley Jr, D. A. 1984. The Influence of Arthropods on Ecosystems. *BioScience* 34, 157-161.
- Silvestre, R., Brandão, C. R. F., Silva, R. R. 2003. Grupos funcionales de hormigas: El caso de los 693 gremios del Cerrado, Brasil. p. 113-143. In: Fernández F. (eds.), *Introducción a las Hormigas de la Región Neotropical* Bogotá, Instituto Humboldt p 398.
- Smedley, S. R. & Eisner, T. 1995. Sodium uptake by puddling in a moth. *Science* 270, 1816-1818.
- SPSS. 2000. Systat version 10. SPSS Inc., San Francisco, California.
- Stallard, R. F., & Edmond, J. M. 1981. Geochemistry of the Amazon. I-Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. *Journal of Geophysical Research* 86, 9844-9858.
- Stamp, N. E. & Harmon, G. D. 1991. Effect of potassium and sodium on fecundity and survivorship of Japanese beetles *Oikos* 62, 299-305.
- Sterner, R.W. & Elser, J. J. 2002. *Ecological Stoichiometry*. Princeton University Press, New Jersey.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Univ. of California Press, Berkeley, CA.
- Tilman, D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, New Jersey.

- Tracy, B. F. & McNaughton, S. J. 1995. Elemental analysis of mineral lick soils from the Serengeti National Park, the Konza Prairie and Yellowstone National Park. *Ecography* **18**, 91-94.
- Warton, D. I. & Francis, K. C. H. 2011. The arcsine in asinine: the analysis of proportions in ecology. *Ecology* **92**, 3-10.
- Way, M. J. e Khoo, K. C. 1992. Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology* **37**, 479-503.
- Williams, R.J.P. & Fraústo da Silva, J.J.R. 2003. Evolution was Chemically Constrained. *Journal of. theoretical. Biology.* **220**, 323–343.
- Williams, R.J.P. & Fraústo da Silva, J.J.R. 2005. *The chemistry of evolution*. Elsevier, Oxford and Lisbon, UK and Portugal. 481p.
- Williams, R.J.P. 1981. Natural selection of the chemical elements. *Proceedings of the Royal Society of London.* **213**, 361-397.
- Yanoviak, S. P. & Kaspari, M. 2000. Community structure and the habitat templet : ants in the tropical forest canopy and litter. *Oikos* **1**, 259–266.

**Anexo 1:** Número de vezes que cada gênero esteve presente em iscas de sal ou sacarose no solo e na vegetação no cerrado ralo.

Subfamília	Gênero	Vegetação		Solo		n° de formigas
		sal	sacarose	sal	sacarose	
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Azteca</i>	14	2	1	2	583
	<i>Dorymyrmex</i>	0	0	2	0	14
<b>Formicinae</b>	<i>Brachymyrmex</i>	2	3	2	0	55
	<i>Camponotus</i>	49	26	48	19	753
	<i>Nylanderia</i>	0	0	0	3	11
<b>Myrmicinae</b>	<i>Cephalotes</i>	17	13	0	0	147
	<i>Crematogaster</i>	0	4	4	7	265
	<i>Pheidole</i>	0	1	13	63	570
	<i>Solenopsis</i>	15	9	4	14	331
	<i>Wasmannia</i>	1	0	0	0	64
<b>Ectatomminae</b>	<i>Ectatomma</i>	0	0	0	4	9
<b>Pseudomyrmecinae</b>	<i>Pseudomyrmex</i>	6	12	0	1	23

**Anexo 2:** Número de vezes que cada gênero esteve presente em iscas de sal ou sacarose no solo e na vegetação no cerrado típico.

Subfamília	Gênero	Vegetação		Solo		n° de formigas
		sal	sacarose	sal	sacarose	
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Azteca</i>	7	5	4	3	220
	<i>Linepithema</i>	0	0	0	2	15
<b>Formicinae</b>	<i>Brachymyrmex</i>	2	3	1	0	10
	<i>Camponotus</i>	31	16	30	3	419
	<i>Nylanderia</i>	0	0	0	2	4
<b>Myrmicinae</b>	<i>Cephalotes</i>	27	14	0	0	274
	<i>Crematogaster</i>	25	8	2	1	702
	<i>Pheidole</i>	16	54	1	3	251
	<i>Solenopsis</i>	10	11	4	7	320
	<i>Wasmannia</i>	3	2	0	0	8
<b>Ectatomminae</b>	<i>Ectatomma</i>	0	0	2	4	15
<b>Pseudomyrmecinae</b>	<i>Pseudomyrmex</i>	10	6	0	1	36

**Anexo 3:** Número de vezes que cada gênero esteve presente em iscas de sal ou sacarose no solo e na vegetação no cerrado denso.

Subfamília	Gênero	Vegetação		Solo		n° de formigas
		sal	sacarose	sal	sacarose	
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Azteca</i>	11	3	2	1	350
	<i>Dorymyrmex</i>	0	0	0	1	1
	<i>Linepithema</i>	0	0	0	2	4
<b>Formicinae</b>	<i>Brachymyrmex</i>	5	1	2	0	57
	<i>Camponotus</i>	27	13	25	11	252
	<i>Nylanderia</i>	0	0	0	3	20
<b>Myrmicinae</b>	<i>Cephalotes</i>	14	13	1	0	120
	<i>Crematogaster</i>	1	3	1	0	12
	<i>Pheidole</i>	0	5	19	45	455
	<i>Solenopsis</i>	8	5	1	2	373
	<i>Wasmannia</i>	0	0	0	1	1
<b>Ectatomminae</b>	<i>Ectatomma</i>	0	7	0	0	51
<b>Pseudomyrmecinae</b>	<i>Pseudomyrmex</i>	5	6	0	4	26
<b>Ponerinae</b>	<i>Pachycondyla</i>	0	0	0	4	7

**Anexo 4:** Número de vezes que cada gênero esteve presente em iscas de sal ou sacarose no solo e na vegetação no cerrado.

Subfamília	Gênero	Vegetação		Solo		n° de formigas
		sal	sacarose	sal	sacarose	
<b>Dolichoderinae</b>	<i>Azteca</i>	14	2	0	0	212
	<i>Dorymyrmex</i>	0	0	1	3	3
	<i>Linepithema</i>	0	0	5	0	6
<b>Formicinae</b>	<i>Brachymyrmex</i>	2	2	0	0	33
	<i>Camponotus</i>	45	18	30	12	539
	<i>Nylanderia</i>	0	0	1	1	5
<b>Myrmicinae</b>	<i>Atta</i>	0	0	5	1	7
	<i>Cephalotes</i>	19	4	1	0	58
	<i>Crematogaster</i>	7	5	1	0	193
	<i>Pheidole</i>	0	0	11	70	558
	<i>Solenopsis</i>	8	3	4	3	582
	<i>Wasmannia</i>	0	0	1	7	45
<b>Ectatomminae</b>	<i>Ectatomma</i>	0	2	0	5	11
<b>Pseudomyrmecinae</b>	<i>Pseudomyrmex</i>	5	3	2	0	29
<b>Ponerinae</b>	<i>Pachycondyla</i>	0	0	0	2	2