

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**INTERAÇÕES INSETO-PLANTA NO PERMIANO INFERIOR DA
BACIA DO PARANÁ: SEMENTES**

THAMIRIS BARBOSA DOS SANTOS

ORIENTADOR – Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

Porto Alegre, 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**INTERAÇÕES INSETO-PLANTA NO PERMIANO INFERIOR DA
BACIA DO PARANÁ: SEMENTES**

THAMIRIS BARBOSA DOS SANTOS

ORIENTADOR – Prof. Dr. Roberto Iannuzzi

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Juliane Marques de Souza – Universidade Estadual de Roraima

Prof. Dr. Willian Mikio Kurita Matsumura – Universidade Federal do Piauí

Dra. Daiana Rockenbach Boardman – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre, 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Santos, Thamiris Barbosa dos

Interações inseto-planta no Permiano Inferior da Bacia do Paraná:
sementes. / Thamiris Barbosa dos Santos. - Porto Alegre:
IGEO/UFRGS, 2020.
[64 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de
Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2020.

Orientador: Roberto Iannuzzi

1. Eopermiano. 2. Flora Glossopteris. 3. Herbivoria. 4. Cordaicarpus. 5.
Sarmaropsis I. Título.

CDU 561

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

AGRADECIMENTOS

Primeiro gostaria de agradecer as agências de fomento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante a execução dessa dissertação e também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio financeiro que possibilitou a ida a evento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, bem como professores e funcionários do departamento.

Ao Professor Dr. Roberto Iannuzzi, obrigada por todo o suporte, orientação e discussões ao longo do mestrado. Os aprendizados dentro do laboratório foram fundamentais para minha formação profissional e pessoal.

À Dra. Esther Regina de Souza Pinheiro, obrigada por ter aceitado fazer parte dessa jornada. Todos os cafés adoçados com discussões e correções foram essenciais para o trabalho (e também os brigadeiros).

Ao fotógrafo Luiz Flávio Lopes pelas imagens, as queridas vizinhas de laboratório e também aos colegas de departamento pelas boas conversas.

Agradeço também à Dra. Karen Adami Rodrigues que sempre será a mãe e amiga de todos os momentos da vida.

Aos meus amigos e amigas, obrigada por toda a tolerância e paciência ao longo desses últimos anos. Camila, Juliana, Elisa, Ane, vocês são as queridas do meu coração. Além disso, aos colegas de laboratório, muito obrigada por todos os cafés e boas risadas, vocês são maravilhosos.

À toda minha família, obrigada pelo apoio e suporte. Mesmo distantes saibam que vocês fizeram parte dessa jornada. Mãe, você é minha inspiração! Meus irmãos, vocês são minhas preciosidades. Ao meu companheiro Renan, obrigada pela paciência e toda a ajuda.

Enfim, agradeço a tod@s que de alguma forma fizeram parte desse processo.

RESUMO

O estudo das relações ecológicas entre insetos e plantas é uma área muito explorada na ecologia moderna, visto que juntos estes são os organismos mais diversificados nos ecossistemas terrestres. Entender como funcionam as relações entre eles auxilia a compreender como se tornaram tão diversos e como mudaram suas estratégias de vida ao longo do tempo. O registro das interações inseto-planta em fósseis demonstram que desde períodos pretéritos esses grupos já haviam estabelecido relações interativas principalmente de herbivoria. Há registros de fitofagia desde o Devoniano, sendo que ao longo da história geológica as interações entre esses grupos foram se diversificando, assim como os hábitos alimentares dos insetos. O registro das interações para o Permiano do Gondwana é restrito a análise de folhas/frondes e lenhos, visto que os danos nesses órgãos vegetais são extensamente relatados na literatura. Entretanto, os registros de danos em sementes são delimitados somente à depósitos da Euramérica. O presente estudo traz o primeiro relato junto a descrições de interações em sementes para o Paleozoico do Gondwana, bem como o primeiro registro para a Bacia do Paraná. O material analisado é proveniente do Afloramento Itanema II (Formação Rio Bonito, Permiano Inferior), que apresenta uma rica composição de sementes com registro de 15 morfotipos, a saber: *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Cordaicarpus* sp. 3, *Cordaicarpus* sp. 4, *Cordaicarpus* sp. 5, *Samaropsis* sp. 1, *Samaropsis* sp. 2, *Samaropsis* sp.3, *Samaropsis* sp. 4, *Samaropsis* sp. 5, *Samaropsis* sp. 6, *Samaropsis* sp. 7, sementes com cúpula, morfotipos 1 e 2. Foram analisadas 34 sementes, das quais 8 apresentaram algum tipo de dano (23,5% do total). As sementes *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Samaropsis* sp. 5 e sementes com cúpula apresentaram danos do tipo DT74, DTx e DTy, sendo os dois últimos inéditos, logo, caracterizados e descritos no presente trabalho. O dano DTx foi classificado como “cicatrices de cochonilhas” (*scale*) espalhadas no corpo da semente ou na asa, sendo causado por organismos hemipteróides. Já o DTy foi classificado como perfurações no corpo da semente, que seria causado por insetos paleodictiopteroides ou hemípteros. A taxa de herbivoria no afloramento Itanema II é considerada alta quando comparada a outros estudos do mesmo período. Mesmo considerando que o número de amostras analisadas não seja alto, foram registrados três tipos de danos em quatro morfotipos, demonstrando que diferentes grupos de insetos já procuravam sementes como fonte

nutricional. Sendo assim, o resultado sugere que a evidência de consumo de sementes para o Permiano inicial nos mostraria que insetos e plantas já teriam estabelecido relações de consumo neste intervalo e até mesmo alguma especificidade, diferentemente do que é mencionado na literatura corrente.

Palavras chave: Eopermiano, Flora *Glossopteris*, herbivoria, *Cordaicarpus*, *Samaropsis*.

ABSTRACT

The study of ecological relationships between insects and plants is a much explored area in modern ecology, as together these are the most diverse organisms in terrestrial ecosystems. Understanding how their relationships works helps you to understand how they have become so diverse and how their life strategies have changed over time. The record of insect-plant interactions in fossils shows us that since past periods these groups had already established interactive relationships, mainly of herbivory. There are records of phytophagy since the Devonian. The geological history of the interactions between these groups have been diversifying, as well as the eating habits of insects. The record of interactions for the Gondwana Permian is restricted to the analysis of leaves/fronds and woods, since damage to these plant organs is widely reported in the literature. However, records of seed-damage are limited only to Euramerican deposits. The present study provides the first report with descriptions of seed interactions for Gondwanan deposits, as well as the first record for the Paraná Basin. The material analyzed were collected from Itanema II Outcrop (Rio Bonito Formation, Lower Permian), which has a rich seed composition, composed by 15 morphotypes, namely: *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Cordaicarpus* sp. 3, *Cordaicarpus* sp. 4, *Cordaicarpus* sp. 5, *Samaropsis* sp. 1, *Samaropsis* sp. 2, *Samaropsis* sp.3, *Samaropsis* sp. 4, *Samaropsis* sp. 5, *Samaropsis* sp. 6, *Samaropsis* sp. 7, cupulate seeds, seeds 1 and 2. Thirty-four seeds were analyzed and 8 showed some type of damage (23.5% of the total). The seeds *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Samaropsis* sp. 5 and cupulate seeds presented damage type DT74, DTx and DTy, being the last two unpublished and characterized and described in the present work. The DTx damage was classified as “scale scars” spread on the seed body or wing, being caused by hemipteroids organisms. The DTy was classified as perforations in the seed body, which would be caused by paleodictiopteroids or hemipterans insects. The herbivory rate in Itanema II outcrop is considered high when compared to other studies of the same period. Even though the number of samples analyzed is not high, three types of damage were registered in four seed morphotypes, demonstrating that different insect groups were already looking for seeds as nutritional source. Thus, the result suggests that the evidence of seed consumption for the Early Permian would show us that insects and

plants could have already established consumption relationships in this interval and even some specificity, unlike what is mentioned in the current literature.

Key words: early Permian, *Glossopteris* flora, herbivory, *Cordaicarpus*, *Samaropsis*.

Lista de Figuras

- Figura 1. Mapa de localização e seção estratigráfica do Afloramento Itanema II em Urussunga, SC (modificado de Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016)15
- Figura 2. Morfogêneros encontrados no Afloramento Itanema II (Santa Catarina), Permiano Inferior, Bacia do Paraná.17
- Figura 3. Distribuição dos taxa de sementes, divididos em com e sem traços de herbivoria, coletados no afloramento Itanema II (SC), Permiano Inferior, Bacia do Paraná21

Lista de Tabelas

- Tabela 1. Listadas sementes analisadas provenientes do Afloramento Itanema II, (Permiano Inferior, Bacia do Paraná), constando presença/ausência e classificação dos danos por semente.20

SUMÁRIO

Parte I

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	7
2. INTRODUÇÃO	8
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo Geral	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Área de estudo	14
4.2 Material e identificação das sementes	16
4.3 Análise dos danos	18
5. RESULTADOS	19
6. DISCUSSÃO	22
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
8. REFERÊNCIAS	25

Parte II

1 ARTIGO CIENTÍFICO: First Evidence of Seed Predation by Arthropods from Gondwana (Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil)	34
---	-----------

Parte III

1. ANEXO A: Carta de submissão revista <i>Palaios</i>	57
2. ANEXO B: Resumo “Predação de sementes por artrópodes no Eopermiano (Cisuraliano, Bacia do Paraná)”	58
3. ANEXO C: Capítulo de livro “Evidences of arthropod-plant interactions through Permian in Brazil”	60
4. ANEXO D: Capítulo de livro “Insect-plant interaction of the Mesozoic, Brazil: Triassic and Cretaceous”	62

PARTE I

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado é fruto de um ano de estudos no Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO-UFRGS). A organização do texto compreende as seguintes partes:

PARTE I: introdução geral contendo o estado da arte referente ao tema de estudo, objetivos, metodologia, resultados, discussão e considerações finais.

PARTE II: manuscrito intitulado “FIRST EVIDENCE OF SEED PREDATION BY ARTHROPODS FROM GONDWANA (RIO BONITO FORMATION, PARANÁ BASIN, BRAZIL)”, submetido na revista “Palaios”, periódico classificado no estrato Qualis-CAPES A3.

PARTE III: anexos e arquivos relacionados à trabalhos publicados e apresentados em congressos, como: dois capítulos aceitos para publicação no livro “Brazilian Paleofloras. From Paleozoic to Holocene” dos editores Dr. Roberto Iannuzzi, Dr. Ronny Rößler e Dr. Lutz Kunzmann, sendo o primeiro capítulo intitulado “EVIDENCES OF ARTHROPOD-PLANT INTERACTIONS THROUGH PERMIAN IN BRAZIL”, e o segundo “INSECT-PLANT INTERACTION OF THE MESOZOIC, BRAZIL: TRIASSIC AND CRETACEOUS”.

2. INTRODUÇÃO

Insetos e plantas constituem mais da metade das espécies terrestres descritas (Ehrlich & Raven, 1964) e compõem a maior parte da estrutura dos ecossistemas modernos (Futuyma & Agrawal, 2009). A estrutura e diversidade das comunidades de insetos e plantas estão fortemente conectadas ao longo da história evolutiva da vida. Há evidências de que plantas se adaptaram com defesas químicas contra o ataque dos seus predadores e os insetos se adaptaram às mudanças desenvolvidas pelas plantas, estimulando uma diversificação entre esses dois grupos por meio dessa coevolução (Farrell *et al.*, 1992). Entender as interações atuais e do passado ajuda a compreender como esses grupos se diversificaram e conseguiram conquistar quase todos os ambientes terrestres (Labandeira & Beall, 1990; Scott *et al.*, 1992). Insetos utilizam plantas como fonte de alimento, abrigo e reprodução (Southwood, 1985), e estes tipos de interações provocam danos nos tecidos vegetais. Avaliar esses danos nos possibilita contabilizar e entender como essas interações ocorreram e se modificaram ao longo do tempo. A análise das interações inseto-planta no registro fossilífero ainda é uma área nova nos estudos paleontológicos, que vem sendo cada vez mais utilizada, visando compreender os mecanismos de interação e coevolução entre esses dois grupos (Labandeira, 2002. Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a).

O reconhecimento dos danos nos fitofósseis se dá por meio da identificação de calos ou crescimento anômalo de células, como consequência de um trauma provocado por outro organismo (Meyer & Maresquelle, 1983). Adicionalmente, há formação de “necrose”, onde se origina um tecido de reação na região que foi consumida e, então, forma-se uma cicatrização. Esse tecido, quando fossilizado, se diferencia do restante do fóssil, na maior parte das vezes, apresentando uma coloração diferente. Os fitofósseis também podem apresentar um formato diferente do natural em algumas morfoespécies, ou seja, devido aos danos causados pelos insetos, apresentam alguma forma de registro de um ataque específico ou padrões de ataque em determinados grupos de plantas (Beck & Labandeira, 1998; Labandeira, 2002). Os órgãos vegetais que mais apresentam interações são as folhas, sendo que as folhas também são os órgãos mais abundantes no registro fóssil das plantas. Assim, para raízes, lenhos, sementes e

estruturas reprodutivas existem menos registros de interação, muito em consequência de serem órgãos menos investigados.

Os danos causados por artrópodes em plantas podem ser analisados de forma quantitativa ou qualitativa, onde no primeiro método utilizam-se análises da frequência da herbivoria nos órgãos vegetais, podendo-se avaliar preferência por grupos, especificidade ou ainda quais morfogêneros/morfoespécies eram mais consumidos. Nos estudos quantitativos, podem-se calcular a proporção da flora que apresenta algum indicativo de interação inseto-plantas, onde é avaliado o número de folhas consumidas em relação ao número total de folhas analisadas; outra forma são os estudos de interações específicas em uma planta hospedeira por insetos herbívoros, podendo envolver uma ou poucas associações (Labandeira, 2006). Já os estudos qualitativos visam as descrições de tamanho e formato dos danos (Labandeira & Philips, 1996; Adami-Rodrigues *et al.*, 2004b, Pinheiro *et al.*, 2015). Dentre as formas de estudos, podem ser avaliadas as interações segundo os “Tipos de Danos”, denominados em inglês *Damage Types* (DTs). Os DTs são ordenados por morfotipos de danos encontrados nos fitófosséis. São classificados seguindo tamanho/forma, posição no vegetal ou, então, a presença de reação de tecido da planta frente ao ataque (ver Labandeira *et al.*, 2007). Outra forma de pesquisa amplamente estudada se dá por grupos funcionais alimentares, denominados em inglês *Functional Feeding Groups* (FFGs). Os FFGs são classificados segundo o hábito de alimentação dos artrópodes e os tipos de aparelhos bucais que possuíam, os quais acabam deixando “assinaturas” nos órgãos vegetais. Com isso, podemos associar quais grupos de artrópodes se alimentavam dos fitófosséis. Dentro dos diferentes tipos de FFGs podemos classificá-los como:

- a) Consumo foliar externo: 1) consumo ovóide; 2) consumo de margem foliar; 3) consumo de superfície; 4) esqueletonização
- b) Perfurador/sugador
- c) Minas
- d) Galhas
- e) Predação de sementes
- f) Oviposições

O registro mais antigo conhecido de interação entre artrópodes e plantas é do Devoniano, onde podem ser encontradas evidências de danos em plantas vasculares. Em Rhynie, na Escócia, são documentadas para o Devoniano Inferior pequenas perfurações em caules com presença de tecido de reação (Kevan *et al.*, 1975), onde os autores sugerem que foram causados por artrópodes com aparelho bucal do tipo perfurador/sugador. Para o Devoniano Médio e Superior, na Formação Catskill, em Nova Iorque, Labandeira *et al.* (2014) relataram interações como consumo foliar externo, galhas e perfurador/sugador. Além disso, durante o Devoniano Superior ao Pensilvânico houve uma diversificação dos tipos de alimentação e especialização de alguns grupos de insetos, podendo ser listadas: alimentação externa de folhas, galhas, minas, predação de estruturas reprodutivas e alimentação de caules (Van Amerom, 1966; Van Amerom & Boersma, 1971; Van Amerom, 1973; Jennings, 1974; Scott & Taylor, 1983; Labandeira & Phillips, 1996a; Dunn *et al.*, 2003; Adami-Rodrigues *et al.*, 2004a; Iannuzzi & Labandeira, 2008).

Durante o Carbonífero, o registro das interações que mais se destacam são as relatadas para as florestas pantanosas euroamericanas, onde a documentação das interações se expande, mostrando que certas relações já estavam bem estabelecidas durante o Paleozoico (Kevan *et al.*, 1975; Scott & Taylor, 1983; Scott *et al.*, 1985; Labandeira & Beal, 1990; Chaloner *et al.*, 1991; Scott *et al.*, 1992; Labandeira & Phillips, 1996; Labandeira, 1998, 2002, 2006), além dos primeiros registros de consumo foliar externo para o Gondwana (Iannuzzi & Labandeira, 2008).

Os registros das interações no Permiano da Euramérica são reconhecidos pela presença de danos em folhas, lenhos, raízes e sementes (Schachat *et al.*, 2015; Feng *et al.*, 2017, 2019; Xu *et al.*, 2019). Em artigos publicados para o Permiano Inferior, alguns autores relataram presença de danos seguindo os FFG e os DTs (Labandeira & Allen, 2007; Glasspol *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2018) em compressões/impressões foliares. Os FFGs mais assinalados são os de consumo foliar externo, onde consumo de margem e consumo ovóide são amplamente relatados, sendo raros os danos em sementes (Schachat *et al.*, 2014, 2015). Já para o Gondwana, os danos reconhecidos para a Índia são consumos foliares, oviposições e de fungos e/ou marcas de bactérias (Srivastava, 1987; Chandra & Singh, 1996; Srivastava & Agnihotri, 2011; Srivastava & Srivastava, 2016); para a Antártica são reportados coprólitos em folhas, lenhos e

esporângios (Slater et al., 2012); na Austrália são reconhecidos galhas e oviposição em folhas (McLoughlin, 2011); na África do Sul há registros de alimentação de folhas, perfuração/sugação, galhas e oviposição (Prevec et al., 2009); para a Argentina relatam-se consumos foliares, oviposições, esqueletonização, perfuração/sugação, galhas e *incertae sedis* (Cariglino & Gutiérrez, 2011; Gallego et al., 2014; Cariglino, 2018). O único registro para o Sri-Lanka (Edirisooryia et al., 2016) relata consumo de margem foliar, esqueletonização, perfuração/sugação e oviposição. E, por último, para Brasil são reconhecidos danos em folhas como remoções de margem foliar, galhas, esqueletonização, minas e oviposições (Adami-Rodrigues et al., 2004a, b; Pinheiro et al., 2012a; Pinheiro et al., 2015). Logo, até o presente trabalho não há descrição de danos em sementes provenientes do Gondwana referentes ao Permiano.

A “Flora *Glossopteris*”, amplamente reconhecida para o Gondwana no Permiano, constitui-se de uma vegetação característica que habitou as terras do Hemisfério Sul (Wnuk, 1996; Willis & McElwain, 2002). Apresenta ricas associações fossilíferas, com presença de morfogêneros de órgãos foliares como *Cordaites* Unger [= *Noeggerathiopsis* (Feistmantel) McLoughlin & Drinnan], *Botrychiopsis* (Kurtz) Archangelsky & Arrondo, *Gangamopteris* McCoy, *Sphenophyllum* (Brongniart) Koenig, *Phyllothea* Brongniart, *Pecopteris* (Brongniart), *Sphenopteris* (Brongniart) Stemberg, onde o morfogênero que mais se destaca é *Glossopteris* Brongniart, apresentando mais de 200 morfoespécies para a África, Oceania, Antártica, Índia e América do Sul (Stewart & Rothwell, 1993). Dentre os diferentes órgãos encontrados, é possível visualizar folhas, lenhos, raízes e sementes.

As interações entre insetos e plantas para o Permiano no Gondwana são encontradas em folhas de *Cordaites* (= *Noeggerathiopsis*), *Botrychiopsis*, *Gangamopteris*, *Kladistamuos*, *Sphenophyllum*, *Dizeugotheca*, *Pecopteris*, *Sphenopteris* e *Megistophyllum*. Entretanto, os fitofósseis mais abundantes em interações são as glossopterídeas, onde os registros de interação neste morfogênero apresentam padrões de especificidade entre insetos e *Glossopteris* (Pinheiro et al., 2012a). Os FFGs mais encontrados são os de consumo foliar externo e oviposições, enquanto os danos mais encontrados são DT01, DT12, DT10 (Adami-Rodrigues et al., 2004a, b; Pinheiro et al., 2012b; Cariglino, 2018), conforme a classificação estabelecida por Labandeira et al. (2007).

Os registros das interações inseto-planta em sementes fósseis foram apenas a pouco tempo relatados de forma mais descritiva e sistemática (Labandeira *et al.*, 2007) e pouco ainda se sabe como os danos em sementes afetariam a germinação e vigor da plântula. O tegumento da semente teria aparecido para proteger o gametófito. Então, o tegumento que apresenta lignina, diminui os ataques externos tanto como os de agentes patógenos como também por herbívoros (Willis & McElwain, 2002). Mesmo apresentando essas características físicas e estruturais, insetos herbívoros conseguem ultrapassar essas barreiras e se alimentar de sementes, causando danos aos embriões (Boesewinkel & Bouman, 1995; Taylor *et al.*, 1999; Willis & McElwain, 2002). Existem apenas três trabalhos analisando/relatando a presença de interação inseto-planta em estratos permianos, e todos são referentes à Euramérica. Shcherbakov *et al.* (2009) relataram a presença de perfurações em *Samaropsis* na Rússia. Schachat *et al.* (2014) relataram danos em sementes de espermatófitas, nos Estados Unidos. Os autores relatam a presença de danos como DT73, DT74 e DT257 (de Labandeira *et al.*, 2007), todos pertencentes ao FFG predação de sementes. Já em outro trabalho, Schachat *et al.* (2015) relataram também para os Estados Unidos, danos como DT73, DT74 e DT 124. No trabalho de Xu *et al.* (2018), os autores analisaram sementes platispérmicas e nenhum dano foi registrado.

Quando se fala no registro das interações inseto-planta no Permiano da Bacia do Paraná, poucos estudos foram realizados, constando na literatura apenas os trabalhos de Guerra-Sommer (1995), Adami-Rodrigues *et al.* (2004a, b) e Pinheiro *et al.* (2012a, b, 2015). Todos os trabalhos acima citados analisaram somente as interações em megáfilos vegetais, porém, nenhuma semente foi objeto de estudo. Em virtude disso, o trabalho aqui apresentado reforça a necessidade de mais estudos sobre as interações inseto-planta com foco na análise de outros órgãos vegetais, justificando-se assim a presente proposta.

3. OBJETIVOS

Como objetivos da presente dissertação encontram-se o geral e específicos, os quais serão listados a seguir.

3.1. Objetivo geral

Identificar e classificar novas interações entre insetos e plantas em amostras contendo sementes de estratos do Afloramento Itanema II, em Santa Catarina, posicionado no topo da Formação Rio Bonito (Camada Treviso do Membro Siderópolis), Permiano Inferior da Bacia do Paraná.

3.2. Objetivos específicos

1. Descrever novas interações em sementes fósseis do Permiano Inferior da Bacia do Paraná, e propor novas classificações para o Gondwana.
2. Quantificar a frequência de herbivoria em sementes provenientes do Afloramento Itanema II.
3. Analisar quais grupos de insetos estariam envolvidos nas interações com as sementes e as possíveis relações ecológicas estabelecidas durante o Permiano.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Bacia do Paraná e Afloramento Itanema II

A Bacia do Paraná é uma área de deposição sedimentar na região que ocupa porções territoriais na Argentina, no Brasil, no Paraguai e no Uruguai. Apresenta uma área de aproximadamente 1.600.000 km² (Milani *et al.*, 2007). Os espécimes utilizados nesta pesquisa foram coletados no Afloramento Itanema II, localizado no município de Urussanga, Santa Catarina (Figura 1). Conforme a descrição de Marques-de-Souza & Iannuzzi (2016), os primeiros 50 centímetros são constituídos de argilitos, onde os 40 centímetros iniciais são compostos por rochas de matriz cinza escura e os últimos 10 centímetros são compostos por rocha marrom clara. Logo acima, encontra-se uma camada de siltito de 25 centímetros que então é encoberta por 2,5 metros de arenito fino com laminação cavalgante ondulada. Estas sequências no afloramento indicam uma transgressão, onde as fácies mais basais apresentam depósitos de ambiente lântico que depois seria sotoposto pelas fácies de planície de maré. As amostras foram coletadas na camada basal do afloramento, denominada de nível N1 (Figura 1), onde uma associação fitofossilífera rica está presente e é composta de: frondes (estéreis e férteis) de samambaias; caules de licófitas; caules, folhas e estruturas reprodutivas de esfenófitas; folhas de *Gangamopteris*; estruturas reprodutivas e folhas de *Glossopteris*; ramos foliosos de coníferas; folhas de ginkgoaleanas e cordaitaleanas; e cúpulas e sementes.

Em Santa Catarina, a Formação Rio Bonito é dividida, em ordem ascendente, nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. Itanema II é correlacionado lateralmente ao “Carvão Treviso”, posicionado estratigraficamente acima do Carvão Barro Branco, bem no topo do Membro Siderópolis (Marques-de-Souza & Iannuzzi (2016). A idade da Formação Rio Bonito tem sido considerada como cisulariana, estendendo-se do Asseliano ao Artinskiano, com base em datações radiométricas realizadas nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná (Griffis *et al.*, 2018). Com base em correlações estratigráficas e bioestratigráficas, o Membro Siderópolis em Santa

Catarina corresponde ao topo da Formação Rio Bonito na bacia (Iannuzzi, 2010), o que possibilita confirmar uma idade artinskiana para o registro do Afloramento Itanema II.

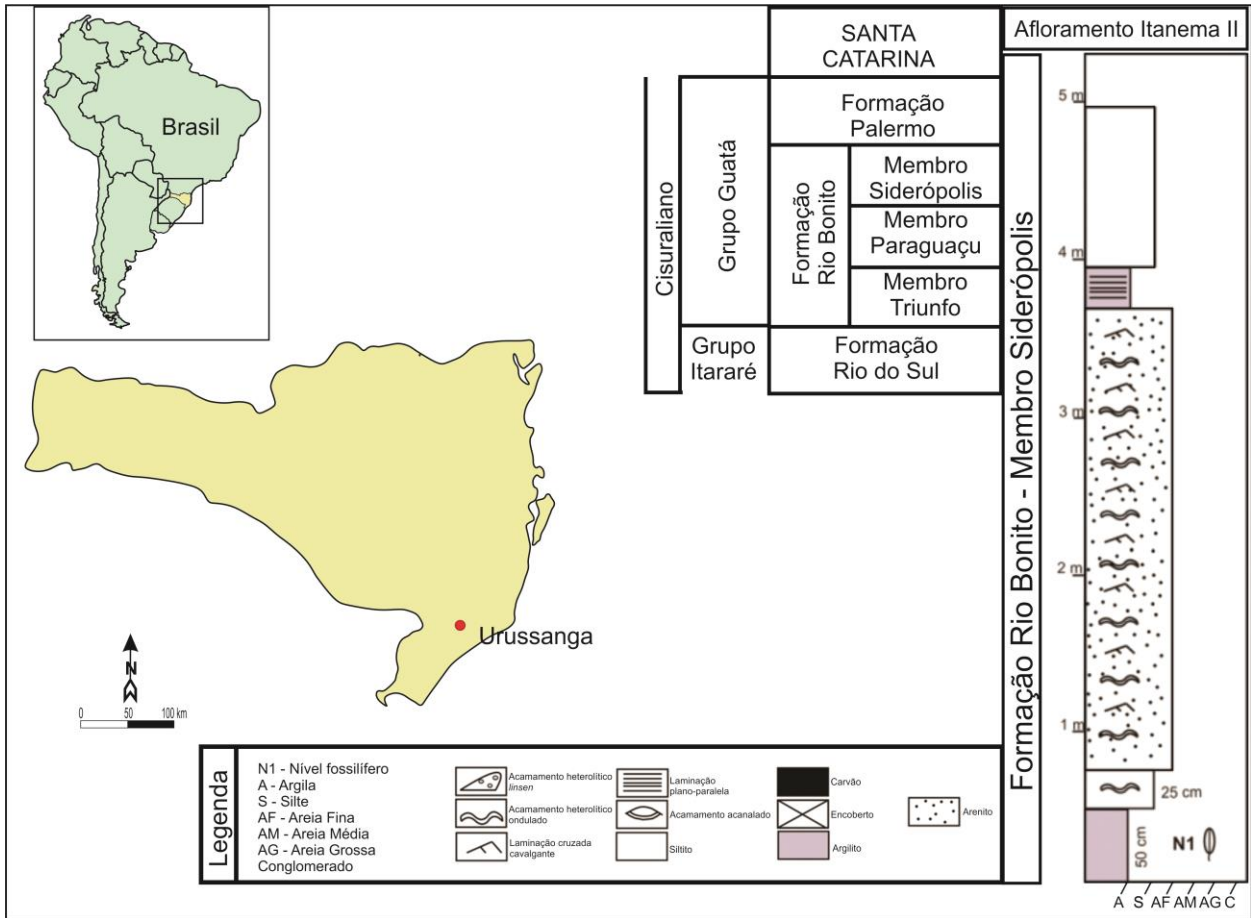


Figura 1: Mapa de localização e seção estratigráfica do Afloramento Itanema II, em Urussunga, sudeste de Santa Catarina (modificado de Marques-de-Souza & Iannuzzi, 2016).

4. 2. Material e Identificação das Sementes

Foram analisadas no total 34 sementes, encontradas nas diversas amostras provenientes do Afloramento Itanema II, entre os restos vegetais de diferentes órgãos e grupos de plantas presentes. As amostras das sementes coletadas estão preservadas na forma de compressões e impressões e foram depositadas na coleção de Paleobotânica do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia (DPE), no Instituto de Geociências (IGeo) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob o prefixo MP-Pb (Museu de Paleontologia, Paleobotânica).

Os espécimes foram observados em estereomicroscópio Wild Heerbrugg Switzerland M5-86360 e todos foram fotografados utilizando câmera Canon EOS Rebel T5, equipada com lente Sigma 100mm /f2.8l Macro. A identificação foi realizada em nível de gênero e os espécimes desconhecidos e/ou com deformações morfológicas foram classificados apenas como morfotipos.

Em termos de sementes, o Afloramento Itanema II é caracterizado pela presença de espécimes classificados em *Cordaicarpus* Geinitz (1962), *Samaropsis* Goeppert (1864), e sementes com cúpula, além dos morfotipos 1 e 2 (Figura 2). Os gêneros *Cordaicarpus* e *Samaropsis* são frequentemente encontrados em afloramentos permianos da Bacia do Paraná. Ambos são reconhecidos pelo formato característico ovalado. De acordo com Milan (1994), esses gêneros apresentam algumas diferenças morfológicas, especialmente na sarcotesta que é a região mais externa do tegumento e pode apresentar vários formatos (Taylor *et al.*, 2009). Deste modo as formas incluídas em *Samaropsis* apresentam sarcotesta bem diferenciadas, que poderão estar presentes ou não, devido a qualidade de preservação do espécime. Já as formas de *Cordaicarpus* não apresentam sarcotesta bem diferenciadas. Em alguns casos a presença ou ausência da testa pode não ser tão evidente, o que pode levar a classificações errôneas. Sendo assim, para as identificações das sementes foi utilizado o método de Bernardes-de-Oliveira & Pontes (1976), onde caso a relação “largura máxima da testa/largura máxima do nucelo” seja maior que $\frac{1}{4.5}$ (= 0.22) o espécime pertencerá a *Samaropsis*, e no caso em que essa razão seja menor que $\frac{1}{4.5}$ (= 0.22), ele pertencerá a *Cordaicarpus*.

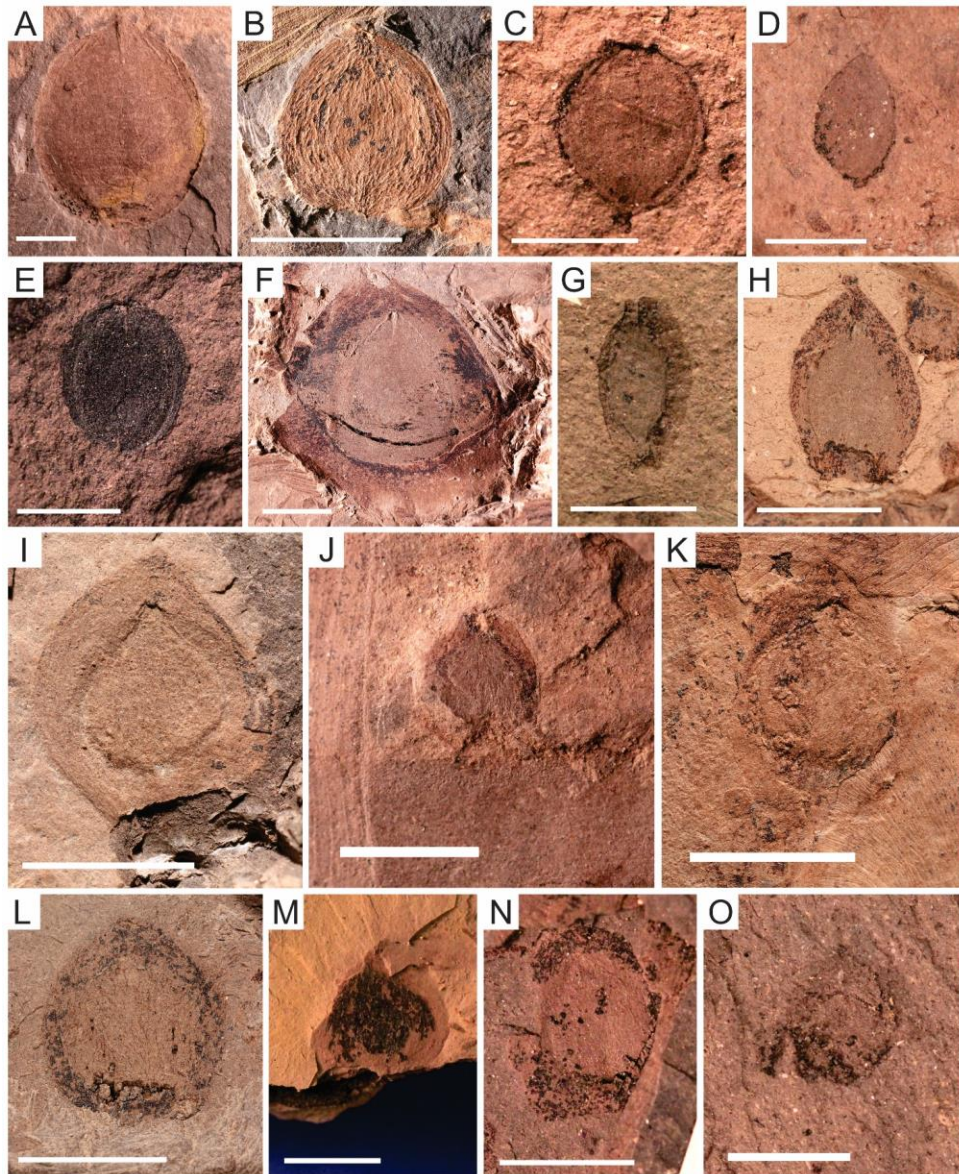


Figura 2. Morfotipos das sementes encontradas no Afloramento Itanema II, SC: A) *Cordaicarpus* sp. 1 (MP-Pb 5367); B) *Cordaicarpus* sp. 2 (MP-Pb 5187); C) *Cordaicarpus* sp. 3 (MP-Pb 5075); D) *Cordaicarpus* sp. 4 (MP-Pb 5181); E) *Cordaicarpus* sp. 5 (MP-Pb 5491); F) Semente com cúpula (MP-Pb 5202); G) *Samaropsis* sp. 1 (MP-Pb 5380); H) *Samaropsis* sp. 2 (MP-Pb 5068); I) *Samaropsis* sp. 3 (MP-Pb 5146); J) *Samaropsis* sp. 4 (MP-Pb 5215); K) *Samaropsis* sp. 5 (MP-Pb 5216); L) *Samaropsis* sp. 6 (MP-Pb 5327); M) *Samaropsis* sp. 7 (MP-Pb 5493); N) Morfotipo 1 (MP-Pb 5494); O) Morfotipo 2 (MP-Pb 5257). Escalas: 5 mm.

4.3. Análise dos Danos

A análise e a identificação dos danos foram feitas seguindo “*Guide to Insect (and Other) DamageTypes on Compressed Plant Fossils*” de Labandeira *et al.* (2007) e complementadas por outros trabalhos da literatura que tratam das interações em sementes (Schachat *et al.*, 2014; Schachat *et al.*, 2015). Em casos onde os danos não foram compatíveis com os existentes na literatura, novas descrições foram sugeridas.

Para as descrições dos danos inéditos na literatura foram analisados tamanho, formato e localização dos danos nos espécimes de sementes. Para esses novos DTs foram propostas inclusões nos distintos FFGs, além de propostas de associações aos possíveis indutores dos danos.

5. RESULTADOS

As amostras do presente estudo possibilitaram a elaboração de um manuscrito, que compõe o corpo dessa dissertação e será apresentado na PARTE II.

Resumidamente, foram encontradas evidências de interações em sementes na “Flora *Glossopteris*” por meio da análise das amostras provenientes do Afloramento Itanema II, Permiano Inferior da Bacia do Paraná. As amostras examinadas continham 15 morfotipos, dos quais cinco foram inseridos no gênero *Cordaicarpus* (*Cordaicarpus* sp. 1, 2, 3, 4, 5) e sete em *Samaropsis* (*Samaropsis* sp. 2, 3, 4, 5, 6, 7), sendo que três permaneceram taxonomicamente indefinidos, sendo denominados como semente com cúpula e morfotipos 1 e 2 (Tabela 1). Os danos inéditos para o Gondwana foram identificados, classificados e quantificados de acordo com a percentagem das interações, acrescentando novos dados para o registro da Bacia do Paraná. Foram analisadas 34 sementes, onde oito destas (23,5% do total) apresentaram danos (Figura 3), presumidamente resultantes das interações entre insetos e plantas (Tabela 1).

Os danos, por sua vez, só foram encontrados em sementes classificadas como *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Samaropsis* sp. 5 e as identificadas como sementes com cúpula. Três tipos de DTs foram registrados, a saber, DT74, DTx e DTy, sendo o DTy o mais observado, estando presente em cinco sementes. Os danos DTx e DTy foram descritos no presente trabalho e estão sendo pela primeira vez relatados na literatura, trazendo novas compreensões sobre as interações em sementes para o Paleozoico. Neste sentido, estes novos DTs foram oficialmente propostos para serem inseridos no *Guide to Insect (and Other) DamageTypes on Compressed Plant Fossils* de Labandeira *et al.* (2007), e estão aguardando aprovação dos editores.

Tabela 1. Lista das sementes analisadas provenientes do Afloramento Itanema II, (Permiano Inferior, Bacia do Paraná), constando presença/ausência e classificação dos danos por semente.

Amostra	Sementes	DT
MP-Pb 5068	<i>Samaropsis</i> sp. 2	Sem danos
MP-Pb 5075b	<i>Cordaicarpus</i> sp. 3	Sem danos
MP-Pb 5146	<i>Samaropsis</i> sp. 3	Sem danos
MP-Pb 5147	Semente com cúpula	DT398
MP-Pb 5149	Semente com cúpula	Sem danos
MP-Pb 5163	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	Sem danos
MP-Pb 5167	Morfotipo 2	Sem danos
MP-Pb 5181	<i>Cordaicarpus</i> sp. 4	Sem danos
MP-Pb 5187	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	Sem danos
MP-Pb 5190	Morfotipo 2	Sem danos
MP-Pb 5202	Semente com cúpula	DT398
	<i>Samaropsis</i> sp.?	Sem danos
MP-Pb 5215b	<i>Samaropsis</i> sp. 4	Sem danos
	<i>Samaropsis</i> sp. 4?	Sem danos
MP-Pb 5216	<i>Samaropsis</i> sp. 5	DT399
MP-Pb 5242	<i>Cordaicarpus</i> sp. 4	Sem danos
MP-Pb 5257a	Morfotipo 2	Sem danos
MP-Pb 5290	<i>Samaropsis</i> sp. 3	Sem danos
MP-Pb 5327	<i>Samaropsis</i> sp. 6	Sem danos
MP-Pb 5352	<i>Samaropsis</i> sp. 1	Sem danos
MP-Pb 5355	Semente com cúpula	Sem danos
MP-Pb 5364a,b	<i>Cordaicarpus</i> sp. 1	Sem danos
MP-Pb 5367	<i>Cordaicarpus</i> sp. 1	DT74
MP-Pb 5370	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	DT399
MP-Pb 5372b	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	DT74, DT398, DT399
MP-Pb 5379	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	DT74, DT399
MP-Pb 5380	Semente com cúpula	DT399
	<i>Samaropsis</i> sp. 1	Sem danos
	Morfotipo2	Sem danos
	Morfotipo 2	Sem danos
MP-Pb 5491	<i>Cordaicarpus</i> sp. 5	Sem danos

MP-Pb 5492	<i>Cordaicarpus</i> sp. 5	Sem danos
MP-Pb 5493	<i>Samaropsis</i> sp. 7	Sem danos
MP-Pb 5494	Morfotipo 1	Sem danos
	34 sementes	8 interações

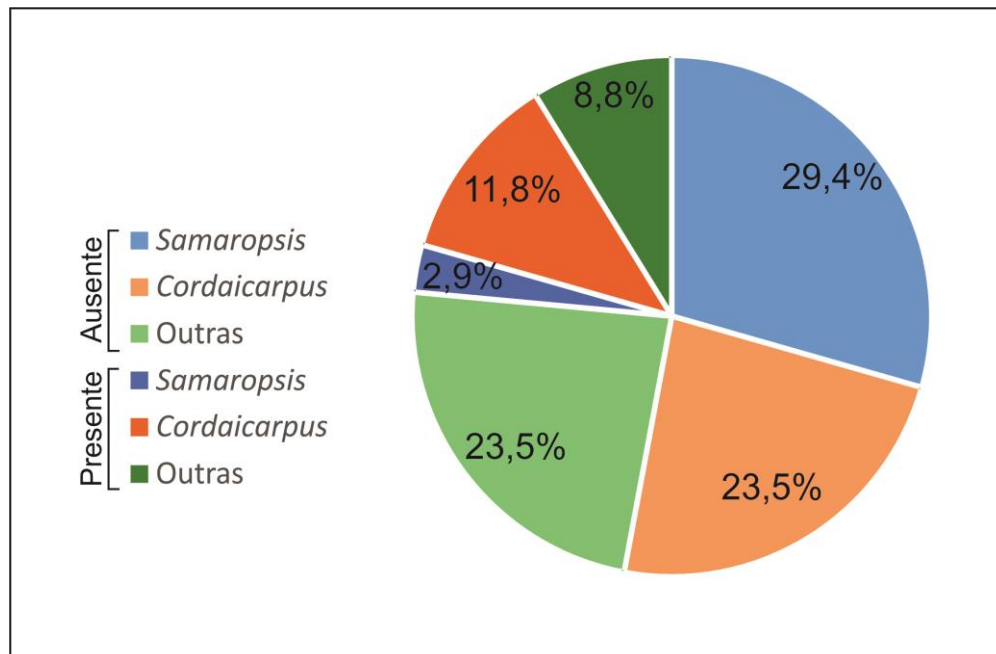


Figura 3. Distribuição dos taxa de sementes, divididos em com e sem traços de herbivoria, coletados no afloramento Itanema II (SC), Permiano Inferior, Bacia do Paraná.

6. DISCUSSÃO

No presente trabalho foi possível registrar e descrever o primeiro registro de interação inseto-semente em *Cordaicarpus* spp., *Samaropsis* sp. e sementes com cúpula para depósitos do Permiano Inferior do Gondwana. O entendimento sobre as interações entre esses grupos é pouco conhecido na literatura e uma área ainda pouco explorada, visto que alguns autores fizeram registros de danos em folhas e frondes, pois são os órgãos vegetais mais abundantes no registro fóssil. Os registros das interações em sementes ficam restritos somente para depósitos Permo-Carboníferos da Euramérica, havendo somente ocorrências para os Estados Unidos e Rússia (Sharov, 1973; Labandeira, 2007; Shcherbakov, 2008; Schachat *et al.*, 2014; Schachat *et al.*, 2015).

Os danos encontrados foram DT74 e dois novas DTs, *i.e.* DTx e DTy. O DT74 foi encontrado somente em sementes de *Cordaicarpus* spp., o que possivelmente nos mostra uma certa especificidade do grupo indutor dessa DT em consumir sementes com sarcotesta delicadas ou finas, como é o caso daquelas inseridas neste gênero. Além do DT74, *Cordaicarpus* spp. apresentou também evidências dos novos DTs, sendo o único morfogênero contendo todos os tipos de danos assinalados. Enquanto isso, espécimes classificados como *Samaropsis* sp. 5 e as sementes com cúpula apresentaram somente os novos DTx e DTy, o que nos pode indicar que os grupos indutores desses danos conseguiriam sobrepujar os tegumentos mais espessos desses morfotipos, os quais representam proteções defesas externas mais reforçadas a serem vencidas dessas sementes. Deste modo, os indutores das novas DTs obtiveram sucesso em predar um amplo espectro de sementes, *i.e.* *Cordaicarpus*, *Samaropsis* e sementes com cúpulas, mostrando uma menor especificidade, mas ao mesmo tempo uma maior capacidade de danificar quaisquer tipos de sementes, mesmo aquelas contendo testas ou tegumentos (= cúpulas) mais robustos.

A frequência de danos encontrada na associação fitofossilífera do Afloramento Itanema II foi de 23.5%, o que pode ser considerada uma taxa bastante alta quando comparada às assinaladas em outros estudos, onde alguns autores registraram frequências de 1.17% a, no máximo, 5.24%, para floras do Permiano dos Estados Unidos (Schachat *et al.*, 2014; Schachat *et al.*, 2015). Os autores supracitados relataram que essa baixa frequência encontrada seria devido ao fato de que insetos

não teriam estabelecido relações de consumo com sementes antes do fim do Paleozoico. Entretanto, os resultados dessa dissertação sugerem que esses grupos já teriam começado a estabelecer essas relações desde o início do Permiano (Artinskiano), onde já havia insetos se alimentando de uma ampla gama de sementes.

Segundo Shcherbakov *et al.* (2009), Palaeodictyopteroidea e Hemiptera (Heteroptera) seriam os grupos de insetos causadores desses tipos de danos, onde o DTx pode ser associado às placas serosas (relacionados aos Homoptera), enquanto os DT74 e DTy seriam associados a aparelhos bucais do tipo perfurador/sugador (relacionados aos Heteroptera e Palaeodictyopteroidea). Insetos hemípteros são conhecidos atualmente por serem grandes pragas em sementes de leguminosas, sendo relatado na literatura que o hábito alimentar de perfurar e sugar, caso atinja a radícula do embrião, pode impedir a viabilidade de germinação e também diminuir o vigor da futura plântula (Schuh & Slater, 1995; Panizzi & Parra, 2009; Panizzi & Silva, 2009). Algo semelhante poderia estar ocorrendo aqui, especialmente, no caso das sementes inseridas em cúpulas as quais poderiam ter atuado como uma espécie de vagem (envoltório protetor) para essas sementes.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos registros das interações inseto-planta do Afloramento Itanema II, Permiano Inferior (Artinskiano) da Bacia do Paraná, nos forneceu novas e importantes informações sobre as relações ecológicas desse período. Os registros de interações entre insetos e plantas são amplamente conhecidos em folhas, lenhos e estruturas reprodutivas para o Permiano da Euramérica. Já para o Permiano no Gondwana são conhecidos e descritos danos em diferentes elementos da “Flora *Glossopteris*”, porém as folhas são os órgãos vegetais mais explorados nestes estudos, sendo esta é a primeira vez em que sementes são consideradas em detalhe.

Neste trabalho é relatado e descrito o primeiro registro de interação entre artrópodes e sementes para o Permiano do Gondwana, bem como para a Bacia do Paraná. Os danos, que pertencem ao grupo funcional alimentar predação de semente, foram encontrados em sementes de *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Samaropsis* sp. 5 e sementes com cúpula. Os tipos de danos encontrados foram DT74, além das descrições de novos danos como DTx e DTy. Compreender como ocorriam as interações entre insetos e sementes nos ajudam a entender quando esses organismos estabeleceram as primeiras relações ecológicas. A alta frequência de herbivoria encontrada, sugere que as relações ecológicas entre esses grupos já estariam bem estabelecidas desde o Permiano inicial, onde possivelmente insetos já utilizariam sementes como alimento.

Considerando a falta de atenção dada até o momento as interações em sementes fósseis, acredita-se que mais trabalhos como o apresentado aqui possam ser realizados. A ampliação dos estudos sobre as interações entre artrópodes e plantas provenientes do Paleozoico, torna mais consistente o entendimento sobre o surgimento, estabelecimento e evolução das interações ao longo do tempo, possibilitando inclusive um melhor entendimento dos padrões atuais.

8. REFERÊNCIAS I

ADAMI-RODRIGUES, K., IANNUZZI, R. & PINTO, I.D. 2004a. Permian plant-insect interactions from a Gondwana flora of southern Brazil. *Fossils and Strata*, 51: 106-125.

ADAMI-RODRIGUES, K., SOUZA, P.A., IANNUZZI, R. & PINTO, I.D. 2004b. Herbivoria em floras Gonduânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7: 93-102.

BECK, A.L. & LABANDEIRA, C.C. 1998. Early Permian insect folivory on a gigantopterid-dominated riparian flora from north-central Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 142: 139-173.

BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C. & PONTES, C.E.S. 1976. Algumas observações sobre cordaitófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão Bacia do Paraná, Brasil: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO 1, *Actas*, Santiago do Chile, v. 3, p. L22-L81.

BOESEWINKEL, F.D. & BOUMAN, F. 1995. The Seed: Structure and Function. In: KIGEL, J. AND GALILI, G., Eds., *Seed Development and Germination*, Marcel Dekker, Inc., New York, 1-24.

CARIGLINO, B. 2018. Patterns of insect-mediated damage in a Permian Glossopteris flora from Patagonia (Argentina). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 507: 39-51.

CARIGLINO, B. & GUTIÉRREZ, P.R. 2011. Plant-Insect Interactions in a Glossopteris Flora from the la Golondrina Formation (Guadalupian—Lopingian), Santa Cruz Province, Patagonia, Argentina. *Ameghiniana*, 48(1): 103-112.

CHALONER, W.G.; SCOTT, A.C. & STEPHENSON, J. 1991 Fossil evidence for plantarthropodinteractions in the Palaeozoic and Mesozoic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, n.333, p.177-186.

CHANDRA, S. & SINGH, K.J. 1996. Plant fossils from the type locality of Talchir Formation and evidence of earliest plant–animal activity in Gondwana of India. *In*: Ayyasami, K., Sengupta, S. & Ghosh, R.N. (Eds.), *Gondwana Nine* 1, Oxford & IBH Publishing Company Private Limited, New Delhi, p. 397–414.

DUNN, M. T.; ROTHWELL, G. W. & MAPES, G. 2003. On Paleozoic plants from marine strata: *Triveniaarkansana* (Lyginopteridaceae) gen. et sp. nov., a lyginopterid from the Fayetteville Formation (middle Chesterian/Upper Mississippian) of Arkansas, USA. *American Journal of Botany*, n.90, p.1239–1252, 2003.

EDIRISOORIYA, G., DHARMAGUNAWARDHANE, H.A. & MCLOUGHLIN, S. 2018. The first record of the Permian *Glossopteris* flora from Sri Lanka: implications for hydrocarbon source rocks in the Mannar Basin: *Geological Magazine*, 155(4): 907–920.

EHRlich, P.R. & RAVEN, P.H. 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, 18: 586-608.

FARRELL, B.D., MITTER, C.C. & FUTUYMA, D.J. 1992. Diversification at the Insect-Plant Interface. *BioScience*, 42(1): 34-42.

FENG, Z., WANG, J., RÖßLER, R., ŚLIPIŃSKI, A. & LABANDEIRA, C. 2017. Late Permian wood-borings reveal an intricate network of ecological relationships. *Nature Communications*, 8(556): 1-6.

FENG, Z., BERTLING, M., NOLL, R., ŚLIPIŃSKI, A. & RÖßLER, R. 2019. Beetle borings in wood with host response in early Permian conifers from Germany. *PalZ*, 93(3): 409–421.

FUTUYMA, D.J. & AGRAWAL, A.A. 2009. Macroevolution and the biological diversity of plants and herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(43): 18054-18061.

GALLEGO, J., CÚNEO, R. & ESCAPA, I. 2014. Plant-arthropod interactions in gymnosperm leaves from the Early Permian of Patagonia, Argentina. *Geobios*, 47: 101–110.

GLASSPOOL, I., HILTON, J., CLINSON, M. & WANG, S.J. 2003. Foliar herbivory in Late Paleozoic Cathaysian gigantopterids. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 127: 125–132.

GRIFFIS, N.P, MUNDIL, R., MONTAÑEZ, I.P, ISBELL, J., FEDORCHUK, N., VESELY, F., IANNUZZI, R. & Yin, Q.Z. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). *Geological Society of American, Bulletin*, 130: 848–858.

GUERRA-SOMMER, M. 1995. Fitofagia em Glossopterídeas na paleoflora da Mina do Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências*, 22: 58-63.

IANNUZZI, R., 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: A review. *International Journal of Coal Geology*, v. 83, p. 229-247.

IANNUZZI, R. & LABANDEIRA, C.C. The oldest record of external foliage feeding and the expansion of insect folivory on land. *Annals of the Entomological Society of America*, n. 101, p. 79-94, 2008.

JENNINGS, J.R. Lower Pennsylvanian Plants of Illinois. I: A Flora from the Pounds Sandstone Member of the Caseyville Formation. *Journal of Paleontology*, n. 3, p. 459-473, 1974.

KEVAN, P.G., CHALONER, W.G. & SAVILE, D.B.O. 1975. Interrelationships of early terrestrial arthropods and plants. *Palaeontology*, n. 18, p. 391-417.

LABANDEIRA, C.C. 1998. Early history of arthropod and vascular plant associations. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, n. 26, p. 329–377.

LABANDEIRA, C.C. 2002. The history of associations between plants and animals. *In*: Herrera, C.M. & Pellmyr, O. (Eds.). *Plant-Animal Interactions - An Evolutionary Approach*. Oxford, UK, Blackwell Science, p. 26-74, 248-261.

LABANDEIRA, C.C. 2006. The four phases of plant-arthropod associations in deep time. *Geologica Acta*, 4(4): 409-438.

LABANDEIRA, C.C. 2007. The origin of herbivory on land: the initial pattern of live tissue consumption by arthropods: *Insect Science*, v. 14, p. 259–274.

LABANDEIRA, C.C. & Beall, B.S. 1990. "Arthropod Terrestriality". *In*: Mikulic, D. (Ed.). *Arthropods: Notes for a Short Course*, Knoxville, TN, *Paleontological Society*, p. 214-256.

LABANDEIRA, C.C. & PHILLIPS, T.A. 1996. Carboniferous insect gall: insight to early ecologic history of the Holometabola. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93: 8470-8474.

LABANDEIRA, C.C. & ALLEN, E.M. 2007. Minimal insect herbivory for the Lower Permian Coprolite Bone Bed site of north-central Texas, USA, and comparison to other late Paleozoic floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247:197–219.

LABANDEIRA, C.C., WILF, P., JOHNSON, K.R. & MARSH, F. 2007. *Guide to Insect (and Other) Damage Types on Compressed Plant Fossils Version 3.0*. Washington D.C., Smithsonian Institution, 25p.

LABANDEIRA, C.C.; TREMBLAY, S.L.; BARTOWSKI, K.E. & VANALLER HERNICK, L. 2014. Middle Devonian liverwort herbivory and antiherbivore defence, *New Phytologist*, v. 202, n. 1, p. 247-258.

MARQUES-DE-SOUZA, J. & IANNUZZI, R. 2016. New occurrences of the genus *Ottokaria* Zeiller (Cisuralian, Paraná Basin, Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 234: 1-10.

MCCLOUGHLIN, S. 2011. New records of leaf galls and arthropod oviposition scars in Permian–Triassic Gondwanan gymnosperms. *Australian Journal of Botany*, 59: 156–169.

MEYER, J. & MARESQUELLE, H.J. 1983. *Anatomie des galles*. Berlin, GeruderBorntraeger, 662p.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A. & FRANÇA, A. B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 265-287.

MILLAN, J.H. 1994. O esquema de identificação e classificação das sementes gondvânicas: reatualização e análise crítica: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 66 (4): 475–488.

PANIZZI, A.R. & PARRA, J.R.P. 2009. Introdução à bioecologia e nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas, *in* Panizzi, A. R. and Parra, J.R.P. (eds.), *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*: Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, Londrina: Embrapa Soja, p. 1107–1139.

PANIZZI, A.R. & SILVA, F.A.C. 2009. Insetos sugadores de sementes (Heteroptera), *in* Panizzi, A.R. and Parra, J.R.P. (eds.), *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*: Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica; Londrina: Embrapa Soja, p. 465–522.

PINHEIRO, E.R.S., IANNUZZI, R. & TYBUSCH, G.P. 2012a. Specificity of leaf damage in the Permian “*Glossopteris* Flora”: A quantitative approach. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 174: 113-121.

PINHEIRO, E.R.S., TYBUSCH, G.P. & IANNUZZI, R. 2012b. New evidence of plant–insect interaction in the Lower Permian from Western Gondwana. *Palaeobotanist*, 61: 67–74.

PINHEIRO, E.R.S., GALLEGOS, J., IANNUZZI, R. & CÚNEO, R. 2015. First report of feeding traces in Permian *Botrychiopsis* fronds from Western Gondwana. *Palaios*, 30: 613–619.

PREVEC, R., LABANDEIRA, C.C., NEVELING, J., GASTALDO, R.A., LOOY, C.V. & BAMFORD, M. 2009. Portrait of a Gondwanan ecosystem: a new Late Permian fossil locality from KwaZulu–Natal, South Africa. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 156: 454–493.

SCHACHAT, S.R., LABANDEIRA, C.C., GORDON, J., CHANEY, D., LEVI, S., HALTHORE, M.N. & ALVAREZ, J. 2014. Plant-Insect Interactions from Early Permian (Kungurian) Colwell Creek Pond, North-Central Texas: The Early Spread of Herbivory in Riparian Environments. *International Journal of Plant Sciences*, 175(8): 855-890.

SCHACHAT, S.R., LABANDEIRA, C.C. & CHANEY, D. 2015. Insect herbivory from early Permian Mitchell Creek Flats of north-central Texas: Opportunism in a balanced component community. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 440: 830–847.

SCHUH, R.T. & SLATER, J.A. 1995. *True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history*. New York, Cornell University, 336p.

SCOTT, A.C. & TAYLOR, T.N. 1983. Plant/animal interactions during the Upper Carboniferous. *Botanical Review*, n. 49, p. 259-307.

SCOTT, A.C.; CHARLONER, W.G. & PATERSON, S. 1985. Evidence of pteridophyte arthropod interactions in the fossil record. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B*, (London, UK), n. 86, p. 133-140, 1985.

SCOTT, A.C., STEPHENSON, J. & CHALONER, W.G. 1992. Interaction and coevolution of plants and arthropods during the Palaeozoic and Mesozoic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 335: 129-165.

SHAROV, A.G. 1973, Morphological features and mode of life of the Palaeodictyoptera, in Bei-Benko, G.Y. (ed.), Readings in the memory of Nicolaj Aleksandrovich Kholodovskij: Science, Leningrad, p. 49–63.

SHCHERBAKOV, D.E. 2008, On Permian and Triassic insect faunas in relation to biogeography and the Permian–Triassic crisis. *Paleontological Journal*, 42: 15–31.

SHCHERBAKOV, D.E., MAKARKIN, V.N., ARISTOV, D.S. & VASILENKO, D.V. 2009, Permian insects from the Russky Island, South Primorye: *Russian Entomological Journal*. 18: 7–16.

SLATER, B.J, MCLOUGHLIN, S. & HILTON, J. 2012. Animal–plant interactions in a Middle Permian permineralised peat of the Bainmedart Coal Measures, Prince Charles Mountains, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 363–364: 109-126.

SOUTHWOOD, T.R.E. 1987. Interactions of plants and animals: patterns and process. *Oikos*, 44: 5-11.

SRIVASTAVA, A.K. 1987. Lower Barakar flora of Raniganj Coalfield and insect/ plant relationship. *Palaeobotanist*, 36: 138–142.

SRIVASTAVA, A.K. & AGNIHOTRI, D. 2011. Insect traces on Early Permian plants of India. *Paleontologicheskii Zhurnal*, 45: 200–206.

SRIVASTAVA, R. & SRIVASTAVA, A.K. 2016. Insect herbivory in Gondwana plants. *Palaeobotanist*, 65: 131–137.

STEWART, W.N. & ROTHWELL, G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants 1^a ed.* Cambridge University Press, 521p.

TAYLOR, T.N., TAYLOR, E.L. & KRINGS, M. 2009. *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants 2 edition*: Elsevier, London, UK, 1253 p.

VAN AMEROM, H.W.J. 1966. *Phagophytichnus ekowskii* nov. ichnogen. & ichnosp. keine Missbildung infolge von Insektenfrass, aus dem spanischen (Provinz Leon). *Leidse Geologische Mededeel.*, n.38, p.181–184.

VAN AMEROM, H. J. W. & Boersma, M. 1971. A new find of the Ichnofossil *Phagophytichnus ekowskii* Van Amerom. *Geologie en Mijnbouw*, n.50, p.667-670.

VAN AMEROM, H. W. J. 1973 Gibt es Cecidien im Karbon bei Calamiten und Asterophylliten? 7TH CONGR. INT. STRAT. GEOL. CARBONIF, Krefeld, Krefeld, Germany: Van Acken, p.63–83.

WILLIS, K.J & MCELWAIN, J.C. 2002. *The Evolution of Plants*. Oxford, University Press, 378p.

WNUK, C. 1996. The development of floristic provincialism during the Middle and Late Paleozoic. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 90: 6-40.

XU, Q., JIM, J. & LABANDEIRA, C.C. 2018. Williamson Drive: Herbivory from a north-central Texas flora of latest Pennsylvanian age shows discrete component community

structure, expansion of piercing and sucking, and plant counter defenses: *Review of Palaeobotany and Palynology*. 251: 28–72.

PARTE II
Artigo Científico

**FIRST EVIDENCE OF SEED PREDATION BY ARTHROPODS FROM GONDWANA
(RIO BONITO FORMATION, PARANA BASIN, BRAZIL)**

THAMIRIS BARBOSA DOS SANTOS¹; ESTHER REGINA DE SOUZA PINHEIRO¹;

ROBERTO IANNUZZI¹

¹ *Laboratório de Paleobotânica, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil; e-mail:thamiris.barbosa.santos@gmail.com*

RRH: SEED PREDATION BY ARTHROPODS

LRH: T. B. DOS SANTOS ET AL.

ABSTRACT

Seeds are plant organs commonly found in late Paleozoic deposits all over the world. In Gondwana, the seeds are found in deposits from Africa, Antarctica, Oceania and South America, widely reported in the well-know “*Glossopteris* Flora”. Even with a great record of these plant organs, little is known about insect–plant interactions in seeds during Carboniferous-Permian periods. In this present paper, we recorded the first formal register of seed consumption by arthropods in *Cordaicarpus* and *Samaropsis*-like seeds for Gondwana from the Permian deposits in Southern Brazil. The material analyzed was collected in Itanema II outcrop (Santa Catarina State) and comprised thirty–four seeds. Eight specimens presented some kind of insect–plant interaction, representing 23.5% of herbivorized specimens. The consumption was inflicted by insects with mouthparts such as piercing/sucking, probably belonging to groups as hemipteroids and paleodictyopteroids. The damages were described as perforations and also scale scars along the seed body. We recorded some damage types as DT74 and two other new damage types referred to as DTx and DTy, some of them specific to a few morphotypes. The elevated number of seed

predation introduces the idea that perhaps seed consumption by insects was starting to establishing during the early Permian.

INTRODUCTION

Arthropods and plants together are more than a half of the total global diversity and compound great part of the terrestrial ecosystems (Futuyma and Agrawal 2009). Studies of the ecological relationships between these groups in past periods have been broadly studied (Labandeira 2002). In fact, the interactions between plants and herbivores animals have shown patterns in life strategies and diversity, such as phytophagous insects associated with miscellaneous plants (Kennedy and Southwood 1984; Strong et al. 1984; Leather 1986). A few studies about the relationship between insects and plants in the fossil record shows how these groups co-occurred and interacted in the environment, revealing examples of radiation, speciation and coevolution (Scott and Taylor 1983; Labandeira and Beall 1990; Chaloner et al. 1991; Farrell et al. 1992; Scott et al. 1992; Labandeira 2006; Becerra et al. 2009; Kergoat et al. 2011). Nevertheless, in the fossil record of plants, insect damage enable us to account and understand how these interactions have occurred and changed over the time.

The record of insect-plant associations from Permian are plenty discussed in Euramerican deposits. Therefore, leaf compression/impressions were analyzed in order to evaluate qualitative and quantitative data (Beck and Labandeira 1998; Glasspool et al. 2003; Labandeira and Allen 2007; Schachat and Labandeira, 2015; Labandeira et al. 2016). However, Gondwanan deposits have fewer records of insect-plant interactions in comparison with Euroamerica. We have record of herbivory in deposits from Argentina (Cariglino and Gutiérrez 2011; Gallego et al. 2014; Cariglino 2018), Australia (McLoughlin 2011), India (Chandra and Singh 1996, Srivastava 2011; Srivastava and Srivastava 2016), Sri Lanka (Edirisooryia et al. 2018), South Africa (Prevec et al.

2009) and Brazil (Adami–Rodrigues et al. 2004a, b; Pinheiro et al. 2012a, 2012b; Pinheiro et al. 2015).

In Gondwana, “*Glossopteris* Flora” was broadly sparsely during the Permian. The insect–plant interactions are found in *Cordaites* Unger, *Botrychiopsis* (Kurtz) Archangelsky and Arrondo, *Gangamopteris* McCoy, *Kladistamuos* Carrizo and Archangelsky, *Sphenophyllum* (Brongniart) Koenig, *Dizeugotheca* Archangelsky and de La Sota, *Pecopteris* (Brongniart), *Sphenopteris* (Brongniart) Stenberg, *Megistophyllum* Archangelsky leaves. Meantime, the most consumed phytofossils were *Glossopteris* Brongniart. The functional feeding groups found in Gondwana deposits are piercing and sucking, mining, galling, oviposition and skeletonization, being the most commonly recorded external foliage feeding, such as margin feeding and hole feeding. The most abundant damage types found are DT01, DT02, DT08 and DT12 (Prevec et al. 2009; Cariglino and Gutiérrez 2011; McLoughlin 2011; Srivastava 2011; Pinheiro et al. 2012a; Gallego et al. 2014; Pinheiro et al. 2015; Edirisooryia et al. 2018; Srivastava and Srivastava 2016; Cariglino 2018), all found in leaves.

In addition, other studies with damage records, such as seed predation, have been reported in a few studies (Shcherbakov 2008; Labandeira et al. 2013; Schachat et al. 2014; Schachat et al. 2015; Labandeira et al. 2016), these Permian records occurs only in Euroamerican deposits. On the other hand, for Gondwanan deposits, there is just one report of seed predation in *Cordaicarpus* sp. for the Permian of India (Srivastava 1994). However, this report was presented at a conference and the photos do not show details of the damage itself. In this context, our goals are to report and analyze the first descriptive record of seed damage for the Western Gondwana in deposits in Southern Brazil.

MATERIALS AND METHODS

Geological settings

The material analyzed in this research was collected in Itanema II outcrop, located in Urussanga municipality, Santa Catarina State, in Southern Brazil. The collects were performed in the most basal layer in the outcrop. According to Marques–de–Souza and Iannuzzi (2016), the phytofossiliferous association was present at the level named N1. The first 0.5 m is composed of mudstone, where approximately 0.4 m from the base is dark grey rocks and the uppermost 0.1 m are brownish. The N1 level corresponds to the richest phytofossiliferous horizon, where we could find abundant fern (sterile and fertile) fronds; stems, foliar whorls and reproductive structures of sphenophytes; leaves and reproductive structures of glossopterids; and less frequently lycophytes stems; conifer leaf-shoots; ginkgoalean and cordaitalean leaves; and seeds (Marques–de–Souza and Iannuzzi 2016).

In Santa Catarina State, the Rio Bonito Formation of the Parana Basin is divided in ascending stratigraphic orders by Triunfo, Paraguaçu and Siderópolis members. The Itanema II outcrop is correlated to Treviso Coal, being the phytofossiliferous horizon immediately above the Barro Branco Coal, at uppermost part of the Siderópolis Member (Schneider et al. 1974). A time span from Asselian to Artinskian has been recently established for the Rio Bonito Formation obtained from radiometric datings of distinct *tonstein* layers stratigraphically distributed through this unit, especially in Rio Grande do Sul state (Griffs et al. 2018), but also in Paraná state (Jurigan et al. 2019). Based on stratigraphical and biostratigraphical correlations with these isotopically dated sections (Iannuzzi 2010), it can be assumed a middle Artinskian age for Siderópolis Member in Santa Catarina State. The material collected are preserved as compressions/impressions and were housed in the Paleobotany Collection at the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DPE–IGeo–UFRGS), under the prefix MP-Pb.

The Itanema II outcrop is characterized by the presence of *Cordaicarpus* Geinitz (1862), *Samaropsis* Goeppert (1864) and cupulate seeds not previously described. The genera *Cordaicarpus* and *Samaropsis* are frequent in the Paraná Basin during the Permian. According to Milan (1994), these genera have some morphological differences in their sarcotestas, the most external region of the tegument (Taylor et al. 2009), and various shapes. While *Samaropsis* shows a well differentiated sarcotesta, which can be present, or not, due to the specimen preservation, *Cordaicarpus* does not have a well differentiated sarcotesta. Observing the presence or absence of the testa is often not obvious, which can lead to erroneous classifications. As a result, the identification method by Bernardes-de-Oliveira and Pontes (1976) was used in Gondwanan seeds, in which the seeds with the ratio "maximum testa width / maximum nucellus width" greater than or equal to $\frac{1}{4.5}$ ($= 0.22$) belong to *Samaropsis*, and those with a ratio lower than $\frac{1}{4.5}$ belong to *Cordaicarpus*.

Plant damage classification

The samples analyzed contained compressions/impressions of fossil seeds. All seeds were placed together in part and counterpart to avoid duplications. Seed damage was classified using damage types (DTs) and functional feeding groups (FFGs), according to “Guide to Insect (and Other) Damage Types on Compressed Plant Fossils” (Labandeira et al. 2007), as well as other publications with DTs descriptions (Schachat et al., 2014; Schachat et al. 2015).

In addition, descriptions were realized for the unpublished damages in the literature, taking into account the size, shape and location of damage in the seed specimens. For these new DTs were proposed inclusion in distinct FFGs, and associations were made with possible damage inducers.

RESULTS

Specimens studied

The specimens analyzed in this study were classified in fifteen morphotypes, being them: *Cordaicarpus* sp. 1 (Fig.1A), *Cordaicarpus* sp. 2 (Fig.1B), *Cordaicarpus* sp. 3 (Fig.1C), *Cordaicarpus* sp. 4 (Fig.1D), *Cordaicarpus* sp. 5 (Fig.1E), *Samaropsis* sp. 1 (Fig.1G), *Samaropsis* sp. 2 (Fig.1H), *Samaropsis* sp. 3 (Fig.1I), *Samaropsis* sp. 4 (Fig.1J), *Samaropsis* sp. 5 (Fig.1K), *Samaropsis* sp. 6 (Fig.1L), *Samaropsis* sp. 7 (Fig.1M), cupulate seeds (Fig.1F) and seed 1 (Fig.1N) and seed 2 (Fig.1O).

The seeds with damage traces from the Itanema II outcrop were found in specimens identified as *Cordaicarpus* sp. 1, *Cordaicarpus* sp. 2, *Samaropsis* sp. 5 and cupulate seed (Figures 2 and 3). Thirty-four seeds were analyzed and eight seeds contained damage records (23.5%) (Table 1). Three DTs were documented in the outcrop, being them namely DT74 and the two new damage types DTx and DTy, all associated with the FFG seed predation.

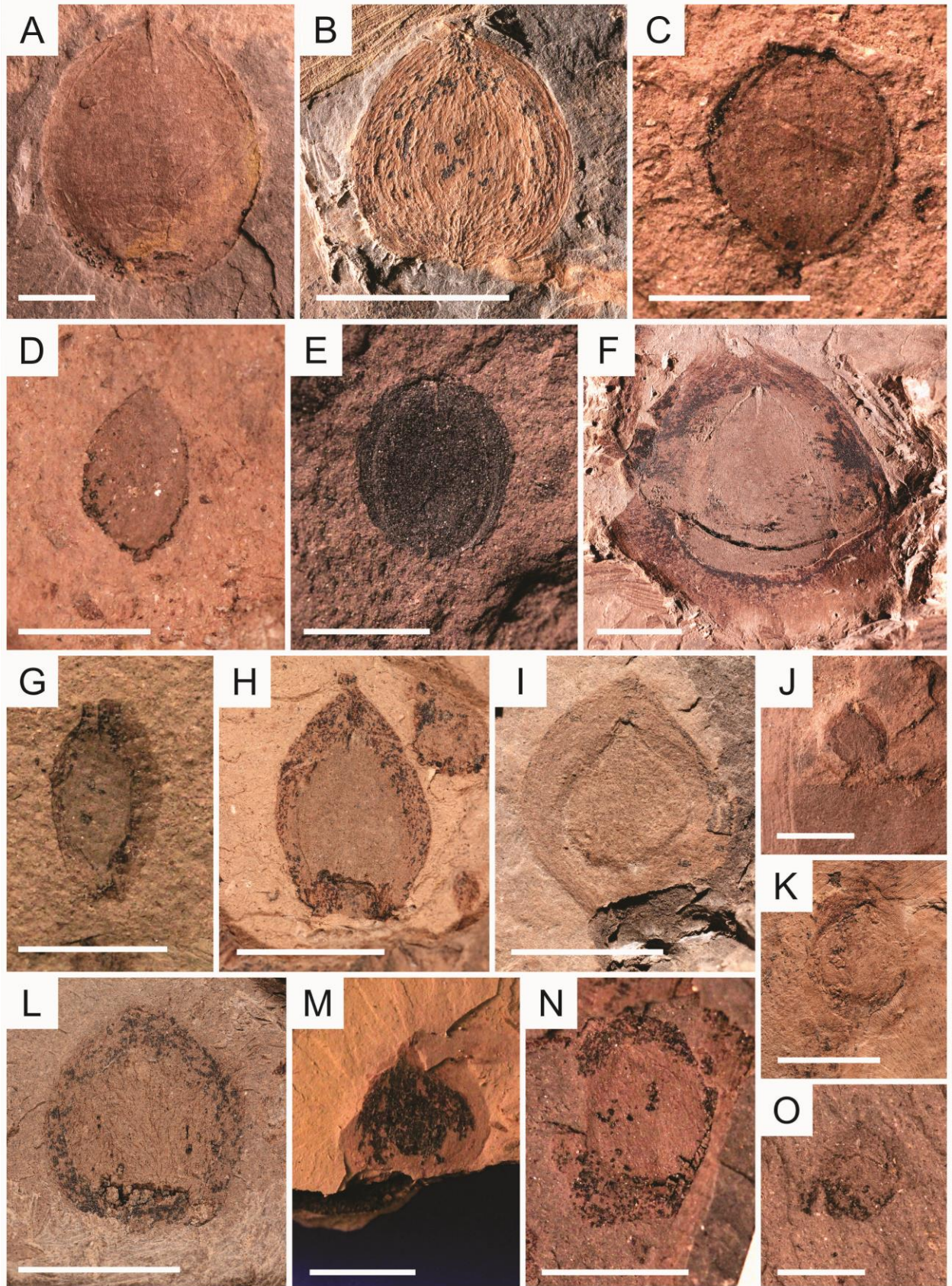


FIG 1. — Morphotypes found in Itanema Outcrop: **A)** *Cordaicarpus* sp. 1 (MP-Pb 5367); **B)** *Cordaicarpus* sp. 2 (MP-Pb 5187); **C)** *Cordaicarpus* sp. 3 (MP-Pb 5075); **D)** *Cordaicarpus* sp. 4 (MP-Pb 5181); **E)** *Cordaicarpus* sp. 5 (MP-Pb 5491); **F)** Cupulate seed (MP-Pb 5202); **G)** *Samaropsis* sp. 1 (MP-Pb 5380); **H)** *Samaropsis* sp. 2 (MP-Pb 5068); **I)** *Samaropsis* sp. 3 (MP-Pb 5146); **J)** *Samaropsis* sp. 4 (MP-Pb 5215); **K)** *Samaropsis* sp. 5 (MP-Pb 5216); **L)** *Samaropsis* sp. 6 (MP-Pb 5327); **M)** *Samaropsis* sp. 7 (MP-Pb 5493); **N)** Seed 1 (MP-Pb 5494); **O)** Seed 2 (MP-Pb 5257). Scale: white: 5mm.

TABLE 1. — Classification of damages found in seed specimens from the Itanema II outcrop (Urussanga, SC), Bacia do Paraná.

Samples	Taxa	Damage types		
		DT74	DT398	DT399
MP-Pb 5147	Cupulate seed		X	
MP-Pb 5202	Cupulate seed		X	
MP-Pb 5380	Cupulate seed			X
MP-Pb 5216	<i>Samaropsis</i> sp. 5			X
MP-Pb 5367	<i>Cordaicarpus</i> sp. 1	X		
MP-Pb 5370	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2			X
MP-Pb 5372b	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	X	X	X
MP-Pb 5379	<i>Cordaicarpus</i> sp. 2	X		X

Damage types

Damage type: DT 74

Seed hosts: *Cordaicarpus* sp. 1 (Fig. 2A, 2B) and *Cordaicarpus* sp. 2 (Fig. 2C, 2F, 2G, 2I).

Samples: MP-Pb 5367, 5379, 5372b.

Description: Circular and irregular perforations scattered in the center of the seed body, either found singly or overlapping. The diameter is no larger than 0.5mm.

New Damage Type: DTx

Seed hosts: *Cordaicarpus* sp. 2 (Fig. 2C, 2E) and cupulate seeds (Fig. 3A, 3B, 3C, 3D, 3E).

Samples: MP-Pb5372b, 5147, 5202.

Description: Scale scars distributed along the seed. It can be observed isolated, sequential or scattered in the seed, either in the center or in the wing (sarcotesta). Surface more wrinkled than the surroundings. Features dimensions ranging from 1.0 to 2.1 mm in length.

New Damage type: DTy

Seed hosts: *Cordaicarpus* sp. 2 (Fig. 3I, 3J, 2C, 2D, 2G, 2H), *Samaropsis* sp. 5 (Fig. 3F, 3G, 3H), and cupulate seed (Fig. 3K, 3L).

Samples: MP-Pb 5370, 5372b, 5379, 5216, 5380.

Description: Traces distributed throughout the seed body. Circular perforation isolate in the center of the seed body or sequential overlapping. They diameter can vary from 0.5 to 1 mm; well-evidenced central depression. Associated with piercing and sucking.

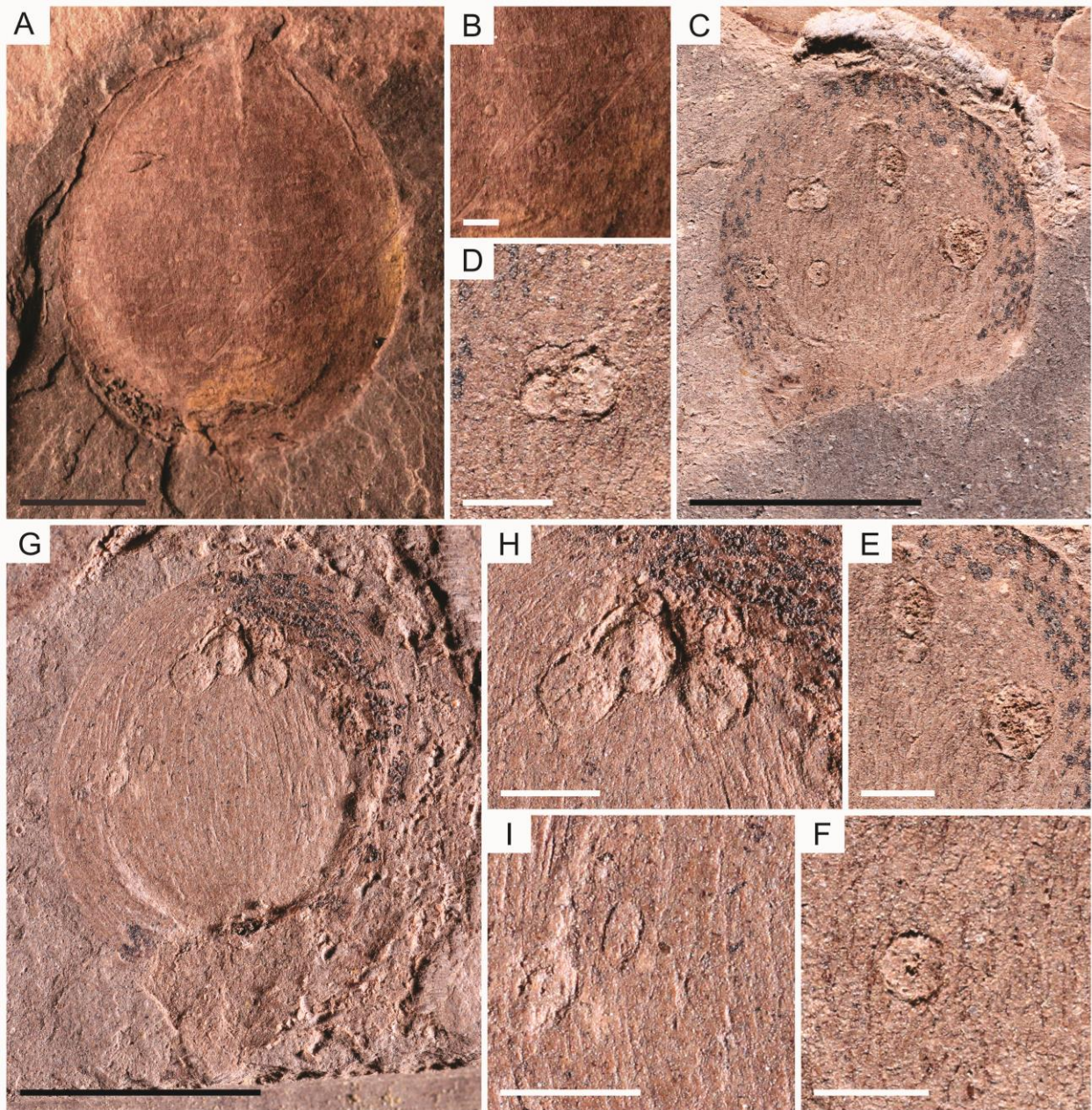


FIG 2. — Evidence of different types of seed predation from the Itanema II Outcrop: **A)** *Cordaicarpus* sp. 1 (MP-Pb 5367) with DT74; **B)** Detail of *Cordaicarpus* sp. 1 (MP-Pb 5367) showing small perforations; **C)** *Cordaicarpus* sp. 2 (MP-Pb 5372b); **D)** exemplifying DT74; **E)** presence of DTx; **F)** detail of DTy; **G)** *Cordaicarpus* sp. 2 (MP-Pb 5379); **H)** DTy; **I)** detail of DT74. Scale bars: black =5 mm, white =1 mm.

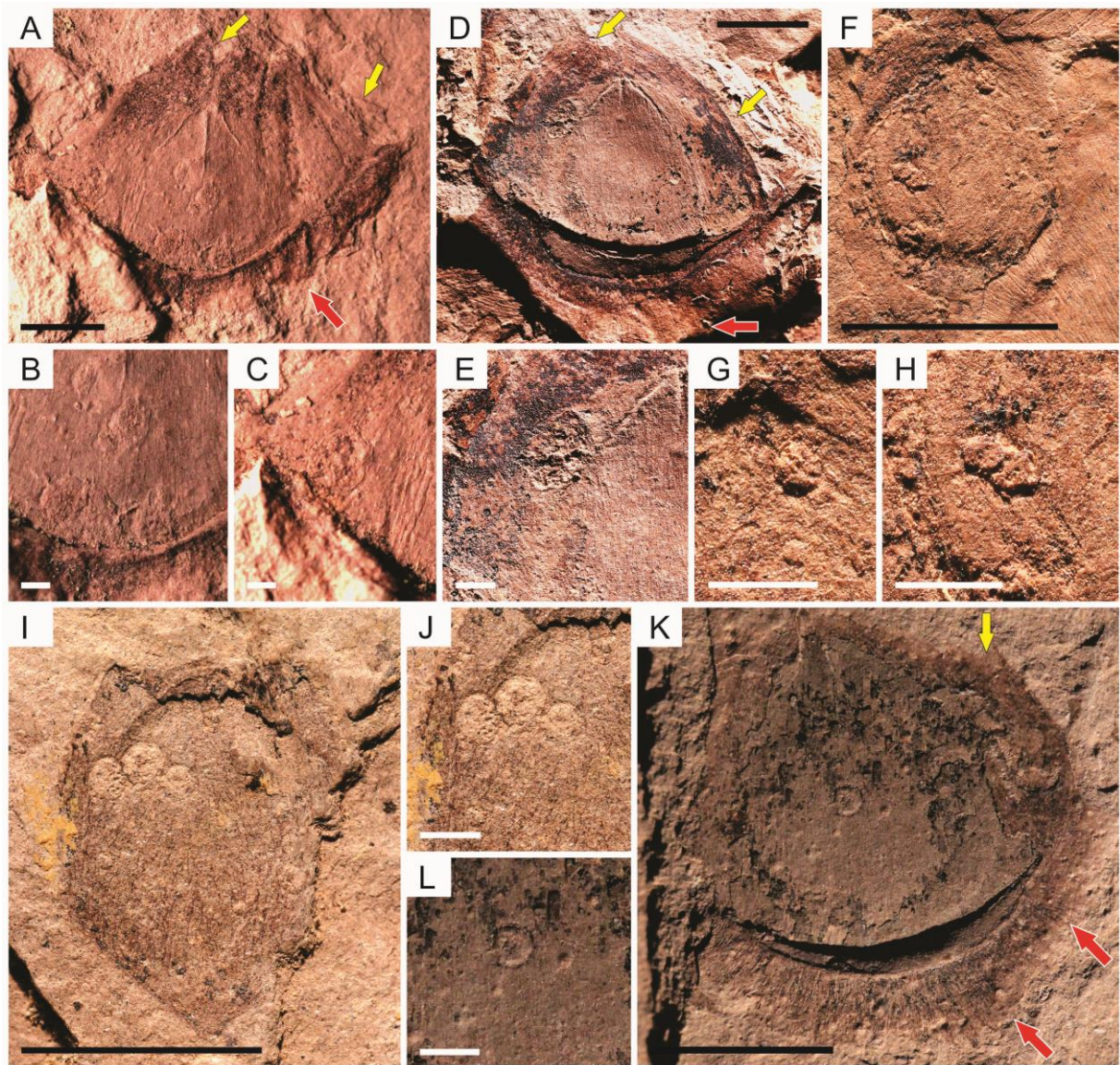


FIG 3. — Examples of seed predation from the Itanema II Outcrop: **A**) Cupulate seed (MP-Pb 5147); **B**) **C**) details of scale scars, DTx; **D**) Cupulate seed (MP-Pb 5202); **E**) presence of DTx with details of the scale scar; **F**) *Samaropsis* sp. 5 (MP-Pb 5216) showing DTy; **G**) **H**) isolated perforations, DTy; **I**) *Cordaicarpus* sp. 2 (MP-Pb 5370) with evidence of DTy; **J**) three sequential perforations, DTy; **K**) Cupulate seed (MP-Pb 5380) showing DTy; **L**) a single perforation in the center of the body, DTy. Yellow arrows showing cupulate structure; red arrows showing the seed base with fringes. Scale bars: black =5 mm, white =1 mm.

DISCUSSION

This paper presents the first formal record of insect–plant interaction in *Cordaicarpus*, *Samaropsis* and cupulate seeds from Permian deposits of Gondwana. Record of seed interactions is rare and poorly known for Paleozoic, and is only recognized for Late Pennsylvanian-Permian deposits from the United States and Russia (Sharov 1973; Labandeira 2007; Shcherbakov 2008; Schachat et al. 2014; Schachat et al. 2015). In most insect–plant interaction studies where the bulk flora was analyzed (leaves, fronds, seeds and stems), the authors did not find damages in seeds (Beck and Labandeira 1998; Eidirisooriya et al. 2016; Xu et al. 2018). Additionally, studies of herbivory from Gondwana focus on plant organs such as leaves and fronds. Thus, the lack of information about the interactions between arthropods and Permian seeds results from both aspects: the low frequency of these interactions in the fossil record and the scarcity of research focusing on seed predation on deep time.

The damages presented a distribution pattern among the seed morphotypes. The DT74, for instance, was exclusively found in *Cordaicarpus* spp. (Table 1). Otherwise, the cupulate seeds and *Samaropsis* sp. 5 presented just the new DTs. Also, two specimens of *Cordaicarpus* sp. 2 presented more than one type of damage, i.e. MP-Pb 5372b and MP-Pb 5379, which in the latter was found the three different types of interaction: DT74, DTx and DTy (Table 1). As well, the new DTs, i.e. DTx and DTy, were found in all kinds of seeds with damage (Table 1). This could be possible since the new DTs would be induced for insects who would already developed the capacity to overcome the plant defenses (such as the cupulate structure), being able to explore all food resources (i.e. different types of seeds). Instead of this, the inducer of DT74 would not be able to consume seeds with thick coat/sarcotesta/integument such as *Samaropsis* spp. or cupulate seeds, being able to consume seeds with thin sarcotesta, i.e. *Cordaicarpus* spp. This can show the different feeding strategies, since the inducers of the DTx and DTy could explore more than one

food source, possibly because of the presence of a putative robust mouthpart, differently of inducers of DT74.

An informal report by Cox (1974) showed damage in Permian *Samaropsis* sp. seeds from Euroamerica, however, no location was mentioned, no photographic record and no description of interaction was provided. A few more recent studies have also reported and described in the Permian of Euroamerica damages to *Samaropsis* spp., spermatophytas and also to platispermic seeds, where DT73, DT74, DT124 and DT257 were found (Schachat et al. 2014; Schachat et al. 2015). Schachat et al. (2014) have reported high rates of damage DT73 and DT74. As previously said, Srivastava (1994) reported one possible seed predation by insects in India deposits but there is no details about it. In the present study, we found in Western Gondwana the damage DT74, DTx and DTy, the latter two being detailed and described herein for the first time. These two new damages further enriches the ecological relationships between the phytophagous–seed groups and promotes the hypothesis that arthropods and seeds would already have established consumption relations in western Gondwana during Paleozoic.

The frequency of seed predation found for the outcrop (23.5%) can be considered relatively high when compared to other studies. Schachat et al. (2015) of 1.17% the authors analyzed 599 seeds of which 7 specimens presented interactions. Even lower is the frequency found, the authors conclude that seed predation was highly delayed for late Paleozoic, and the records through the Paleozoic are rare. However, in another Permian flora in the United States, Schachat et al. (2014) found the frequency of seed predation 5.24% when analyzed 629 seeds of which only 33 presented interactions. The authors suggested that seed damages rates had considering levels, but compared to the present study, herbivory rates in seeds are considered low. Also, the authors suggested that herbivory in seeds was not yet established before and during the Early Permian, so the damage seed rates would not be elevated. In this research, even the

numbers of specimens analyzed was low, our study provides great description and details for Permian seed interactions and brings up the idea that insects–seed interactions were starting to established during early Permian.

A few authors report possible interactions in seeds, such as the presence of burrows on the surface of the integument, indicating the habit of saprophagous insects (Srivastava 1994). However, the record of this interaction is poorly detailed and there is no clear photographic documentation demonstrating the presence of this damage. Other authors report that insects would had very robust mandibular structures to puncture the rigid seed coat (Schachat et al. 2014), as well the hemipterans of the families Lygaeidae and Pyrrhocoridae, which prefers mature seeds (Janzen 1978; Panizzi and Parra 2009). However, damage associated with piercing and sucking can also be related to seeds that are fresh and unripe, as currently damage associated with this functional feeding group is also found in young legume seeds (Schuh and Slater 1995; Panizzi and Silva 2009). Thus, the damage found in the present work could also indicate the habit of insects pursuing for young seeds, since the tissue would not be rigid enough allowing the insect to insert the stylets into the seed in formation by accessing the internal content for nutrition and obtaining resources.

The Itanema II outcrop is composed of complete (sterile and fertile) fern fronds, sphenophyte fructifications still connected to foliar whorls, and glossopterid leaves connected to stems, with different parts of plants closely packed and overlapping each other, which indicates little/ short transport providing a good preservation of morphological characteristics. In addition, the cupulate seeds (MP-Pb 5147, 5202 and 5380; Fig. 3A, 3D e 3K) have a receptacle, which demonstrates that the seeds would still be connected to the part of reproductive structure, indicating a possible low maturity of seed. In addition to the presence of piercing and sucking damage in these cupulate structure there is also presence of scale scars damage. The authors

Schachat et al. (2014) described the presence of scales scars in Permian seeds where phytophagous insects would have a wide range of targets, inflicting both testa and gametophyte regions. The scales scars recorded in the present work were also found in all regions of the seed, showing that the insects would not have preference in the seed–feeding site.

Seeds are reproductive organs of the plant, which can store nutrients; protect the embryo against predators and desiccation. Seeds are an important source of food for animals because it contains high quantity of protein and nutrient values (Janzen 1971; Kozłowski and Gunn 1972; Stiles 2000). In a few cases, damage to seeds is characteristic because it has removal of the internal and external integument, and can inflict its gametophyte. Attacks on seeds by chewing insects are more likely to damage and make the embryo infeasible (Panizzi and Silva 2009). However, damage caused by Hemiptera (Heteroptera) when they reach the embryo radicle also impedes germination viability and decreases seedling vigor (Panizzi and Parra 2009). In the fossil record, seed interactions are associated with inducers such as piercing and sucking, related to Palaeodictyopteroidea and Hemiptera (Shcherbakov et al. 2009). In current seeds, seed–sucking insects are represented by hemiptera (Heteroptera) and are considered one of the groups that most cause damage to leguminous nowadays (Schuh and Slater 1995).

CONCLUSION

To sum up, insect–plant interactions in leaves are plenty found in Euamerican and Gondwana deposits. However, the seed damage record is scarcely known worldwide through the Paleozoic. Our contribution was to register and describe the first formal report for seed predation for Gondwana deposits during the Permian. Although the moderate numbers of seed specimens, our record represents a high number of arthropod herbivory for the Early Permian. Insect–plant interactions are very rare for seeds in Permian deposits, being extremely important to analyze the

feeding guilds presented since past periods. In addition, this research described two new DTs, which enriches damage types in seeds and understanding the ecological relationships between these groups since Paleozoic.

Acknowledgement

This research received support from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico of Brazil (Brazilian National Council for Scientific and Technological Development – CNPq) by research fellowships granted to senior author (132175/2019–3) and to RI (430096/2016–0; PQ 312747/2017–9) and from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – CAPES) to ERSP (88887.351775/2019–00). The authors are indebted with Luiz F. Lopez for the excellent photos taken from the seed material.

References

- ADAMI–RODRIGUES, K., ALVES DE SOUZA, P., IANNUZZI, R. and PINTO, I.D., 2004a, Herbivoria em floras Gonduanicas do Neopaleozoico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa: *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 7, p. 93–102.
- ADAMI–RODRIGUES, K., IANNUZZI, R. and PINTO, I.D., 2004b, Permian plant–insect interactions from a Gondwana flora of Southern Brazil: *FossilsStrata*, v. 51, p. 106–125.
- BECERRA, J.X., NOGE, K. and VENABLE, D.L., 2009, Macroevolutionary chemical escalation in an ancient plant–herbivore arms race: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.106, n.43, p. 18062–18066.

- BECK, A.L. and LABANDEIRA, C.C, 1998, Early Permian insect folivory on a gigantopterid-dominated riparian flora from north-central Texas: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 142, p. 139–173.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M.E.C. and PONTES, C.E.S., 1976, Algumas observações sobre cordaitófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão Bacia do Paraná, Brasil: *Congresso Geológico Chileno 1, Actas, Santiago do Chile*, v. 3, p. L22–L81.
- CARIGLINO, B. and GUTIÉRREZ, P.R, 2011, Plant–Insect Interactions in a *Glossopteris* Flora from the la Golondrina Formation (Guadalupean—Lopingian), Santa Cruz Province, Patagonia, Argentina: *Ameghiniana*, v. 48, n. 1, p. 103–112.
- CARIGLINO, B, 2018, Patterns of insect-mediated damage in a Permian *Glossopteris* flora from Patagonia (Argentina): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 507, p. 39–51.
- CHALONER, W.G., SCOTT, A.C. and STEPHENSON, J., 1991, Fossil evidence for plant–arthropod interactions in the Palaeozoic and Mesozoic: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, n. 333, p. 177–186.
- CHANDRA, S. and SINGH, K.J., 1996, Plant fossils from the type locality of Talchir Formation and evidence of earliest plant–animal activity in Gondwana of India, *in* Ayyasami, K., Sengupta, S., and Ghosh, R.N. (eds.), *Gondwana Nine*, v. 1, p. 397–414.
- COX, B., 1974, Little evidence for Palaeozoic arthropod and plant interaction: *Nature*, v. 249, p. 615–616.
- EDIRISOORIYA, G., DHARMAGUNAWARDHANE, H.A. and MCLOUGHLIN, S., 2018, The first record of the Permian *Glossopteris* flora from Sri Lanka: implications for hydrocarbon source rocks in the Mannar Basin: *Geological Magazine* v. 155 (4), p. 907–920.
- FARRELL, B.D., CHARLES MITTER, C. and FUTUYMA, D.J., 1992, Diversification at the Insect–Plant Interface: *BioScience*, v. 42(1), p. 34–42.

- FUTUYMA, D.J. and AGRAWAL, A.A., 2009, Macroevolution and the biological diversity of plants and herbivores: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.106, n.43, p.18054–18061.
- GALLEGO, J., CÚNEO, R. and ESCAPA, I., 2014, Plant–arthropod interactions in gymnosperm leaves from the Early Permian of Patagonia, Argentina: *Geobios*, v. 47, p. 101–110.
- GLASSPOOL, I., HILTON, J., COLLINSON, M. and WANG, S.J., 2003, Foliar herbivory in Late Paleozoic Cathaysian gigantopterids: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 127, p. 125–132.
- GRIFFIS, N.P, MUNDIL, R., MONTAÑEZ, I.P, ISBELL, J., FEDORCHUK, N., VESELY, F., IANNUZZI, R., Yin, Q.Z. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single- zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). *V. 130*, p. 848–858.
- IANNUZZI, R., 2010. The flora of Early Permian coal measures from the Paraná Basin in Brazil: A review. *International Journal of Coal Geology*, v. 83, p. 229-247.
- JANZEN, D.H., 1971, Seed predation by animals: *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 2, p. 465–492.
- JANZEN, D.H., 1978, The ecology and evolutionary biology of seed chemistry as relates to seed predation, *in* Harborne, J.B. (ed.), *Biochemical aspects of plant and animal coevolution*: Academic Press, London, p. 163–206.
- JURIGAN, I., RICARDI-BRANCO, F., NEREGATO, R., SANTOS, R.J.S, 2019. A new tonstein occurrence in the eastern Paraná Basin associated with the Figueira coalfield (Paraná, Brazil): Palynostratigraphy and U-Pb radiometric dating integration: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 96 (102377), p. 1–18.

- KENNEDY, C.E.J. and SOUTHWOOD, T.R.E., 1984, The Number of Species of Insects Associated with British Trees: A Re–Analysis: *Journal of Animal Ecology*, v.53, n.2, p.455–478.
- KERGOAT, G.J., LE RU, B.P., GENSON, G., CRUAUD, C., COULOUX, A. and DELOBER, A., 2011, Phylogenetics, species boundaries and timing of resource tracking in a highly specialized group of seed beetles (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae): *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v.59, p.746–760.
- KOZLOWSKI, T.T. and GUNN, C.R., 1972, Importance and characteristics of seeds, *in* Kozlowski, T.T. (ed.), *Seed Biology: importance, development, and germination*: Academic Press, New York, p. 1–20.
- LABANDEIRA, C.C., 1998, Early history of arthropod and vascular plant associations: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, n.26, p.329–377.
- LABANDEIRA, C.C., 2002, The history of associations between plants and animals, *in* Herrera, C.M. and Pellmyr, O. (eds.), *Plant–Animal Interactions – An Evolutionary Approach*: Blackwell Science, Oxford, p. 26–74, 248–261.
- LABANDEIRA, C.C., 2006, The four phases of plant–arthropod associations in deep time, *Geologica Acta*, v. 4(4), p. 409–438.
- LABANDEIRA, C.C., 2007, The origin of herbivory on land: the initial pattern of live tissue consumption by arthropods: *Insect Science*, v. 14, p. 259–274.
- LABANDEIRA, C.C. and BEAL, B.S., 1990, Arthropod Terrestriality, *in* Mikulic, D. (ed.), *Arthropods: Notes for a Short Course*: Paleontological Society, Knoxville, p. 214–256.
- LABANDEIRA, C.C. and ALLEN, E.M., 2007, Minimal insect herbivory for the Lower Permian Coprolite Bone Bed site of north–central Texas, USA, and comparison to other late Paleozoic floras: *PalaeogeographyPalaeoclimatologyPalaeoecology*, v. 247, p. 197–219.

- LABANDEIRA, C.C., WILF, P., JOHNSON, K.R. and MARSH, F., 2007, Guide to Insect (and Other) Damage Types on Compressed Plant Fossils Version 3.0: Smithsonian Institution, Washington D.C., 25p.
- LABANDEIRA, C.C., KUSTATSCHER, E. and WAPPLER, T., 2016, Floral Assemblages and Patterns of Insect Herbivory during the Permian to Triassic of Northeastern Italy: *PloS One*, v. 11 (11), p. 1–49.
- LEATHER, S.R., 1986, Insect Species Richness of the British Rosaceae: The Importance of Host Range, Plant Architecture, Age of Establishment, Taxonomic Isolation and Species–Area Relationships: *Journal of Animal Ecology*, v.55, n.3, p.841–860.
- MARQUES–DE–SOUZA, J. and IANNUZZI, R., 2016, New occurrences of the genus *Ottokaria* Zeiller (Cisuralian, Paraná Basin, Brazil): *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 234, p. 1–10.
- MCLOUGHLIN, S., 2011, New records of leaf galls and arthropod oviposition scars in Permian–Triassic Gondwanan gymnosperms: *Australian Journal of Botany*, v. 59, p. 156–169.
- MILLAN, J.H., 1994, O esquema de identificação e classificação das sementes gondvânicas: reatualização e análise crítica: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 66 (4), p. 475–488.
- PANIZZI, A.R. and PARRA, J.R.P., 2009, Introdução à bioecologia e nutrição de insetos como base para o manejo integrado de pragas, *in* Panizzi, A. R. and Parra, J.R.P. (eds.), *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*: Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, Londrina: Embrapa Soja, p. 1107–1139.
- PANIZZI, A.R. and SILVA, F.A.C., 2009, Insetos sugadores de sementes (Heteroptera), *in* Panizzi, A.R. and Parra, J.R.P. (eds.), *Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas*: Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica; Londrina: Embrapa Soja, p. 465–522.

- PINHEIRO, E.R.S., IANNUZZI, R. and TYBUSCH, G.P., 2012a, Specificity of leaf damage in the Permian “Glossopteris Flora”: A quantitative approach: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 174, p. 113–121.
- PINHEIRO, E.R.S, TYBUSCH, G.P., IANNUZZI, R., 2012b, New evidence of plant-insect interactions in the Lower Permian from Western Gondwana: *Palaeobotanist (Lucknow)*, v. 61, p. 67–74.
- PINHEIRO, E.R.S., GALLEGU, J., IANNUZZI, R., CUNÉO, R., 2015, First report of feeding traces in Permian botrychiopsis leaves from western Gondwana, *Palaios*, v. 30(8), p. 613–619.
- POPOV, Y.A. and WOOTTON, R., 1977, The Upper Liassic Heteroptera of Mecklenburg and Saxony: *Systematic Entomology*, n.2, p.33–351.
- PREVEC, R., LABANDEIRA, C.C., NEVELING, J., GASTALDO, R.A., LOOY, C.V. and BAMFORD, M., 2009, Portrait of a Gondwanan ecosystem: a new Late Permian fossil locality from KwaZulu–Natal, South Africa: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 156, p. 454–493.
- SCHUH, R.T. and SLATER, J.A., 1995, True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history: New York, Cornell University, 336p.
- SCHACHAT, S.R., LABANDEIRA, C.C., GORDON J., CHANEY, D.S., LEVI, S., HALTHORE, M.N. and ALVAREZ, J., 2014, Plant–insect interactions from Early Permian (KUNGURIAN) Colwell Creek Pond, North–Central Texas: The early spread of herbivory in Riparian environments: *International Journal of Plant Sciences*, v. 175(8), p. 855–890, DOI: 10.1086/677679.
- SCHACHAT, S.R., LABANDEIRA, C.C. and CHANEY, D.S., 2015, Insect herbivory from early Permian Mitchell Creek Flats of north–central Texas: Opportunism in a balanced component community: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 440,p. 830–847.

- SCHACHAT, S.R. and LABANDEIRA, C.C., 2015, Evolution of a complex behavior: the origin and initial diversification of foliar galling by Permian insects: *The Science of Nature*, v. 102 (3–4), p. 1–8.
- SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. and NOGUEIRA, A.A., 1974, Revisão estratiográfica da Bacia do Paraná: 28º Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, p. 41–65.
- SHAROV, A.G., 1973, Morphological features and mode of life of the Palaeodictyoptera, *in* Bei-Benko, G.Y. (ed.), Readings in the memory of Nicolaj Aleksandrovich Kholodovskij: Science, Leningrad, p. 49–63.
- SHCHERBAKOV, D.E., 2008, On Permian and Triassic insect faunas in relation to biogeography and the Permian–Triassic crisis: *Paleontological Journal*, v. 42, p. 15–31.
- SHCHERBAKOV, D.E., MAKARKIN, V.N., ARISTOV, D.S. and VASILENKO, D.V., 2009, Permian insects from the Russky Island, South Primorye: *Russian Entomological Journal*, v. 18, p. 7–16.
- SCOTT, A.C. and TAYLOR, T.N., 1983, Plant/Animal interactions during Upper Carboniferous: *Botanical Review*, n.49, p.259–307.
- SCOTT, A.C., STEPHENSON, J. and CHALONER, W.G., 1992, Interaction and coevolution of plants and arthropods during the Palaeozoic and Mesozoic: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (London, UK), n.335, p.129–165.
- SRIVASTAVA, A. K., 1994, Plant–Animal Relationship in the Lower Gondwanas of India: Ninth International Gondwana Symposium I Hyderabad, India, p. 549–555.
- SRIVASTAVA, A.K. and AGNIHOTRI, D., 2011, Insect traces on Early Permian plants of India: *Paleontological Journal*, v. 45, p. 200–206.

SRIVASTAVA, R. and SRIVASTAVA, A.K., 2016, Insect herbivory in Gondwana plants: The Palaeobotanist, v. 65, p. 131–137.



STILES, E.W., 2000, Animals as seed dispersers, *in* Fenner, M. (ed.), Seeds: The ecology of regeneration in plant communities 2nd edition, CABI Publishing, Wallingford, UK, p. 111–124.

STRONG, D.R., LAWTON, J.H. and SOUTHWOOD, T.R.E., 1984, Insects on Plants: Community Patterns and Mechanisms: Harvard University Press, Cambridge, 313p.

TAYLOR, T.N., TAYLOR, E.L. and KRINGS, M., 2009, Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants 2 edition: Elsevier, London, UK, 1253 p.

XU, Q., JIM, J. and LABANDEIRA, C.C., 2018, Williamson Drive: Herbivory from a north–central Texas flora of latest Pennsylvanian age shows discrete component community structure, expansion of piercing and sucking, and plant counter defenses: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 251, p. 28–72.

PARTE III
Anexo A
Carta de submissão revista Palaios


Submission Confirmation for FIRST EVIDENCE OF SEED PREDATION BY ARTHROPODS FROM GONDWANA (RIO BONITO FORMATION, PARANA BASIN, BRAZIL)  
Inbox x



PALAIOS <em@editorialmanager.com>

10:14 AM (0 minutes ago)



 to me ▾

CC: palaios.editor@gmail.com

Dear MSc Barbosa dos Santos,

Your submission entitled "FIRST EVIDENCE OF SEED PREDATION BY ARTHROPODS FROM GONDWANA (RIO BONITO FORMATION, PARANA BASIN, BRAZIL)" has been received by journal PALAIOS

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to <https://www.editorialmanager.com/sepm-palaios/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

PALAIOS

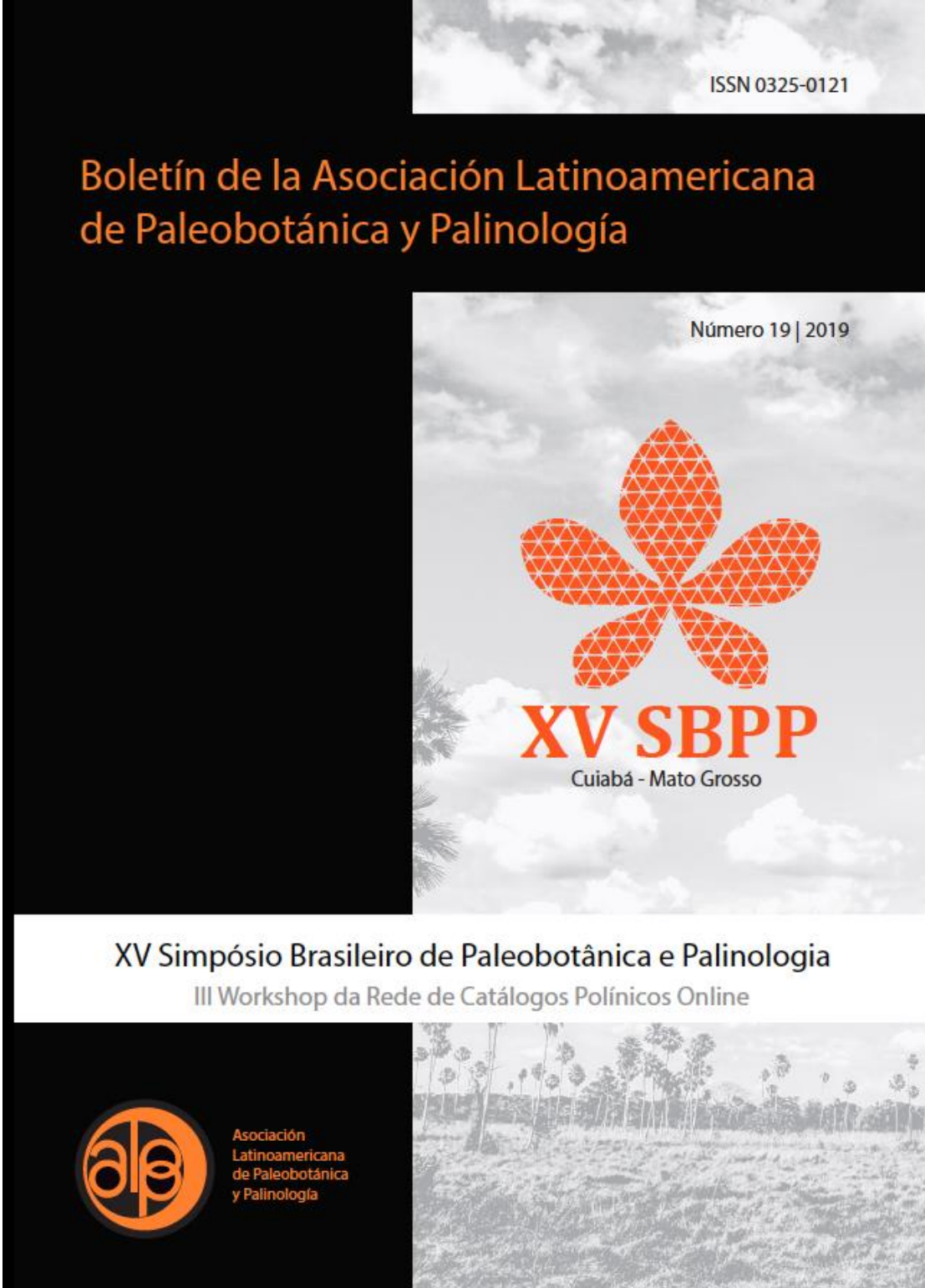
In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/sepm-palaios/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

 Reply

 Forward

Anexo B

Resumo "PREDAÇÃO DE SEMENTES POR ARTRÓPODES NO EOPERMIANO (CISURALIANO, BACIA DO PARANÁ) publicado em Anais de evento




ISSN 0325-0121

**Boletín de la Asociación Latinoamericana
de Paleobotánica y Palinología**

Número 19 | 2019

XV SBPP
Cuiabá - Mato Grosso

XV Simpósio Brasileiro de Paleobotânica e Palinologia
III Workshop da Rede de Catálogos Polínicos Online

 **Asociación
Latinoamericana
de Paleobotánica
y Palinología**

**PREDAÇÃO DE SEMENTES POR ARTRÓPODES NO EOPERMIANO
(CISURALIANO, BACIA DO PARANÁ, BRASIL)**

Santos, Thamiris B.⁽¹⁾; Pinheiro, Esther R.⁽¹⁾; Iannuzzi, Roberto⁽¹⁾.

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul; thamiris.barbosa.santos@gmail.com.

As interações entre artrópodes e plantas pretéritas vem sendo extensivamente relatadas na literatura científica ao longo dos últimos anos. Há uma ampla gama de trabalhos com registro de danos mediados por artrópodes em folhas fósseis tentando compreender como esses organismos interagem. Porém, quando se trata do conhecimento das interações em sementes os números de trabalhos diminuem e não há o entendimento aprofundado de como essas surgiram e evoluíram. Este trabalho busca descrever as interações em sementes do Permiano Inferior do Afloramento Itanema II, situado no município de Urussanga, sul do estado de Santa Catarina. As amostras estão tombadas na coleção de Paleobotânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A paleoflora encontrada no afloramento é composta por caules de licófitas, estruturas reprodutivas e folhas de esfenófitas, frondes estéreis e férteis de fetos, folhas e estruturas reprodutivas de glossopterídeas, folhas de cordaitaleanas, ramos de coníferas e sementes. Analisaram-se trinta e cinco sementes nas quais foram assinaladas interações de predação em cinco espécimes de *Cordaicarpus* Geinitz (*Cordaicarpus brasilianus* Bernardes-de-Oliveira *et al.*, *Cordaicarpus famatinensis* Gutierrez *et al.*). Os danos encontrados foram identificados como perfurações. Estes são caracterizados por apresentarem marcas arredondadas e/ou elipsoidais que variaram de 0,5 mm a 2 mm. As perfurações foram classificadas em três morfotipos diferentes. O morfotipo 1 é caracterizado por marcas arredondadas que podem variar de 1 a 2 mm que são encontradas na base da semente, em região oposta a micrópila, mas também na porção central da semente. O morfotipo 2 apresenta diversas marcas arredondadas e menores que 1 mm, espalhadas pelo corpo da semente, com ou sem depressão central. O morfotipo 3 apresenta marcas arredondadas de 1 mm, com depressão central bem marcada, e podem se apresentar agrupadas ou dispersas. Este trabalho é uma contribuição inicial para a compreensão de como ocorriam as interações entre artrópodes e plantas no Paleozoico, investigando particularmente um órgão vegetal ainda pouco estudado. Desta forma, mais investigações são necessárias nessa área para auxiliar na construção do entendimento da coevolução entre esses dois grupos. (CNPq 430096/2016-0; CNPq PQ 312747/2017-9)

Anexo C

Capítulo de livro “EVIDENCES OF ARTHROPOD-PLANT INTERACTIONS THROUGH PERMIAN IN BRAZIL”, 31p.

EVIDENCES OF ARTHROPOD – PLANT INTERACTIONS THROUGH PERMIAN IN BRAZIL

ESTHER R. S. PINHEIRO; Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. esther.rspinheiro@gmail.com

KAREN ADAMI – RODRIGUES*; Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brazil. karen.adami@pq.cnpq.br

THAMIRIS BARBOSA DOS SANTOS, Programa de Pós Graduação em Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, RS, Brazil. thamiris.barbosa.santos@gmail.com

JOÃO HENRIQUE ZAHDI RICETTI; Programa de Pós Graduação em Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil; Centro Paleontológico da Universidade do Contestado, Mafra, SC, Brazil. joao.ricetti@gmail.com

ROBERTO IANNUZZI; Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. roberto.iannuzzi@ufrgs.br

* Corresponding author

Abstract

Arthropods and land plants are the major macroscopic source of biodiversity on the planet, being the plant-herbivore food webs an important component of terrestrial biodiversity. Arthropods can interact in several ways with plants, using as a shelter, a reproduction environment, or as food. Herbivory is the most common trace of interaction in the fossil record, because plants produce a reaction tissue that stay conspicuously preserved. The Permian flora is well know, having a vast literature about taxonomy, ecology and

Anexo D

Capítulo de livro “INSECT-PLANT INTERACTION OF THE MESOZOIC, BRAZIL: TRIASSIC AND CRETACEOUS”, 16p.

INSECT-PLANT INTERACTION FROM THE MESOZOIC, BRAZIL: TRIASSIC AND CRETACEOUS

MÁRCIO MENDES*; Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brazil.
paleonto@ufc.br

KAREN ADAMI – RODRIGUES; Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brazil. karen.adami@pq.cnpq.br

ESTHER R. S. PINHEIRO; Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. esther.rspinheiro@gmail.com

RÔMULO CENCI; Programa de Pós Graduação em Geociências Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brazil. romulocenci@hotmail.com

THAMIRIS BARBOSA DOS SANTOS, Programa de Pós Graduação em Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, RS, Brazil. thamiris.barbosa.santos@gmail.com

FRANCISCO IRINEUDO BEZERRA DE OLIVEIRA, Programa de Pós-graduação em Geologia – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 64049-550, Fortaleza, CE, Brazil.
irineudoufc@gmail.com

LUTZ KUZMANN; Museum für Mineralogie und Geologie, Senckenberg Naturhistorische Sammlungen, Dresden, Königsbrücker Landstraße 159, D-01109, Dresden, Germany. Lutz.Kunzmann@senckenberg.de

*Corresponding author

Abstract

The ability of phytophagous insects to utilize plant tissues for energy has been improved over hundreds of thousands of years. Insects consist of mutually independent systems, while plants consist of a set of units that compete with one another. These differences in the pattern of organization of organisms lead to different patterns of evolution and ecology, which are continuously interacting in a complex way. Insect-plant

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese: "INTERAÇÕES INSETO-PLANTA NO PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ: SEMENTES"
Área de Concentração: Paleontologia
Autora: Thamiris Barbosa Dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
Examinadora: Profa. Dra. Juliane Marques de Souza
Data: 04/02/2020
Conceito: BOM
PARECER:
A presente dissertação traz resultados bastante relevantes e inéditos a respeito da ocorrência de interação inseto-planta em sementes do Permiano Inferior da Bacia do Paraná. As reflexões apresentadas nesse parecer caracterizam os pontos por mim considerados mais importantes para o aprimoramento da apresentação dos resultados obtidos, visando maior impacto da pesquisa.
São apresentadas duas novas tipologias de danos as quais passam a figurar dentre as possibilidades interpretativas para registros de interação insetos-plantas.
As sementes analisadas estão agrupadas em morfotipos e determinadas a nível de gênero, no entanto, parece haver uma confusão a respeito das características diagnósticas desses dois táxons não naturais (<i>Samaropsis</i> e <i>Cordaicarpus</i>) que interferem nas interpretações dos dados obtidos.
Sementes do gênero <i>Samaropsis</i> possuem testa diferenciada e bem desenvolvida (é possível separar a testa em esclerotesta, sarcotesta e, em alguns casos em endotesta). Sementes do gênero <i>Cordaicarpus</i> têm testa indiferenciada, ou seja, não se consegue separar as três testas e, quando é possível visualizar essa diferença, as testas são pouco desenvolvidas. No entanto, a esclerotesta (que é a testa mais frequentemente preservada), é fibrosa e recobre todo o nucelo. Essa testa tem, aparentemente, função de proteção do corpo central da semente, enquanto a sarcotesta tem, aparentemente, função mais associada a dispersão. Assim, a interpretação proposta na página 22, a qual sugere uma relação entre o dano DT79 e sementes do gênero <i>Cordaicarpus</i> em virtude da "testa fina e delicada" desse gênero, merece revisão. A mesma revisão deve ser feita na página 45. Dois exemplos de espécies de <i>Cordaicarpus</i> com testa fibrosa podem ser encontrados em Marques-de-Souza & Iannuzzi 2009 (i.e. <i>Cordaicarpus truncata</i> e <i>Cordaicarpus cerronegrensis</i>).
Outro elemento que pode contribuir para um melhor impacto do estudo realizado

é a ilustração dos novos danos descritos com detalhes que ajudem a identificação desses danos nas sementes. Desenhos destacando ou supervalorizando os padrões que diferenciam cada dano.

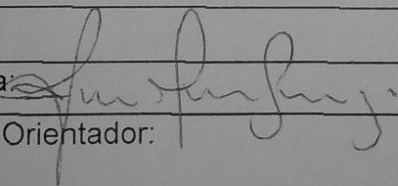
Sugiro também, uma revisão na tabela 1 (Table 1) que apresenta os danos DT398 e DT399 que não aparecem em outro momento da dissertação e não traz informações a respeito dos danos DTx e DTy.

Por fim, a menção feita à relação inversamente proporcional existente entre a presença de testa fibrosa e a ocorrência de danos parece um caminho interessante para se seguir em estudos futuros, visto que forneceria dados importantes para estudos sobre a paleoecologia e evolução das sementes.

A Bacia do Paraná tem sementes em quantidade bastante razoável que permitiria algumas interpretações utilizando-se a estatística.

Concluo, ratificando a importância dos resultados apresentados pela mestranda e considero que a pesquisa apresentada atende aos requisitos parciais necessários para a conclusão do mestrado

Assinatura:



Data: 04/02/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“INTERAÇÕES INSETO-PLANTA NO PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ: SEMENTES”
Área de Concentração: Paleontologia
Autora: Thamiris Barbosa Dos Santos
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
Examinadora: Dra. Daiana Rockenbach Boardman
Data: 04 de janeiro de 2020
Conceito: B (Bom)
PARECER:
<p>Primeiramente, gostaria de parabenizar a autora e seus orientadores pelo ineditismo do trabalho, interações inseto-planta em semente no Brasil. Além da descrição de duas novas morfologias de tipos de danos causados pelos insetos.</p> <p>Contudo, algumas deficiências são nítidas tanto no texto da dissertação (Parte I) quanto no artigo submetido (Parte II). São eles:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso das referências bibliográficas: Quando a autora fala nas <i>Functional Feeding Groups</i>, na pag. 9, está se historiando o assunto, pelo menos um autor que trabalhe com isto deve ser citado, exceto se esta metodologia seja da autora; Na página 11, quando se informa que “...apresentando mais de 200 morfoespécies para a África,...” cita-se Stewart & Rothwell (1993), é um trabalho excelente contudo tem mais de 25 anos para embasar uma informação generalista como esta; Além de alguns equívocos nos anos dos trabalhos citado e referenciados. - Um trabalho científico, o que inclui uma dissertação, deve conter informação que identifiquem o leitor de onde vem este material. Dizer que é na cidade de Urussanga – SC, não permitirá que se encontre este afloramento. É importante que um mapa de localização da região ou uma boa descrição do posicionamento geográfico seja apresentado no trabalho. Na parte I, há um mapa de SC com um ponto posicionando o afloramento Itanema II e no artigo, não há nem mapa e nem perfil estratigráfico do mesmo. - Quanto as informações estratigráficas do afloramento e material estudado: Tanto na Parte I quanto na Parte II, fala-se pouco na Bacia do Paraná, se descreve o afloramento Itanema II, 3 metros, e na sequência se posiciona o afloramento na Formação Rio Bonito. Sugiro um pouco mais de detalhes, pois a Formação Rio Bonito está solta em relação a Bacia do Paraná e uma coerência na descrição, do maior para o menor: bacia, formação e afloramento; Págs 14 e 15, afirma-se que que o afloramento Itanema II está posicionado “bem no topo do Membro Siderópolis”, seria mais prudente dizer na “porção superior da Fm. Rio Bonito; Além disso, as ilustrações tem que estar de acordo com o texto e vice-versa, na pág. 14, citando Griffis (2018), coloca-se a Fm. Rio Bonito com idade Asseliano – Artinskiano enquanto que na Figura 1 a Fm. Rio do Sul, do Grupo Itararé,

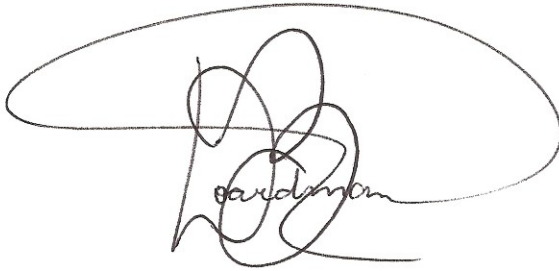
sotoposto a Fm. Rio Bonito, é mantida na parte basal Cisuraliano; Pág. 23, “desde o início do Permiano (Artinskiano)”, início do Permiano é Asseliano, utilizar desde o Permiano inferior ou algo similar.

- Cuidar os subtítulos: Na Parte II, artigo, o subtítulo “Lower Permian seeds from Gondwana”, pág. 37, espera-se que venha um levantamento de todas as sementes descritas para o Gondwana, no fim é um parágrafo sobre as sementes do afloramento Itanema II.

- Padronizar o nome das duas novas morfologias de tipos de danos causados pelos insetos, no texto e legendas (Parte I e Parte II) são chamadas de DTx e DTy e nas tabelas (Tabela 1 e Table 1) está DT398 e DT399.


Assinatura:

Data: 05/02/2020

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to be the name 'L. S. ...'.

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Dissertação/Tese:	
“INTERAÇÕES INSETO-PLANTA NO PERMIANO INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ: SEMENTES”	
Área de Concentração: Paleontologia	
Autora: Thamiris Barbosa Dos Santos	
Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi	
Examinador: Prof. Dr. Willian Mikio Kurita Matsumura	
Data: 12 de janeiro de 2020	
Conceito: A (Excelente)	
PARECER:	
<p>A dissertação apresentada constitui documento muito bem estruturado, formatado e redigido atendendo às exigências requeridas pelo PPGGeo/UFRGS à aprovação da autora. Os objetivos estão claros e os materiais e métodos foram bem descritos e aplicados, possibilitando o cumprimento dos objetivos e obtenção de resultados inéditos e pouco explorado na literatura. As referências utilizadas abrangem bom equilíbrio de pesquisas clássicas e outras muito recentes, as quais foram adequadamente apresentadas e discutidas. Ressalto a excelente qualidade das ilustrações, possibilitando rápida visualização e entendimento das interações em apreço. Estes pontos demonstram grande domínio do tema, capacidade analítica e crítica e, fortalece a importância da pesquisa realizada.</p> <p>Alguns pequenos erros de digitação e sugestões na figura 1 foram demarcados no documento em Anexo.</p> <p>No artigo submetido, a Figura 1 poderia ser novamente utilizada, pois facilita a contextualização geográfica, geológica e estratigráfica ao leitor. Inclusive com detalhamento geocronológico na coluna estratigráfica da Bacia do Paraná, pois a autora discute a alta ocorrência de interações no Permiano inicial quando comparadas com outros registros.</p> <p>Apesar da autora mencionar a identificação/classificação genérica dos morfotipos das sementes, a mesma chegou a determinações com maior detalhe, haja vista os cinco morfotipos de <i>Cordaicarpus</i> e sete morfotipos de <i>Samaropsis</i>, esta diferenciação taxonômica melhorou muito a pesquisa e a metodologia utilizada para distinguir os diferentes morfotipos poderia ter sido incluída no texto.</p> <p>Esta pesquisa traz novos olhares ao registro paleobotânico brasileiro e abre novas fronteiras e desafios para a paleontologia nacional.</p>	
Assinatura: 	Data: 21 de janeiro de 2020
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	