

Bericht zu Tropical ecology of South America 2024

Martin Ebner¹, Tatiana Miranda², Mirco Solé³

¹ Eberhard Karls Universität Tübingen,

² Senckenberg Centre for Human Evolution and Paleoenvironments Tübingen,

³ Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasilien

Der folgende Bericht beschreibt den Ablauf der Lehrveranstaltung “Tropical ecology of South America”, die vom 16.3. bis 10.4.2024 von der Universität Tübingen in Zusammenarbeit mit der Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) in Ilhéus Bahia und der Pontificia Universidade de Rio Grande do Sul (PUCRS) in Porto Alegre an verschiedenen Standorten in der brasilianischen “Mata Atlântica” durchgeführt wurde.

Der interdisziplinäre Kurs befasst sich mit Struktur, Funktion und Dynamik neotropischer Ökosysteme bei unterschiedlichen geologischen, klimatischen und landnutzungsbedingten Rahmenbedingungen. Zur Erfassung von Bio-Geo-Interaktionen werden die Fachbereiche Botanik, Zoologie, Ökophysiologie, Paläontologie, und Anthropogeografie mit den Geo- und Umweltwissenschaften zusammengeführt. Dabei kommen unterschiedliche Feldmethoden zur Anwendung. Besonderes Augenmerk liegt auf der Bedeutung der biologischen Vielfalt für die Stabilität und Funktionalität tropischer Ökosysteme. Möglichkeiten einer nachhaltigen Landnutzung bei gleichzeitigem Erhalt wichtiger Ökosystemfunktionen (wie Recycling von Wasser, Sequestrierung von Kohlenstoff u.a.), z.B. durch Agroforstsysteme werden beleuchtet. Für jeden Standort, der bei dieser LV aufgesucht wurde, wird nach einer kurzen Beschreibung, auf die von uns gestellten Fragestellung, Arbeitsmethoden und die daraus gewonnen Erkenntnisse eingegangen.

Zusammenfassung:

Der erste Teil der Lehrveranstaltung wurde in Bahia, in der nördlichen Mata Atlântica durchgeführt. Von der Ilhéus, dem Zentrum des Kakaoanbaus in Brasilien, fuhren wir zusammen mit den Studenten der UESC (Zoologie & Ökologie) auf die Fazenda Bom Pastor, wo wir zusammen die Struktur, Funktion und Diversität von Kakaowäldern untersuchten. Wir trugen dabei eine Vielzahl von Ergebnissen zu Waldstruktur, Mikroklima, Wasserhaushalt und Geologie und Bodeneigenschaften des Gebietes zusammen.

Anschließend fuhren wir mit dem von der UESC gestellten Bus weiter bis nach Lençóis in der Chapada de Diamantina. Wir kamen dort in die Ökozone der Caatinga, die sich klimatisch und ökologisch grundlegend von der Mata Atlântica unterscheidet. Entlang eines Straßentranssektes dokumentierten wir den Übergang zwischen den beiden Biomen.

Die Chapada de Diamantina bot uns die Gelegenheit zusammen mit den Geologie Studenten der UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), unter der Leitung des renommierten Geologen Fabricio de Andrade Caxito, ein präkambrisches Grabenbruchsystem mit

außerordentlich gut aufgeschlossenen Sedimentabfolgen von Konglomeraten über fluviatile und äolische Sandsteine bis hin zu Stromatolith Sequenzen zu untersuchen. Weitere Schwerpunkte waren die trockenadaptierte, feuerresistente Vegetation der Tafelberge, die Ökologie einer Silkhöhle und die Eigenheiten der Gewässer in dieser Region.

Danach fuhren wir auf eine, wieder in der küstennahen Mata Atlântica gelegenen, vom Michelin-Konzern betriebene Kautschukplantage. Das 11000 ha große Gelände bot uns die Gelegenheit ein weiteres Agroforstsystem kennenzulernen (Kautschuk mit Kakao, Palmen, Bananen etc.). Wir verfolgten dort die Ansätze zur Renaturierung degradierter Waldgebiete unter der Leitung des Naturschutzbiologen Kevin Fletscher. Entlang eines ausgedehnten Fußmarsches durch das Gebiet kamen wir durch verschiedenen Sukzessionsstadien in der nördlichen Mata Atlântica, erörterten Möglichkeiten tropische Wälder nachhaltig zu nutzen und die Rückführung von Plantagen in Naturwald zu beschleunigen.

Von der bei der Michelin gelegenen Hafenstadt Camamu fuhren wir dann mit dem Boot durch die mangrovenbestandene Lagune bis nach Barra Grande und dann weiter zum Strand von Itaipu de Fora. Im Fokus unserer Betrachtung lag dort das vorgelagerte Kalkalgenriff. Bei mehreren Schnorchel Tauchgängen erfassten wir die benthische Lebewelt entlang des zur Lagune abfallenden Rückriffes und sammelten dort Sedimente für mikroskopische Analysen ein. Wir konnten feststellen, dass die ausgedehnten Braunalgenbestände auf dem Riffdach, die Kalkrotalgen und Steinkorallen in Bedrängnis bringen. Als Grund für die Ausbreitung der Braunalgen nahmen wir den übermäßigen Eintrag von Nährstoffen über Flüsse vom Festland an. Als eine wichtige Maßnahme für ein nachhaltiges Küstenzonenmanagement sehen wir daher den Schutz der Mangrovenwälder, die wie eine Nährstofffalle wirken. Auch die reiche Fisch- und Seeigelfauna, die wir im Riff feststellten, erklärt sich aus den Algenmatten, die sie dann abgrasen können.

Für den zweiten Teil der Lehrveranstaltung flogen wir dann nach Porto Alegre ganz in den Süden von Brasilien. Themenschwerpunkt dort war der Übergang von den atlantischen Wäldern zu den an kühlere Temperaturen angepassten Araukarienwälder. Diese machen dann bei trockeneren Bedingungen wiederum Gaslandschaften Platz. Um dieses komplexe Mosaik in der südlichsten Mata Atlântica zu erkunden, fuhren wir mit gemieteten VW-Bussen in das Serra Geral Küstengebirge ca. 160 km nördlich von Porto Alegre. Die von der Universität Tübingen zusammen mit der PUCRS gegründete Pró-Mata Forschungsstation bot uns dort für eine Woche eine perfekte Infrastruktur um Geologie, Böden, Flora und Fauna zu untersuchen. Vegetationsaufnahmen auf Flächen, die schon vor 20 Jahren aufgenommen wurden, lieferten uns Hinweise darauf, dass der Klimawandel dort zu einer Ausbreitung tropischer Florenelemente führt. Dies machte sich auch bei der Zusammensetzung der Fauna bemerkbar. Neben tropischen Schmetterlingen und Fröschen, die früher nicht auf dem Hochland registriert wurden, erfassten wir mit einer Wildkamera im Araukarienwald auch einen Ozelot, der sonst eher in tropischen Wäldern vorkommt. Wir bestimmten außerdem die dreidimensionale Waldstruktur in einer Waldinsel als Lebensraum für eine Vielzahl von Epiphyten, die dort vorkommen. Bei einigen dieser Aufsitzerpflanzen untersuchten wir den Wasserhaushalt über

gravimetrische Methoden. Die Fähigkeit Wasser direkt aus der Luft aufzunehmen, macht einige der untersuchten Epiphyten zu vielversprechenden biologischen Vorbildern für die Entwicklung von technischen Systemen zur Wassergewinnung.

Zum Ende der Lehrveranstaltung wagten wir den Abstieg zu Fuß von der Pró-Mata Station ins Garapiá-Tal, in der fast 1000 m tiefer gelegenen Küstenebene. Bei der Wanderung durch den sehr dichten, undurchdringlichen Wald, mit sehr steilen Passagen wurde von Fernando Poli vom Umweltbüro „Biociclos Soluções Ambientais“ geführt.

Auf dem Weg kartierten wir den geologischen Untergrund und erkannten dabei, dass die für das Serra Geral Küstengebirge typischen vulkanischen Basalt und Rhyolithenheiten gegenüber dem Pró-Mata Gebiet entlang einer vertikalen Störung versetzt sind. Die Vegetationsdecke auf dem Weg spiegelte zum einen die Substratbedingungen wieder – Rhyolith verwittert langsamer, reagiert saurer und setzt bei der Bodenbildung weniger Nährstoffe frei als Basalt – zum anderen die zum Tal hin wärmeren und dadurch trockeneren Bedingungen. Nach unten hin wird der Wald der Mata Atlântica die wir in Bahia kennengelernt haben immer ähnlicher.

Unterhalb von 520 m konnten wir anhand von Blasenhorizonten verschiedene Basaltdecken voneinander abgrenzen. Mit dem Übergang von Rhyolith zu Basalt lohnt sich in den Unterhängen auch der Anbau von Bananen, Ananas, Mais, Maniok etc. Dort trafen wir auf viele aufgelassene Kulturflächen. Als Erosionsschutz haben die Menschen hier früher Terrassen aus Basaltgeröll angelegt. An der Talsohle des Garapiá-Tals beziehen wir dann unsere letzte Feldstation. Wir sind in Hütten untergebracht, die auf wenig invasive Weise in den Wald integriert sind. Bei einer Bestandsaufnahme der Flora und Fauna registrierten wir eine Vielzahl von Schmetterlingen und Vögel, darunter ein Tukan. Eine spätere Untersuchung von Honig eines ortsansässigen Imkers zeigt eine große Vielfalt von verschiedenen Pollen. Das Tal wird durch Kleinbauern bewirtschaftet, die oft Agroforstansätze wie die Kultivierung von Limonen, Palmito oder Mate verfolgen. Ein Problem im Tal ist die unkontrollierte Ausbreitung des Baumes *Hovenia dulcis* (Uva-do-japão). Hier ist ein System zum selektiven, minimal-invasivem Einschlag wohl das Richtige

Angesichts des einsetzenden Regens ist die Bestimmung der Durchflussmenge im Garapiáfluss für uns von praktischer Bedeutung. Die Pegelstände entscheiden darüber, ob wir mit unseren PKWs mit wenig Bodenfreiheit durch die Furten aus dem Tal hinausfahren können – oder eben nicht. Letztendlich funktioniert das aber zum vorgesehenen Zeitpunkt und auf dem Weg können wir bei ca. 120 m Meereshöhe auch noch die geologische Grenze von den Basaltenheiten zum darunterliegenden Botucatu-Sandstein bestimmen. Diese Grenze zu kennen ist wichtig, nachdem der Botucatusandstein einer der größten Reservoirs von trinkbarem Süßwasser weltweit darstellt und vom Basalt gegen Schadeinflüsse von der Oberfläche (z.B. Pestizide) geschützt wird.

Auf der Küstenstraße zurück nach Porto Alegre passierten wir dann noch einen Windpark und kamen dort voll mit neuen, Erkenntnissen, Eindrücken und Ideen an. Wir besuchten dort abends dann noch eine “Churrascaria” wo wir uns auch von unseren Gastgebern von der

PUCRS und von Mirco Solé verabschieden. Alles in allem hat diese interdisziplinäre, binationale Veranstaltung bestehende Beziehungen zwischen den Universitäten beider Länder gestärkt und neue etabliert. Der akademische Austausch hat sowohl auf der Ebene der Studenten als auch der Dozenten hervorragend funktioniert und auf beiden Seiten zu wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnen geführt.

1. Ilhéus- die Kakaostadt

Ilhéus in Bahia ist das Zentrum der Kakaoküste. Wir landen dort am 17.3.24 zur Mittagszeit auf einem kleinen Provinzflughafen inmitten der Mangrovenwälder. Es ist eine der kürzesten Landebahnen Brasiliens. Die Mangroven umsäumen eine Lagune, in die mehrere Flüsse einmünden. Viele Gebäude im historischen Zentrum der Stadt zeugen von der Glanzzeit der Stadt, während des Kakaobooms im 19. Jahrhundert. Die Kakaobarone ließen dort große Kirchen, Herrenhäuser, Verwaltungsgebäude, Kaffees und Establishments erbauen. Der Kakaoboom erlebte seinen Niedergang zuerst durch die illegale Ausfuhr von Kakaosamen und Setzlingen, die zur Errichtung von Plantagen in Westafrika verwendet wurden und dann später in den 80er Jahren durch die Ausbreitung einer Pilzkrankheit (*Moniliophthora perniciosa*), die viele Kakaoplantagen in den Ruin trieb.

Wir verbringen den Sonntagnachmittag mit der lokalen Bevölkerung am Strand und kosten erstmals bahianisches Essen und Kokosnüsse. Der Beachrock am Strand ist von Algen, Muschelkolonien überzogen. Im Spülsaum finden sich neben Treibholz, Algen und Plastikresten auch immer wieder die pfeilförmigen Früchte von *Rhizophora mangle*, der roten Mangrove die einen Großteil der Lagune besiedelt.

1. Bom Pastor - Naturschutzprojekt im Kakaowald

Am 18.3. früh morgens trifft die Gruppe der Tübinger Geoökologie- und Biologiestudenten auf die Studenten der Ökologie und Zoologie der Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Mit einem Bus der von der UESC gestellten Bus geht es zur Fazenda „Bom Pastor“ in den Kakaowäldern in der Umgebung von Ilhéus (Abb. 1).



Abbildung 1: Löwenkopffäffchen (a) sind die Leitart das AMAP-Projektes (b) mit Zentrum auf der in den Kakaowäldern (c) bei Ilhéus gelegenen Farm Bom Pastor (d) Wir nutzten die Veranda (f) für mikroskopische Untersuchungen (g) und Streifzüge durch das Umland (e). Abb. a,b und d sind von <https://www.amap-brazil.org/de>

Die Fazenda Bom Pastor ist die Basis des Projektes „AMAP“ (<https://www.amap-brazil.de>), die neben alten Weideflächen für Rinder vor allem aus Kakaowäldern, sogenannten Cabruças besteht. AMAP (Almada Mata Atlântica Project) setzt sich zum Ziel, die Biodiversität und Ökofunktionalität solcher Kakaowälder zu dokumentieren und zu schützen. Das Projekt wird unter anderem von Markus Mauhte angeschoben, der auf der ebenfalls zum Projektgebiet gehörenden Fazenda „Almada“ wohnt. Markus Mauhte ist ein prominenter Filmemacher, der z.B. „an den Rändern dieser Erde“ gedreht hat (<http://an-den-raendern-der-welt.de>).

Cabruças sind im Zuge des Kakaobooms entstanden und gelten als ein Paradebeispiel für gelungene Agroforstsysteme in den immerfeuchten Tropen. Der aus dem Amazonasgebiet stammende 4-8 m hohe schattentolerante Kakaobaum „Theobroma cacao“ wird dort im Unterstand unter hohen Bäumen kultiviert. So ergibt sich ein komplex strukturierter Wald mit einer hohen Nischenvielfalt und weitverzweigten Nahrungsnetzen. Als Leitart solcher Kakaowälder gilt das vom Aussterben bedrohte Löwenkopffäffchen (*Leontopithecus chrysomelas*). Durch das bessere Nahrungsangebot in den aufgelichteten Wäldern mit lichtliebenden und proteinreichen Sekundärwaldpflanzen sind die Populationen der Löwenkopffäffchen dort laut Christian Wolff, stellvertretender Direktor von AMAP, dort sogar dichter und die Tiere größer und gesünder als in den Primärwäldern der Nationalparks.

Ökologische angebaute Kakao aus Cabruças erfreute sich in den letzten Jahren zunehmender Beliebtheit. Die geringere Produktivität gegenüber Kakaomonokulturen vor allem in Westafrika konnte dadurch kompensiert werden, dass mit diesem Kakao wesentlich höhere Marktwerte erzielt werden konnte. Nachdem die Kakaoernte in Westafrika in diesem Jahr praktisch ausfiel, da die dortigen Plantagen dem Klimawandel mit zunehmendem Trockenstress nicht gewachsen sind. An dieser Stelle zeigt sich der Wert eines Agroforstsystems im Vergleich zu konventionellen Plantagen. Agroforstsysteme sind wesentlich resilienter gegenüber Umweltveränderungen.

Die steigende Nachfrage nach Kakao könnte leider dazu führen, dass sich auch der konventionelle Anbau von Kakao in Monokulturen in Brasilien wieder lohnt. Außerdem wurden die Auflagen zur Erhaltung der Cabruças aufgeweicht. So müssen heute nur noch 50 statt 120 Bäume pro Hektar im Überstand einer Cabruça stehen – mit weitreichenden Folgen für Mikroklima, Wasser- und Kohlenstoffhaushalt sowie Konnektivität zwischen den Bäumen.

Eine direkte Bedrohung für das AMAP Gebiet ist außerdem ein Infrastrukturprojekt zur Beförderung von Erzen aus dem Zentrum Bahias an die Küste. Das dort abgebaute Erz soll verflüssigt und dann über eine Pipeline zur Küste geleitet werden. Die Pipelinetrasse soll direkt durch das AMAP-Gebiet verlaufen. Vermessungsarbeiten dazu fanden während unseres Aufenthaltes auf Bom Pastor statt (Abb.2).

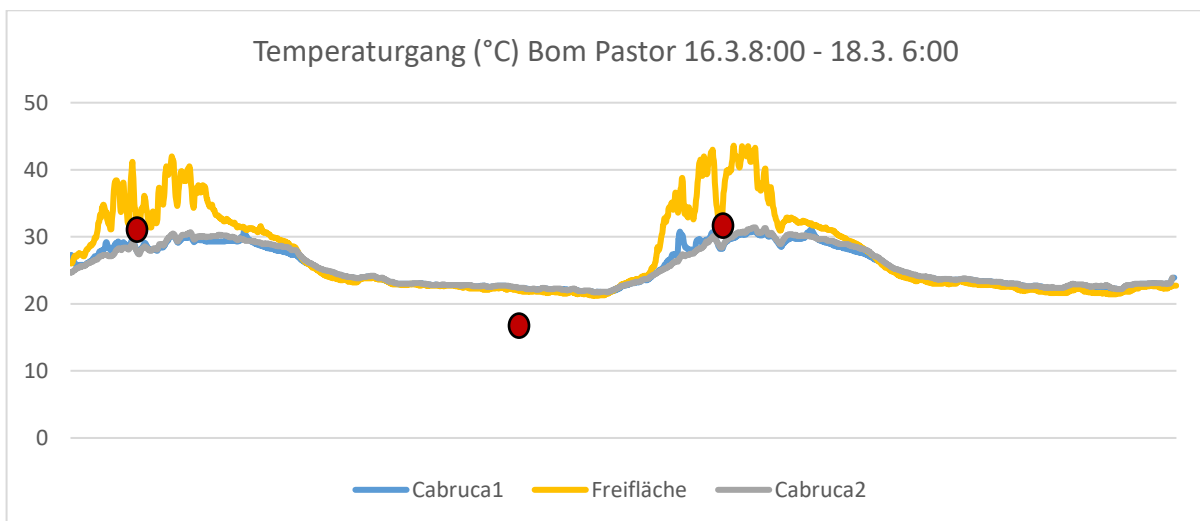


Abbildung 2.: Frosch, Feld-, und Laborarbeit im AMAP-Gebiet.

1.1. Untersuchungen zum Mikroklima & Wasserhaushalt von AMAP Cabrucas

Wir machten es uns zur Aufgabe den Wasserzustand der Cabruca im Vergleich zu offenen Plantagen zu bewerten und ergänzten dazu Messungen die bereits 2019 im Jahr der Pandemie durchgeführt wurden. Dazu wurden das Mikroklima und Bodenwassergehalt, Infiltrationsvermögen und stomatäre Leitfähigkeit erfasst (Abb. 3).

Unsere Untersuchungen ergaben nicht nur, dass der Wassergehalt der Atmosphäre und des Substrates im Cabrucas höher liegt als im Offenland, sondern auch dass die stomatäre Leitfähigkeit in Cabrucas im Verlauf des Tages weniger stark reduziert wird. So können auch nachmittags, wenn die Stomata der Kakaobäume im Offenland geschlossen sind noch eine effektive CO₂- Aufnahme erfolgen. Das im Vergleich zum Offenland reduzierte Wassersättigungsdefizit zwischen den Spaltöffnungshöhlen im Vergleich zur offenen Atmosphäre erlaubt eine Öffnung der Stomata ohne, dass dabei der Diffusionsfluss von Wasserdampf erhöht wird (Abb. 4). So wird der höhere Assimilationsleistung der Kakaobäume in einer offenen Plantage vormittags teilweise kompensiert. Nachdem der Tagesgang der Temperatur und der Luftfeuchte im Offenland 2014 mit den Werten von 2019 vergleichbar waren, wird auch der Tagesgang in der Cabruca angenommen.



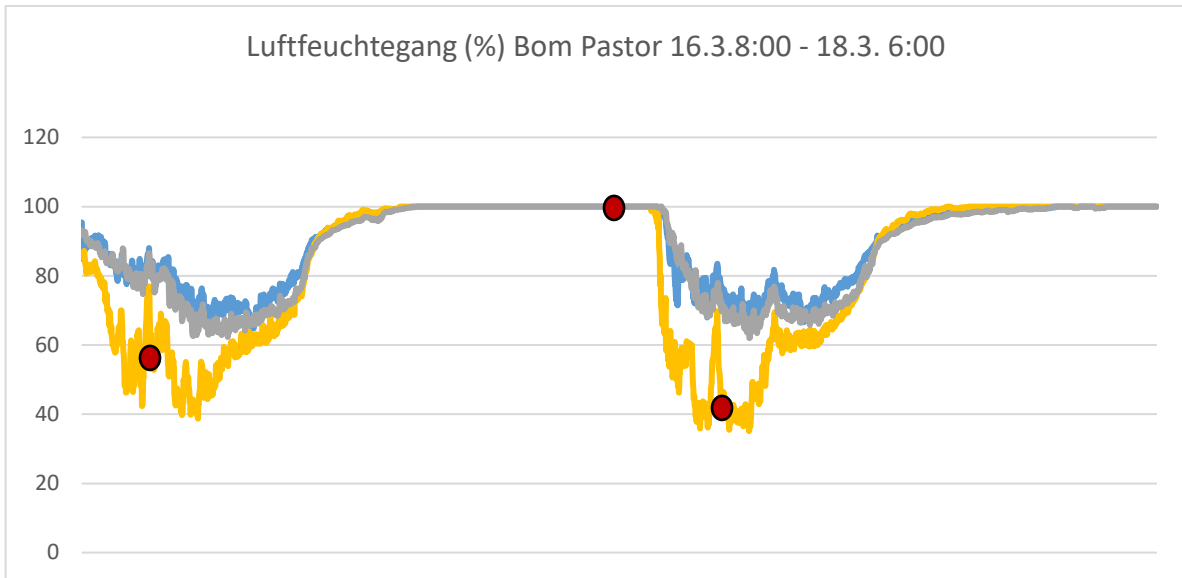


Abbildung 3: Mikroklimatische Bedingungen in Kakaowäldern auf Bom Pastor 2020 im Vergleich zu einer Offenlandfläche. Die Extremwerte von im selben Zeitraum 2024 sind in rot markiert.

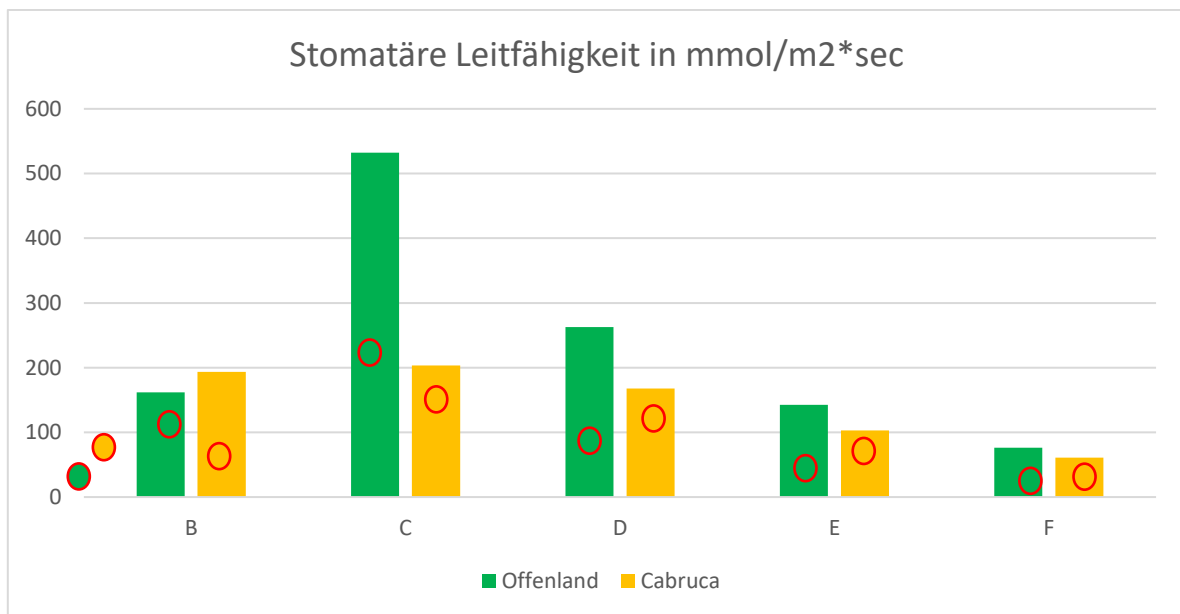


Abb. 4: stomatäre Leitfähigkeit an Kakaopflanzen im Tagesverlauf vom 17.März B: 8-10, C:10-12 D: 12-14, E: 14-16, F: 17-20 Uhr. Die Balken zeigen die Mittelwerte 2020, die Kreise die Mittelwerte von 2024.

Die Luftfeuchte sank auf der Freifläche um die Mittagszeit auf unter 40 %, während sie in den Cabrucas immer noch 60-70% betrug. Die Temperatur stieg auf der Freifläche auf fast 45°C in den Cabrucas blieb sie tagsüber rund 10°C darunter. Es kommt also auf der Freifläche zu wesentlich höheren Sättigungsdefiziten und dadurch letztendlich auch zu einer schlechteren Wassernutzungseffizienz.

2.2. Geologie und Böden

Im Flussbett oberhalb des Bom Pastor Farmhauses war ein hartes, scharfkantiges helles Kristallingestein mit einer bandartigen Struktur aufgeschlossen. Wir klassifizierten dieses als metamorph überprägten Granit oder Gneis. Die Böden, die sich darauf bildeten sind flachgründig, was entweder auf die schlechte Verwitterbarkeit des Gesteins oder auf Erosion an den Steilhängen zurückgeführt werden kann. Am Talgrund unterhalb von Bom Pastor sind die Böden hingegen tiefgründig und intensiv verwittert. Gesteinsaufschlüsse in dieser tieferen Lage fanden wir dann später in einem Flussbett bei der Farm Almada. Dieses war dunkel, grobkristallin ohne erkennbare Spuren einer Metamorphose. Wir klassifizierten dieses folglich als Gabbro. Dies Abfolge innerhalb des Archaikums könnte zu einem Grünsteingürtel gehören, die sich durch mafische und ultramafische Gesteine im Liegenden und zunehmend felsische SiO₂-reiche im Hangenden auszeichnen. Unsere Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich diese Unterschiede im geologischen Untergrund auf die Bodenbildung und chemische Zusammensetzung der Oberflächengewässer auswirken. Die schwer zersetzbaren Schalen der Kakaofrüchte werden im Umfeld der Mutterbäume wieder ausgebracht um eine Rückführung der darin enthaltenen Nährstoffe zu ermöglichen und außerdem die Anreicherung von Humus im Boden zu fördern.

2.3. Bodenwasserhaushalt

Das Infiltrationsvermögen des Substrats des Cabrucastandes wurde durch die Hohlzylindermethode ermittelt. Die Infiltration war wesentlich langsamer als 2020. Nachdem es im Vorfeld unseres Aufenthaltes viel geregnet hat, war der Wassergehalt des Bodens mit 20 % sehr hoch. Die Bodenart wurde durch Ausroll- und Knirschprobe als Lehm bestimmt. Bei dieser Bodenart ist laut pF-Diagramm von Scheffer Schachtschabel erst bei unter 7% das Bodenwasser für Pflanzen nicht mehr verfügbar. Der hohe Wassergehalt des Bodens erklärt die langsame Infiltration trotz hohen Anteils an Mittel- und Grobporen in diesem Substrat. Der sonst für die Infiltration zur Verfügung stehende Porenraum ist dadurch blockiert.

Die dunkle Bodenfarbe in der Cabruca im Vergleich zum Offenstandort ließ auf einen hohen Humusgehalt schließen. Cabucas können also nicht nur wegen der hohen stehenden Biomasse als Kohlenstoffspeicher angesehen werden, sondern auch durch eine Kohlenstoffanreicherung im Boden.

2.4. chemische Signatur der Oberflächengewässer

Das Wasser im Tümpel über Bom Pastor war mit einem pH-Wert von 5 recht sauer, weich und arm an Eisen. Im Bach der tiefergelegenen Almada war reich an Eisen und mit einem pH von 6 viel alkalischer. Die darunterliegenden Gabbros puffern das durch den Wald angelieferte saure Wasser und setzen durch die Verwitterung von Pyroxen, Olivin und Amphibol außerdem große Mengen an Eisen frei.

2.5. Fauna und Flora

Die Vielfalt eines tropischen Waldökosystems ist im Rahmen von kurzen Forschungsaufenthalten kaum zu erfassen. Das trifft auch auf die Kakaowälder der AMAP zu. Wir beschränkten uns auf die räumliche Erfassung der Kakaobäume im Wald direkt bei Bom Pastor. Die Bäume im Überstand zeichneten sich durch viele Epiphyten aus, wobei vor allem die riesige Tankbromelie der Gattung *Hohenbergia* hervorzuheben ist. Bei verschiedenen Erkundungsgängen am Tag und in der Nacht, unter der Leitung des Herpetologen Prof. Dr. Mirco Solé und seines Doktoranden Daniel, finden wir eine Vielzahl von Fröschen und Invertebraten. 2 Wochen davor traf Eva Brehm, die dort im Vorfeld ein Praktikum absolvierte auf eine tödlich giftigen Buschmaster-Schlange (*Lachesis muta*), eine der Charakterarten für intakte Mata-Atlântica Wälder. Die Suche nach besonderen den Löwenkopffächchen mit dem Guide Billa blieb allerdings erfolglos. Der Empfang war an diesem Tag gestört.

Im AMAP Gebiet werden äußerst innovative Forschungsansätze zur Abbildung der Faunenvielfalt verfolgt. Statt Direktbeobachtungen werden dabei mit Richtmikrofonen erfasste akustische Signale mit KI-Systemen kombiniert. So ist eine Zuordnung von Geräuschen zu gewissen Faunenelementen wie Vögeln, Amphibien oder Insekten möglich. Rosa, Saskia, Eva und Lara von der Universität Hohenheim, unterstützten außerdem im Rahmen eines Praktikums einen Doktoranden der UESC der die Grundlagen einer automatisierten Erkennung von Bestäubern, die die beim Anfliegen von Kakaoblumen mit einem Makroobjektiv erfasst werden, erarbeitet. Wir können mit unserer Wildkamera eine Gruppe von Waldfüchsen (*Cerdocyon thous*) ablichten, die sich von Bananen angezogen fühlten.

3. Straßentranspekt vom atlantischen Regenwald bei Ilhéus bis nach Lençóis in der Caatinga

Am 20.3. Machen wir uns mit dem Bus von Bom Pastor auf den langen Weg nach Lençóis in der Chapada de Diamantina.



Abbildung 5: Beweidete Caatinga vor östlichen Ausläufern der Chapada de Diamantina

Auf der Landstraße von Ilhéus nach Lençóis macht sich auf der BA-130, Jequié - BA, Brasilien (S 13°57.704' W039°57.849') ein abrupter Wechsel des Landschaftsbildes bemerkbar. Die naturbelassene Vegetation ändert sich von immergrünem Wald zu Buschland. Innerhalb weniger Kilometer der Atlantische Regenwald von der Caatinga (weißer Wald) abgelöst. Ein Blick auf das Klimadiagramm von Caatinga Grande (Abb. 5) zeigt, dass die Temperaturen annähernd gleichbleiben, die Niederschläge aber sehr unregelmäßig verteilt sind. Die Trockenheit von April bis November lässt sich durch eine Verlagerung der innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) im Sommer auf die Nordhalbkugel erklären. Dadurch liegt das Gebiet der Caatinga für mehrere Monate im Bereich eines Hochdruckgürtels in dem trockene Passatwinde vorherrschen. Das von ihnen über dem Atlantik aufgenommene Wasser regnet sich bereits im küstennahen Bereich ab.

Der Jahresniederschlag geht von 2000 mm auf 1200 mm zurück mit ausgeprägter Trockenzeit zwischen Juli und September (Siehe Klimadiagramme Ilhéus und Lençóis). Nach Köppen findet ein Wechsel von Af zu Aw statt. Weiter nördlich in der Caatinga ist die Trockenheit noch weit ausgeprägter mit bis zu 8-monatiger Trockenzeit und <600 mm Jahresniederschlag. Dieses wurde von Köppen als heißrockner Steppenklima (Bsh) bezeichnet (Abb. 6).

Die Veränderung in der Höhe und Deckungsgrad der Vegetation sind dramatisch, das Erscheinungsbild verändert sich von saftig-grün zu staubig-gelb! Der Verwitterungsgrad der Böden nimmt in der Caatinga stark ab, die Farbe wechselt von rot zu gelb, oft zeigen sich blanke Felsflächen. Der Wechsel im Vegetationsbild und Boden wurde entlang der Fahrtroute von Ilhéus nach Lençóis dokumentiert.

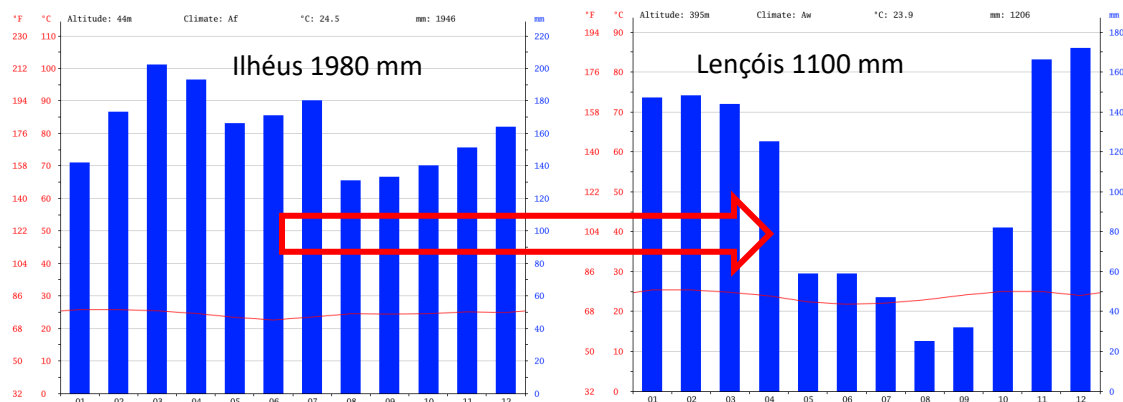


Abbildung 6: Klimadiagramme am Anfangs- und Endpunkt der Transektstrecke

Der schnelle Wechsel des Vegetationsbildes ist durch die veränderte Klimabedingungen allein nicht zu erklären, da den sich ostwärts bewegenden Luftmassen keine wesentlichen orographischen Barrieren entgegenstehen. Es erfolgt zwar vor dem Übergang vom atlantischen Wald zur Caatinga ein Anstieg von der Küstenbene auf eine höher gelegene Stufe auf 400 m (Dominik), der Steigungsregen forciert, nachdem sich der Übergang zur

Caatinga aber auf der Ebene vollzieht, sind auch andere Faktoren in Betracht zu ziehen. So könnten auch geologische Faktoren dabei eine Rolle spielen. Der beim Geländepraktikum 2019 bei Milagres kartierte Granit ist wesentlich SiO_2 -reicher als die gabbroiden Plutonite bei Bom Pastor (Abb.7) Verwitterungs- und Bodenbildungsprozesse laufen dadurch wesentlich langsamer ab, bei geringer Freisetzung von Nährstoffen und Basen, die der Bodenversauerung entgegenwirken. Nährstoff- und vor allem Wasserspeicherkapazitäten im Boden sind dadurch kleiner, was die Ausbildung einer Waldvegetation hemmt. Diese wiederum vergrößert durch effizientes „Transpirationsrecycling“ die Niederschlagsmengen wesentlich. Diese Hypothese sollte in Zukunft überprüft werden



Abb. 7: Gabbroider Plutonit von Almada versus quarzitreichem Sandstein über Konglomerat bei Lençóis

Am späten nachmittag eröffnet sich der Blick auf die Tafelberge der Chapada de Diamantina, inmitten einer jetzt nach der Regenzeit saftig wirkenden Savannen- und Strauchlandschaft. Die meisten Sträucher sind jetzt beblättert. Die Studenten von Mirco erzählen von ihren Projekten. S sind allesamt Zoologen mit Spezialisierung auf Ameisen, Fröschen und Krabben.

Nach mehr als 11 Stunden Fahrt kommt der Bus bei Dunkelheit in Lençóis an und wir müssen unser Gepäck über die Kopfsteinpflaster der engen Gassen bis hinauf zu unserer Pension tragen.

4. Chapada de Diamantina

Zur Erkundung der Chapada de Diamantina sind wir mitten im Städtchen Lençóis untergebracht, die mit seinen engen gepflasterten Straßen und bunten, ziegelgedeckten Häusern seinen kolonialen Charme erhalten hat. Von dort aus unternahmen wir verschiedene Ausflüge zur Erkundung der Fauna und Flora, Gewässer, Böden und der Gesteine (Abb. 8 - 9).



Abbildung 8: Schwarzwasserfluss (a) und präkambrische Siltsteine (b) bei der Kolonialstadt Lençóis (d) die in ihrer Umgebung eine sehr hohe Biodiversität aufweist (d)

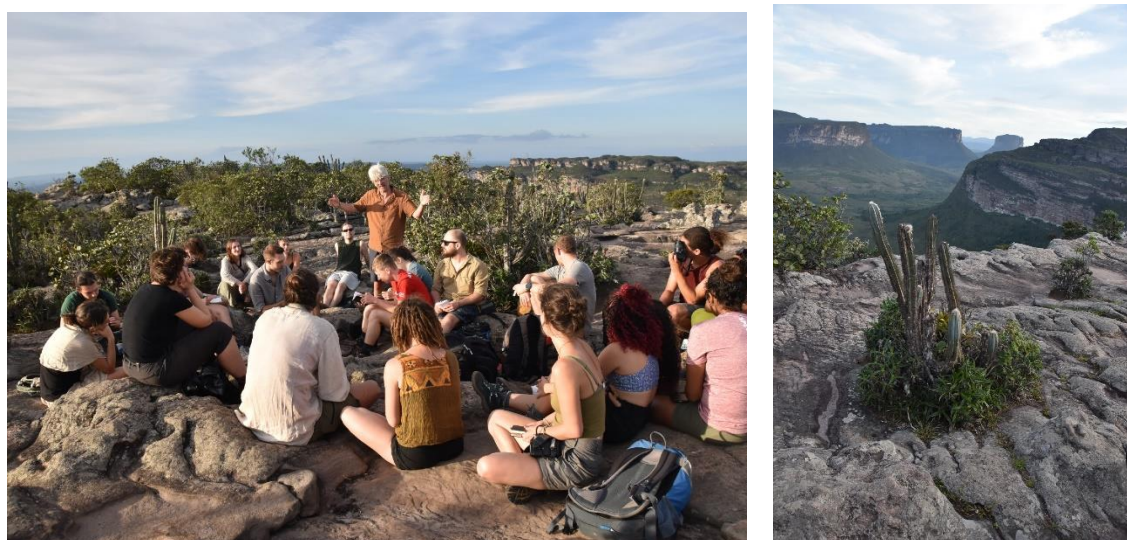


Abbildung 9: Vorlesung zur Geologie der Chapada de Diamantina (links). Auf den Tafelbergen finden sich Inselökosysteme aus an Nährstoffarmut und Trockenheit angepassten Pflanzen wie Kakteen, Bromelien und Orchideen (rechts)

4.1. Präkambrische Gesteine im Gebiet um Lençóis

Unser Aufenthalt in Lençóis stand ganz im Zeichen der Geologie. Nicht nur für unsere Ökologengruppe aus Tübingen und Ilhéus war die große Vielfalt an Gesteinen ein Grund dort hinzufahren, sondern auch für eine Geologengruppe aus Minas Gerais unter der Leitung des renommierten Geologen Fabricio de Andrade Caxito der UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).

Wir tauschten uns beim Abendessen über die örtlichen Gegebenheiten aus und unternahmen auch einen gemeinsamen Ausflug zu einer Silikathöhle bei Lençóis mit insgesamt mehr als 60 Studenten (Abb. 10).

Das Gebiet der Chapada de Diamantina rund um Lençóis verdeutlicht in eindrücklicher Weise dem geologischen Prozesse im Präkambrium vor 1,5 Milliarden Jahren ähnlich ablaufen wie heute. Klastische Sedimente wurden dort entlang eines Flusssystems in charakteristischer Weise abgelagert. Nahe am Liefergebiet – also einer Erhebung an dem die Abtragung ansetzen konnte- hat ein schnell fließender Fluss große Kieskomponenten in Form eines Konglomerates abgelagert. Mit zunehmender Entfernung vom Liefergebiet – und damit nachlassender Fließgeschwindigkeit und Transportkraft des Wassers finden sich Sand- Silt- und Tonsteine. Bei der Wasserrutsche in Lençóis sind für Flussablagerungen charakteristische Strömungsrippeln zu sehen. Den Abschluss der Flussequenz vom Gebirge bis zum Meer bilden Sandsteine mit Oszillationsrippeln. Solche Oszillationsrippeln bilden sich im Küstenbereich überhalb der Wellenbasis, wo das Wasser den Untergrund hin- und herbewegt. Die Formung solcher Rippeln konnte dann später auch noch „live“ am Strand von Barra Grande beobachtet werden.

Phantastisch sind außerdem marine fein laminierte Karbonatgesteine aus dem Mesoproterozoikum am Höhleneingang von Prathinha aufgeschlossen. Diese wurden im flachmarinen Schelfbereich, wahrscheinlich unter Mithilfe von Blaualgen gebildet. Diese dominierten in Form von Stromatolithenmatten die Meere des Präkambrium. Sie waren mit die ersten Organsimen, die zur oxygenenen Photosynthese befähigt waren und veränderten das System Erde dadurch grundlegend. Als Produzenten lieferten sie nicht nur die Energie und Grundbaustoffe für alle anderen, sondern förderten durch den Entzug von CO₂ auch die Bildung von Sedimenten aus Kalziumkarbonat. Die Übertragung von aktuell ablaufenden Geoprozessen und der daraus resultierenden Strukturen auf Geostrukturen, die sich in der Vergangenheit formierten, nennt man Aktualismus.

Die Überlieferung von Sedimenten aus dem Präkambrium ist selten, da diese meist durch Metamorphose überprägt wurden oder bereits wieder an Subduktionszonen in den Erdmantel eingespeist wurden. Das geringe Schichtfallen, das an vielen Stellen im Gebiet eingemessen werden konnte, zeigt das sich dieser Teil Brasiliens tektonisch seit präkambrischer Zeit in relativer Ruhe befindet.



Abbildung 10: Sandsteinen mit Sedimentstrukturen, die Wellenbewegung am Strand (links) und fließendes Wasser in einem Flusssystem (Mitte) bezeugen. Geoexkursion mit mehr als 60 Studenten von Ilhéus, Minas Gerais, Tübingen und Hohenheim.

4.2. Caatinga und Campos rupestre Ökosysteme

Das quarzreiche Ausgangsgestein und das semiaride Klima stellen hohe Anforderungen an die Lebewelt der Chapada de Diamantina. Die Bodenbildung verläuft unter diesen Umständen sehr langsam. Die Vegetation ist trockenadaptiert, niederwüchsig und wenig produktiv. Während in der eigentlichen Caatinga auf Lockersedimenten im Flachland zwischen den Tafelbergen noch niedere Bäume, Palmen und Kakteen in relativ hoher Dichte (LAI ca. 1) vorkommen, sind die Gesteinsflächen der Tafelberge um Lençóis nur sehr spärlich mit „Campos rupestre“ bewachsen. Trotz der geringen Vegetationsdichte zeigt sich bei unserer Wanderung zu der Silikathöhle, das Feuer hier ein wichtiger ökologischer Faktor darstellt, an den die Lebewelt angepasst ist. Viele der mit dicker Korkborke bewährten strauchigen, nach einem Feuer verkohlten Holzpflanzen haben bereits wieder Blätter ausgetrieben. Holzkohle hat sich in Kühlen auf dem Steinboden angesammelt und bildet die Grundlage von A-C Rohböden. Feuer trägt hier offensichtlich stark zur Mineralisierung bei, da die Aktivität der Destruenten unter den sauren und trockenen Umweltbedingungen noch stärker eingeschränkt ist als der Produzenten. Aschen heben den pH-Wert und setzen wertvolle Nährstoffkationen frei.

Entlang der dunklen Flüsse, die sich in die Gesteinsformationen eingefressen haben, ist die Vegetation höher, die dunkle Farbe wie beim Wasserfall Poco do Diabo kommt durch Humin- und Fulvosäuren zustande, die beim unvollständigen Abbau der schwer zersetzbaren Biomasse freiwerden. Wir messen einen pH-Wert von 5 und keine nennenswerte Eisenkonzentration, was über den quarzreichen Sandsteinen auch zu erwarten ist. Beim der Flusswasserrutsche am Lençóisfluss beobachten wir viele kleine Fische, die sich von Algenüberzügen auf den Steinen ernähren. Auf dem Rückweg bei Nacht fängt Vini, ein ehemaliger Masterstudent von Mirco Sole neben Fröschen auch eine Schildkröte in einem der Bäche. In der Gasse vor unserem Hostel zeigt uns Mirco dann noch einen der größten Frösche, die in Brasilien vorkommen (Abb. 11).

Am nächsten Tag schauen wir uns auf dem Weg zum Flussbad nochmal die Vegetation und den Boden etwas genauer an. Das Substrat ist sandig und zeigt dementsprechend eine hohe Infiltrationsrate. Der Wassergehalt scheint mit 12% niedrig, ist aber weit über halb dem permanenten Welkepunkt, bei dem es für Pflanzen nicht mehr verfügbar ist. Obwohl eigentlich im Bereich der Caatinga finden wir hier viele Elemente der Mata Atlântica wie *Cabralea canjerana* und *Calypttranthes grandifolia*.

Etwas aus dem Rahmen fällt der Austritt des Prathinha Flusses aus einem karbonatreichen Stromatolithgestein. Dort hören wir auch den Vortrag von Unka über Caatingaökosysteme im Allgemeinen. Das Gewässer erscheint dort hell, transparent, aber dennoch eutrophiert.

Laichkrautgewächse und Fadenalgen ernähren dort eine große Anzahl von Schnecken und Süßwasserfischen.



Abbildung 11: Flora und Fauna bei Lençóis Riesenfrosche *Leptodactylus ocelatus* (a), feueradaptierte Pflanzen (b), Melastomataceen (c) und Wespennester (d).

4.3. Höhlenökosysteme

Die Silikathöhle ist nicht nur was die Geologie betrifft, interessant sondern beherbergt in ihrem Inneren auch ein eigenes „lichtentkoppeltes“ Ökosystem. Der Eintrag von Biomasse erfolgt entweder über die Fledermäuse, die immer wieder an den Decken hängen, und ihre Exkremente fallen lassen, sondern eventuell auch über den Fluss, der durch die Höhle hindurchfließt. Sogar eine eigene höhlentypische Froschart finden hier die Zoologiestudenten von Mirco. An vielen Stellen ist das Gestein mit Biofilmen überkrustet.

4.4. Minioasenökosysteme auf Tafelbergen

Zum Abschluss unseres Chapada Aufenthaltes steigen wir am 24.3. auf den „Morro do Pai Inácio“ -einen Tafelberg mit grandioser Aussicht über die Landschaft (Abb. 9). Standesgemäß gibt es oben von Saskia einen Vortrag über die Geologie Brasiliens – und dann viele Fragen von deutscher und brasilianischer Seite.

5. Michelin – nachhaltige Kautschukplantage?

Nach langer Fahrt von Lençóis kommen wir nachmittags in der 11000 ha großen Plantage von Michelin an. Kevin Flesher, der Stationsleiter und Naturschutzbiologe empfängt uns und hält im Pavillon hinter dem Haus einen ersten Vortrag über das Projektgebiet, seine Funktion und Mission, Restaurierung degradiertes Flächen und die

Bedeutung von Freilandarbeit zur ökologischen Analyse von tropischen Wäldern (Abb. 12). Das Essen, das Michelin für uns bei einem Restaurant bestellt hat, ist leider nicht so toll – am nächsten Tag haben einige Leute Magen-Darm Probleme. Das ist insofern ungeschickt da uns Kevin auf einen langen Marsch mit vielen Höhenunterschieden durch das Gebiet schickt. Er zeigt uns auf dem Weg verschiedene Sukzessionsstadien in der Mata Atlântica!

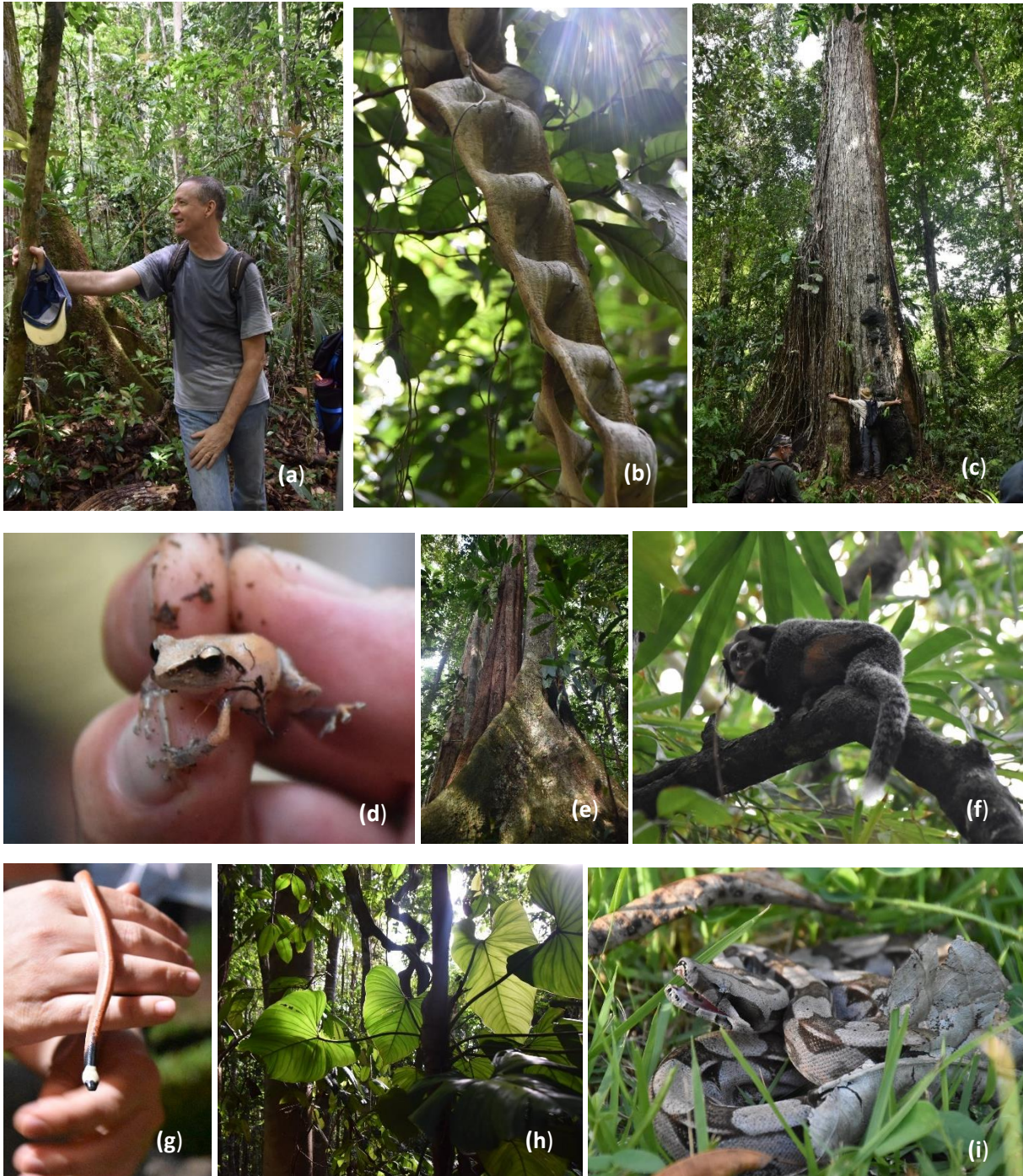


Abbildung 12: Flora und Fauna auf geschützten Flächen im Michelin gebiet bei Camamau, Bahia. (a) Dr. Kevin Flesher in Michellin Waldgebiet; Liane *Bauhinia* sp.; Atlantischer Wald in einem fortgeschrittenen Sukzessionsstadium (b,d,h); Fauna der Amphibien, Reptilien und Säugetiere (d, f, g., i).

6. Barra Grande – Mangrovenwälder und Kalkalgenriffe

Bei strömendem Regen, und bei den meisten mit schlechtem Magen geht es mit dem Bus nach Camamau, einer Lagunenstadt, von der aus man mit dem Boot nach Barra Grande an dann mit Pick-ups weiter an die riffgesäumten Strände von Itaipu de Fora kommt. Nachdem wir alle auf einem Schnellboot sitzen, dass die Mangrovenwälder in der Lagune schnell hinter sich lässt und dann später die Sonne herauskommt wird die Laune schon viel besser. Auf den Pritschen der Pick-ups geht es dann auf unbefestigten Sandstraßen durch die Restinga bis zum Strand. Die nächsten 2 Tage erkunden wir dann die Lagune des vorgelagerte Kalkalgenriffes. Die Riffe vor Bahia sind insofern etwas Besonderes, dass sie im trüben Wasser des Atlantiks, im dem viel siliziklastisches Material suspendiert ist Barrieren gegen das offene Meer hin aufbauen. Trübes Wasser ist für die meisten riffbildenden Organismen abträglich, da dadurch das Licht stark abgeschwächt wird, dass diese zur Photosynthese brauchen. Photosynthese fördert durch CO₂-Entzug die Bildung von CaCO₃. Inkrustierende Rotalgen, die durch eine spezielle Pigmentausrüstung mit Phycoerythrin und Phycocyanin auch noch Schwachlicht verwerten können, werden damit zu den dominierenden Riffbildnern. Außerdem wird Karbonat über die kleinen Kalkplättchen der Pfennigalge *Halimeda* ins Lagunensediment eingetragen. Vor allem bei stürmischem Wetter werden lose Teile dieser Algen zusammen mit anderen fragilen Komponenten vom Riffdach abgebrochen und in die Lagune gespült.

Bei mehreren Schnorcheltauchgängen sehen wir, dass die strauchförmigen *Halimeda*-Algen vor allem an der Kante des Rückriffs häufig ist, während in den tieferen Bereichen des Riffkörpers und in den höhlenartigen Hohlkehlen darunter Rotalgen dominieren. Das Riffdach selbst wird heute von Braunalgen überwuchert und verdrängen auch am Rückriff zunehmend die weniger konkurrenzstarken Benthosorganismen. Braunalgen sind bekannt dafür, dass sie stark von der Zufuhr von Nährstoffen profitieren. Der Nährstoffeintrag könnte über die Flüsse erfolgen, die bei Canamu in die Lagune münden. Die Mangrovenwälder in der Lagune fungieren im intakten Zustand als hochproduktives ein Filtersystem, dass diese Nährstoffe dem Wasser entziehen. Die Aufrechterhaltung dieser Ökosystemfunktion sollte beim Küstenschutz also eine hohe Priorität zukommen. Auf dem Riffdach waren viele schwarze Seeigel zu sehen, die es vermögen, Löcher in den Riffkörper zu fräsen. Seeigel tragen also zur Bioerosion bei. Auf der anderen Seite grasen Seeigel mit ihrem ausgefeilten Kieferapparat Algenmatten vom Riff. Sie werden deshalb auch als die „Kühe“ der Meere bezeichnet. Auch Steinkorallen, die sonst in tropischen Meeren Riffe aufbauen sind am Aufbau der Riffe beteiligt. Wir registrierten von allem *Siderastrea stellata* und *Manicina areolata*, fanden am Strand aber auch ästige Korallenbruchstücken. Wir dokumentierten an verschiedenen Standorten entlang der

Rückriffkante nicht nur die Deckung mit verschiedenen Benthosorganismen sondern sammeln auch Sediment eine, dass sich unter den Vorsprüngen des Riffkörpers in ca. 4 m Tiefe angesammelt hat. Die Sedimentkomponenten wurden später von Saskia unter dem Binokular auf der Pró-Mata Station klassifiziert und ausgezählt. Das Spektrum an biogenen Komponenten wie Seeigelstacheln, Halimedaplättchen, Muscheln, Schnecken, Bryozoen, Schwammnadeln und Foraminiferen ist ein Maß für die Zusammensetzung der benthischen Gesellschaft und Zustand des Riffs. Ein Vergleich mit den Sedimentspektren der Vorjahre erlaubt die Rekonstruktion der Ökosystemdynamik. Insgesamt lässt sich ein Trend zu geringerer Diversität und höherem Anteil an Halimedaplättchen ableiten. Die chemische Analyse des Lagunenwassers zeigte einen hohen pH-Wert von 8, eine Karbonathärte von X und einen Nitratwert von 0,02 und entspricht somit den Werten die in tropischen Küstengewässern zu erwarten sind.

Die produktiven Algenrasen auf den Riffkörpern bilden die Grundlage für eine reiche Fischfauna mit Doktorfischen, Riffbarschen, Lippfischen, Falterfischen, Barrakudas, Muränen etc (Abb. 13).

Das Riffdach liegt morgens bei Ebbe trocken, was es nur für Spezialisten mit amphibischer Lebensweise bewohnbar macht. Bei Flut ist es hingegen der Brandung ausgesetzt. Der Weg zur Pousada geht teilweise durch einen strandnahen, dichten Niederwald (Restinga), auf dem sich über dem sandigen Boden viel organische Substanz angereichert hat. Zum Glück bewohnen wir die Pousada allein – gibt es die Möglichkeit dort mehrere wissenschaftliche Seminare (Krabbenfischerei, Kakaohandel, biogene Riffe und Mangroven) und auch eine Einführung in die Musik und Tanze von Bahia abzuhalten.



Abbildung 13: Mirco Solé beim Tauchgang im Kalkalgenriff bei Taipu de Fora mit Nacktschnecken, Doktorfischen und vielfältigen riffbildenden Benthosorganismen.

7. Porto Alegre

Während der erste Teil der Exkursionsgruppe wie vorgesehen und völlig ohne Probleme von Ilhéus über Sao Paulo nach Porto Alegre fliegt, endet der zweite Teil des Fluges für die anderen fast in einem Desaster. Romina, Mia, Larissa, Sebastian und Manuel können wegen einer Überbuchung erst 3 Stunden später fliegen. Währenddessen brauen sich über der südbrasilianischen Küste heftige Unwetter zusammen. Das Flugzeug gerät in einen Gewittersturm, wird so heftig durchgeschüttelt, dass viel der Passagiere erbrechen und in Panik geraten. Das Flugzeug sackt über den Lagunen bei Torres weit nach unten ab, das Licht der Notausgänge wird aktiviert. Letztendlich schaffen es die Piloten das Flugzeug in Florianopolis zu landen. Sowohl der Flieger als auch die Crew wird daraufhin ausgewechselt, so dass dann doch noch alle am Gleichen Tag nach Porto Alegre kommen. Porto Alegre, die Hauptstadt von Rio Grande do Sul liegt in der Küstenebene, wo mehrere große, schiffbare Flüsse in eine große Lagune einmünden. Diese Flüsse entwässern die sogenannte Zentraldepression, ein Becken, dass sich bis weit ins Innere des Kontinats bis nach Argentinien erstreckt. Diese Tiefebene ist eine wichtige Agrarregion, in der neben Reis auch Soja und Tabak im großen Stil angebaut wird. In Richtung Süden beginnen dann die Grasländer der Pampa. Große Rinderfarmen trugen um die Jahrhundertwende so wie in Argentinien maßgeblich zum Wohlstand des Landes bei. Nördlich von Poa erhebt sich dann das Küstengebirge der Serra Geral mit den südlichsten Ausläufern der Mata Atlântica. As Hochland der Serra Gera ist das nächste Ziel unserer Reise (Abb. 14).



Abbildung 14: Anfahrt mit dem VW-Kombi über das Araukarienhochland von Porto Alegre ins Pró-Mata Gebiet.



Abbildung 15. Bodenprofil (a), Laborarbeit (b) und *Dicksonia sellowiana*-Baumfarne (c) im Pró-Mata Gebiet

8. Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata

Das Forschungsprojekt Pró-Mata, so genannt „Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza – Pró-Mata, mit der dazugehörigen Forschungsstation ist im südbrasilianischen Araukarienhochplateau ca 160 km nördlich der Landeshauptstadt Porto Alegre angesiedelt. Die südlichsten Ausläufer des atlantischen Regenwaldes an den zur Küste abfallenden Steilhängen wird auf dem Hochplateau von Araukarienwäldern ersetzt, die dann sich dann landeinwärts mit Graslandflächen verzahnen. Diese Vielfalt an antagonistischen Ökotypen war einer der Gründe das Projekt dort anzusiedeln.

Wir untersuchten dort nicht nur neben den geologischen und bodenkundlichen Randbedingungen, vor allem die Sukzession der Vegetation an verschiedenen Standorten des seit 1996 aus dem jeglicher Landnutzung entzogenen Gebietes. Darüber hinaus führten wir eine Inventarisierung der Arthropoden- Herpeto- und Säugerfauna durch (Abb. 15).

Wir wurden dabei von dem Stationsleiter Glauco Schüssler von der PUC, Ferrando Poli und Rosanna Keil vom Umweltbüro „Biociclos Soluções Ambientais“ sowie von Jan Marco Miranda Ebner vom Eugen Boltz Gymnasium Rottenburg betreut, der zu der Zeit dort ein Berufspraktikum durchführte. Ihre Orts- und Artenkenntnis ermöglichte nicht nur die Erstellung einer umfangreichen Floren- und Faunenliste sondern auch den sicheren Abstieg vom Hochplateau in die Küstenebene am Ende unseres Aufenthaltes.

Sie stellten uns außerdem ihre Wildkameras zur Verfügung, die zur Erfassung der Säugerfauna an verschiedenen Stellen eingesetzt wurden. So gelang auch der Nachweis eines Ozelots – einer auf der roten Liste geführten höchstgefährdeten Arten in Südamerika. Es ist davon auszugehen, dass diese Raubkatze aufgrund des Klimawandels und der damit verbundenen Änderung des Nahrungsspektrums seinen Weg von den Tropenwäldern auf das kühlgemäßigte Araukarienhochplateau gefunden hat. Die Tendenz von tropischen Arten dort einzudringen, wurde außerdem bei Florenelementen wie *Cabralea canjerana*, *Alsophila elegans*, sowie bei verschiedenen Fröschen registriert.

In den Laborräumen der Pró-Mata Station untersuchten wir neben den Anpassungen von Epiphyten an Trockenstress in den Baumkronen auch die Wurzelsysteme von Araukarien hinsichtlich der Mykorrhizierung mit ihren Pilzpartnern. Die Anregung dafür kam von einer in der Pró-Mata Bibliothek vorhandenen Diplomarbeit von Magdalena Breuning.

Die Schmetterlingsgruppe erfasste das Vorkommen von Tagfaltern in mehreren Biotoptypen. Besonders eindrucksvoll war allerdings die Abundanz und Vielfalt von Nachtfaltern, die von den Lichtern der Station angezogen wurden. Bei einem nächtlichen Ausflug zu den Tümpeln bei der Station fanden wir *Hyla leptolineata*, *Pseudis cardosii* und andere Frösche. An Vögel beobachteten wir neben dem Blauhäher... Vor der Stationsterasse zeigte sich wiederholt ein Waldfuchs (Abb. 16).



Abbildung 16: Flora und Fauna im Pró-Mata Gebiet: *Araucaria angustifolia* (a); Inka mit einem Lepidoptera Exemplar (*Philaethria wernickei*) (b); Klimaxwald, mit Exemplaren von *Dicksonia sellowiana* (Baumfarn) (c); Motten, die vom Licht angezogen werden (d); Ozelot-Wildkatze (*Leopardus pardalis*), fotografiert von einer der TrapCams, die wir in Pró-Mata installiert haben (e); Laubfrosch *Boana leptoneus*.

8.1. Geologie

Das Pró-Mata Gebiet fusst auf vulkanischen Decken, die sich im Zuge der Öffnung des Südatlantiks am Anfang der Kreidezeit bildeten. Basaltische Gesteinsschmelzen aus dem oberen Erdmantel ergossen sich dabei anfangs über die Sanddünen eine kontinentale Wüste im Zentrum des Südkontinents Gondwana. Dieser war über das gesamte Paläozoikum hinweg stabil. In schneller Abfolge kam es zum Ausfluss und Erstarrung von dünnflüssigen Laven. In der Schmelze gelöste Gase wurden durch Druckentlastung an der Erdoberfläche mobilisiert und stiegen in der frisch abgelagerten anfangs noch flüssigen Schmelze in Form von Gasblasen bis zur Oberfläche auf. Nicht alle Gasblasen schafften es in die Atmosphäre zu enweichen sondern bleiben beim Aufstieg in der erstarrenden Schmelze stecken. An der Oberseite der Decken entstanden dadurch Blasen Hohlräume, die dann später durch Kristallisation von Mineralen aus perkolierenden wässrigen Lösungen (sekundär) verfüllt wurden. So kam es an der Oberseite der einzelnen vulkanischen Decken zur Bildung von Blasenhorizonten (Bubbles) in Form von Melaphyren. Dazwischen können immer wieder Sandsteinlagen als Intertrappeinlagerungen vorkommen. Später kam es durch explosiven Vulkanismus zur Ablagerung von Rhyolithen in Form von ignimbrischen Glutwolkenablagerungen. Bis zur Diplomkartierung von Ebner (2001) ging man davon aus, dass das Serra Geral Küstengebirge an der Basis bis in eine Höhe von ca. 500 m aus Basalt und darüber aus Rhyolith besteht. Sowohl die Arbeit von Ebner als auch die darauf folgende Kartierung von Nass und Schinko (2004) im Norden des Pró-Mata Gebietes haben gezeigt, dass im Rhyolith zwischen 780 und 880 Meter Höhe eine weitere Basaltschicht interkaliert ist (Abb. 17).

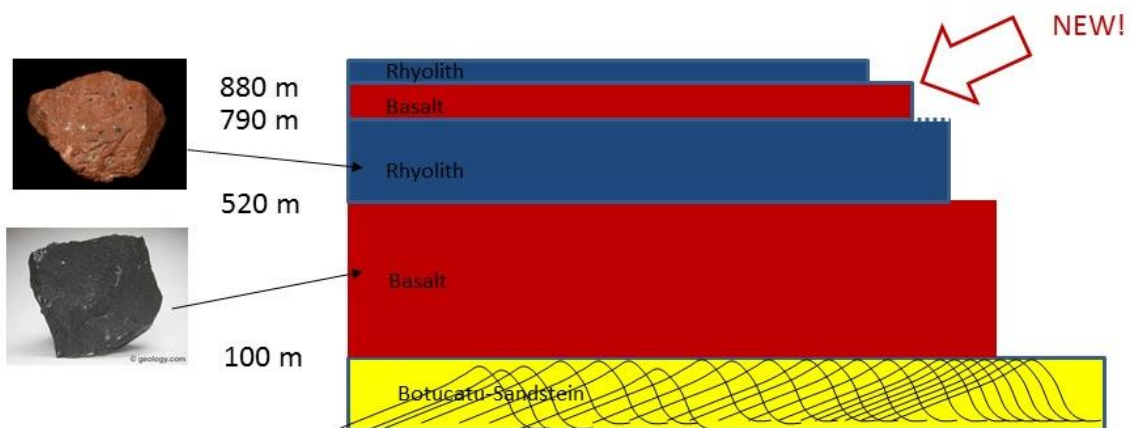


Abbildung 17: Geologisches Profil des Pró-Mata Gebietes.

Basalt, der ohne Umschweife direkt aus dem oberen Erdmantel zutage gefördert wurde, weist ein mikrokristallines Gefüge auf, ist reich an den Fe- und Mg-haltigen Mineralen Pyroxen, Hornblende und Olivin und hat dementsprechend eine hohe Dichte. Rhyodazit

hingegen weist bereits auskristallisierte Minerale auf, die als Einsprenglinge erkennbar sind hat einen hohen Anteil an Quarz und ist dementsprechend sehr verwitterungsbeständig. Aus dem Wechsel von leicht verwitterbarem Basalt und relativ hartem Rhyolith ergibt sich nicht nur eine treppenartige Schichtstufenlandschaft sondern auch wichtige Konsequenzen für den Wasserhaushalt, Bodenbildung und Vegetationsausbildung (Abb. 18)

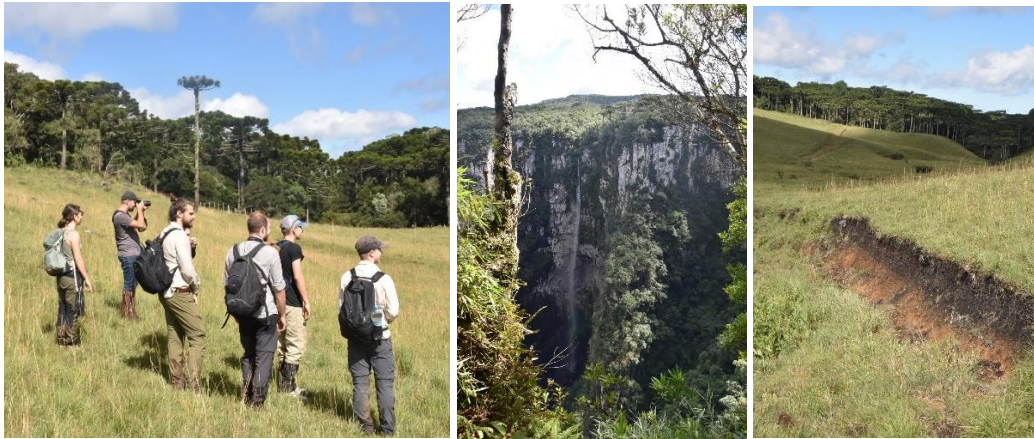


Abbildung 18: Landschaft mit Araukarienwald und Grasland über humusreichen, sauren Böden aus Rhyolith. Rhyolith bildet eine scharfe Abbruchkante des Pró-Mata Plateaus mit 300 ins Garapiátal abfallenden Steilwänden.

8.2. Böden

Entsprechend unterschiedlichem Ausgangsgestein, unruhiger Topographie, steilen vertikalen Klimagradienten und unterschiedlicher Streuanlieferung durch die Vegetation haben sich auf engstem Raum unterschiedlichste Bodentypen entwickelt. Auf der Hochfläche im Araukarienwald über Rhyolith finden sich humusreiche Cambisole und Histosole während an den Hängen mit atlantischem Regenwald über Basalt verwitterte, rote, tonreiche und humusarme Böden entwickelt haben, die eher den in dieser Klimazone typischen Acrisolen entsprechen.

8.3. Vegetation

Wie die Vegetationskarte von Ralph Baaske zeigt, setzt sich das Projektgebiet von Pró-Mata aus einem vielfältigen Mosaik verschiedener Vegetationstypen zusammen. Die atlantischen Wälder (Mata Ombrófila Densa) an den steil zur Küstenebene abfallenden Hängen werden auf dem Plateau durch Araukarienwälder ersetzt. Diese werden landeinwärts von Graslandflächen ersetzt. Darüber hinaus werden weite Teile des Gebiets von Sukzessionsflächen bedeckt. Das erste Stadium nach einer Störung –z.B. einer Rodung, Feuer oder Hangrutsch ist dabei ein Strauchland, das von *Baccharis uncinella*

dominiert wird, im weiteren Verlauf der Sukzession werden diese dann durch *Tibouchina* Sekundärwäldern ersetzt.

Wir machten es uns zur Aufgabe an verschiedenen Standorten dieses Muster nachzuvollziehen und den Faktoren auf den Grund zu gehen die dafür verantwortlich sind. Wir führten dazu Vegetationsaufnahmen nach Braun Blanquet durch und analysierten parallel dazu die Landschaftsform, den Oberboden und den geologischen Untergrund. Unsere Aufnahmen bestätigten das Vorkommen folgender Charakterarten in den verschiedenen Vegetationstypen:

Atlantischer Wald

Cabralea canjerana – (hoher Baum mit zusammengesetzten Blättern wie bei der Esche mit asymmetrischen Blättchen) Meliaceae, *Alsophila elegans* (Baumfarn mit feinem, stacheligem Stamm) Dicksoniaceae, *Psychotrea suturella* (Strauch mit weißen Blüten und blauen Beeren) Rubiaceae, *Calyptrothoe grandifolia* (große zugespitzte schwanzflossenförmige Doppelblätter) Myrtaceae.

Araukarienwald:

Araucaria angustifolia (erdgeschichtlich sehr alte windbestäubte Gymnosperme mit großen Zapfen), *Dicksonia sellowiana* (Baumfarn mit dickem Stamm ohne Stacheln), *Myrcia retorta* (elfenförmiger Baum mit ledrigen eiförmigen Blättern und zerfurchter Borke), *Lamanonia speciosa* (Baum mit hanfförmigen Blättern).

Campos-Grasland

Andropogon lateralis (rot überlaufenes sehr häufiges Savannengras), *Calea phyllolepis* (Asteraceae mit kreuzgegenständigen Blättern und gelber Blüte), *Baccharis trimera* (Strauch mit dreieckförmiger Sprossachse).

Baccharis-Strauchland

Baccharis uncinella (hoher Strauch, Blättchen mit nach unten gebogenen Rändern), *Cordodeira sellowiana* (Pampasgras), Adlerfarn (Indikator für Feuer), *Eryngium spinosa* (Zeiger für Beweidung), *Lycopodium clavatum*.

Tibouchina-Sekundärwald

Tibouchina sellowiana (rot-weiß blühender Baum), *Cedrela fissilis* (Blattfieder mit symmetrischen ganzrandigen Blättern, Nutzholz), *Lamanonia speciosa* (Baum, Blattfiedern mit gezackten Blättchen).

8.3.1. Das Wald-Grasland Paradox

Im Eingangsbereich von Pró-Mata entlang der Straße öffnet sich der Araukarienwald immer wieder und macht Graslandflächen Platz. Das daraus resultierende Wald-Grasland

Mosaik wirft eine Reihe von Fragen auf. Normalerweise sollten diese gegensätzlichen Vegetationstypen nicht nebeneinander vorkommen.

Das Klima an der Randstufe des Araukarienplateaus ist das ganze Jahr über humid, mit Niederschlagsmengen von mehr als 2000 mm. Diese Bedingungen fördern Waldwachstum. Für die Graslandflächen gibt es 2 Erklärungsansätze. Entweder sie sind durch Rodungen entstanden, die angelegt wurden, um Weideflächen zu schaffen, oder aber – dafür sprechen die endemischen Arten, die im Grasland gefunden wurden- sie sind Relikte aus einer trockeneren Zeit, in denen hier oben auf dem Planalto eine Steppenlandschaft vorherrschte. Pollenanalysen stützen das 2. Erklärungsmodell, nachdem in tieferen und damit älteren Bodenschichten an Araukarienstandorten Gräser das überlieferte Pollenspektrum dominieren.

8.4. Fauna

Ein Highland neben dem Waldfuchs war ein Ozelot, der in der Mata Atlântica von einer der trapcams aufgenommen wurde. Im Grasland wurden außerdem invasiv Widschweine abgelichtet.

8.5. Expedition ins Zentrum von Pró-Mata

Ein Großteil des Pro Mata wurde noch nie von einem der am Projekt beteiligten Wissenschaftler begangen. Der gesamte Südteil des Gebietes ist überhaupt nicht erschlossen. Am weitesten bis ins Zentrum von Pró-Mata gelangt man entlang eines alten Fahrweges, der bis zu einer Freifläche führt, die von einem ehemaligen Fazenda Gelände zeugt. Wir starten unsere kleine Expedition dorthin am tiefsten Punkt der Straße zur Station und machen uns zu Fuß weiter zur „Serraria“ – dort finden wir die Überreste einer alten Dampfmaschine, mit der am Anfang des letzten Jahrhunderts eine Sägewerk betrieben wurde. Das ist insofern spannend, dass hier im südlichen Teil des Pró-Mata Gebietes offensichtlich besonders mächtige Araukarien wuchsen. Die „Brasilkiefer“ war zu der Zeit ein Exportschlager mit dem Brasilien viel Geld eingenommen hat. Das Gelände bei der Serraria ist von großen Mimosa scabrella-Bäumen bewachsen, eine schnellwachsende Leguminose, die sich insofern zur Wiederbewaldung degradierter Flächen eignet, da sie über Knöllchenbakterien an ihren Wurzeln Stickstoff aus der Luft zu fixieren vermag. In Agroforstansatz, der bei der beim Pró-Mata Projekt von der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg anfangs verfolgt wurde, war außerdem das Auspflanzen von ebenfalls N-fixierenden Bohnen zusammen mit Araukariensetzlingen. Insgesamt verliefen die Pflanzversuche wenig erfolgreich, da die Araukarien nach einer gewissen Zeit nur langsam weiterwuchsen und außerdem von Schädlingen wie Blattschneiderameisen in Bedrängnis gebracht wurden.

Eine Frage, die wir dann im weiteren Verlauf des Weges verfolgten, war warum früher im Südteil des Gebietes größere Araukarien wuchsen als im Nordteil. Nachdem die Höhenlage mit ca. 900 m in weiten Teilen mit dem Nordteil bei der Station (914m).

vergleichbar und damit klimatische Faktoren vernachlässigbar sind, müssen wir edaphische Faktoren in Betracht ziehen. Ein Blick auf ein Bodenprofil bei 875m am Weg, sowie zwei neu gegrabene Punktfundamente für Strommasten zeigen, dass die Bodenverhältnisse tatsächlich komplett anders sind als entlang der Straße im Nordteil. Dort hatten wir auffällig mächtige, dunkle Humushorizonte direkt über schlecht verwittertem hellen Rhyolith Gestein, ohne ausgeprägtem B-Horizont. Hier an der Serraria hingegen ist der Boden tief verwittert, rot und ton reich, ohne nennenswerte Anreicherung von Humus im A-Horizont.



Abb.19: Alte Dampfmaschine (1910) für ein ehemaliges Sägewerk im Zentrum von Pró-Mata zur Verarbeitung von Araukarienholz (a); Kursteilnehmer im Araukarienwald von Rio Grande do Sul (b).

Die Messung des pH-Wertes im Garapiáfluss der dort entspringt ergab mit pH6 einen Wert um eine Stufe höher als im Nordteil (pH5). Nachdem sowohl der Nord- als der Südteil mit Mata Ombrofila Mista, also Araukarienwald bestanden ist, lenkten wir unser Augenmerk auf den geologischen Untergrund als möglicher Faktor um eine unterschiedliche Bodenbildung einzuleiten. Wie oben schon erwähnt, findet sich laut der geologischen Kartierung von Schinko und Nass im Nordteil des Gebietes Basalt, was auch die Serraria miteinschließt. Interessanterweise fanden wir aber nach einem Anstieg auf über 905 Meter einen Blasenhorizont (Bubbles), der die Oberseite von Basaltdecken charakterisiert. Auch im weiteren Verlauf des Rundweges ins Zentrum von Pró-Mata fanden wir ausschließlich Basalt aufgeschlossen. Die naheliegendste Erklärung für diese Diskrepanz zum Nordteil ist ein vertikaler Störungsversatz der beiden Blöcke. Solche Horst- und Grabenstrukturen sind für ein Extensionsfeld wie es Anfang der Kreidezeit, bei der Öffnung des Südatlantiks entstanden ist nichts Ungewöhnliches.

Ein indirektes Indiz dafür, dass wir uns über Basalt bewegten, war auch die rottonige Pampe unter unseren Füßen auf der sich immer wieder das Wasser staute. Wasser kann in Rhyolith Gestein viel besser einsickern, da es spröder ist und daher bei tektonischer Belastung Frakturen und Klüfte entstehen.

Wir kommen auf dem Weg nicht nur an beeindruckend hohen Araukarien und Cabralea-Bäumen sondern auch an mächtigen Dicksonia-Baumfarnen (z.T. > 6m) vorbei. Im Südteil des Rundweges auf der Ebene über Basalt wird die Steineibe *Podocarpus lambertii* neben der Araukarie zu einem wichtigen Florenelement. Nach Hueck (1966) ist *P. lambertii* im Araukarienwald an feuchte Senken gebunden.

Absolut essenziell sind hier Buschmesser um die Vegetation vom Weg zu entfernen. Wir bewegen uns fast über die gesamte Strecke in einer Hochstaudenflur. Neben Brombeeren und Urticaceenbäumen kommen darin vor allem Eupatorium-Arten und Solanaceen – allesamt Stickstoffzeiger- vor. Es gibt große Ähnlichkeiten zu den Lichtungsfluren in unseren temperaten Wäldern. Auf Kahlschlags- oder Sturmwurfflächen etabliert sich bei uns als erstes Sukzessionsstadium ebenfalls eine Hochstaudenflur mit Tollkirschen, Wasserdost, Apiaceen und Brombeeren. Wie kommt es zu der Freisetzung von pflanzenverfügbarem Stickstoff in Form von Nitrat? Das ist eine der großen Fragen, die sich uns stellt, da ja Stickstoff in Wäldern normalerweise ein Mangel-element darstellt. Direkter Eintrag über Tierexkremate oder den Wasserkreislauf können wir im Pró-Mata Gebiet ausschließen. Die Freisetzung ist eigentlich nur durch eine Überschussnitrifizierung zu erklären, die durch die Nitrifizierenden Bakteriengattungen *Nitrosomas* und *Nitrobacter* in Gang gesetzt wird. Diese finden entlang des Weges ausreichend stickstoffreiche, reduzierte Biomasse und warmfeuchte Zersetzungsbedingungen. Das Endprodukt der Nitrifizierung -Nitrat- wird dann von den schnellwachsenden Hochstauden sehr effizient über das Bodenwasser aufgenommen, reduziert und in N-reiche Phytomasse eingebaut. Die stickstoffreichen Blätter mit einem niedrigen C/N Verhältnis sind natürlich bei Tieren sehr begehrt, weshalb sich die Pflanzen mit Alkaloiden oder Stacheln gegen Fraß schützen. So benötigen Arthropoden Stickstoff, um ihr Exoskelett aus Chitin aufzubauen. So gibt es in diesen Hochstaudenfluren entlang der Wege tatsächlich eine üppige Arthropodenfauna – Schmetterlinge () saugen in Massen an den Blüten von Eupatorium. Die Ergebnisse von der Trapcam am Ende des Rundwegs sehen noch aus – aber es ist zu erwarten, dass auch dort größere Tiere abgelichtet wurden.

Ein weiterer interessanter Standort auf der „Serraria“ Runde ist eine alte Pinus-Pflanzung. In dessen Unterwuchs haben sich über die letzten 30 Jahre nicht nur mächtige, hohe Kiefern entwickelt, sondern auch ein Unterwuchs, der viele Elemente aus dem Araukarienwald enthält. Es wäre zu prüfen welche Ökosystemfunktionen so ein Bestand im Vergleich zu einer Araukarie bestand übernehmen kann.

8.6. Epiphyten aus Waldinseln im Grasland von Pró-Mata

Die kleinen Waldinseln (>100m) die immer wieder im Grasland auftreten sind nicht nur repräsentativ für die Situation im Wald-Graslandmosaik, sondern auch ein wichtiger Standort für Epithetische Pflanzen, die im Rahmen dieses Praktikums untersucht werden

sollten. Wir wählten deshalb eine der Capões aus und wählten einen voll mit Epiphyten bewachsene *Myrcia retorta* als Wirtsbaum aus.

Um die 3D Waldstruktur des Standorts genau zu erfassen, wurde die Position und BHD der Bäume in der Umgebung des Wirtsbaumes mit Hilfe von Kompass und Maßband gemessen (). Aus dem Abstand der Bäume vom Wirtsbaum und der Gradzahl abweichend von Nord. Wurde mit Hilfe trigonometrischer Funktionen dann ein XY-Plot erstellt. Verschiedene Epiphyten wurden dann eingesammelt und im Pró-Mata Labor genauer untersucht. Zum einen wurde die Oberflächenstruktur der Blätter analysiert, zum anderen die Veränderung des Wasserzustands anhand gravimetrischer Messungen. Die Epiphyten wurden dazu an einem *Myrcia retorta* Baum direkt vor der Station angeheftet (Abb. 20, 21, 22).



Abbildung 20: Feld- und Laborarbeit zum Epiphytenprojekt auf Pró-Mata. Die Position der Bäume in einer Waldinsel wird mit einem Massband und einem Kompass bestimmt. Die epiphytischen Pflanzen wurden bestimmt und ihre vertikale Verteilung dokumentiert. Einzelnde Epiphyten werden entnommen, der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt und dann wieder ausgebracht

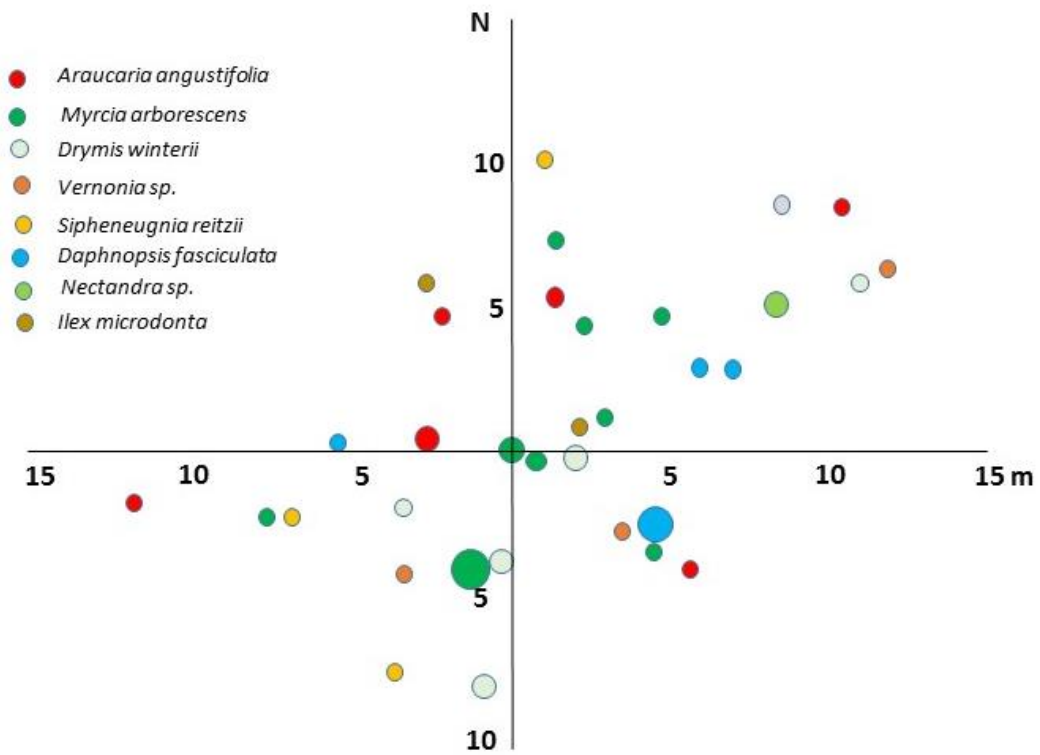


Abb. 21: Waldinsel (capão) (oben); Position der Bäume in der untersuchten Waldinsel (unten).

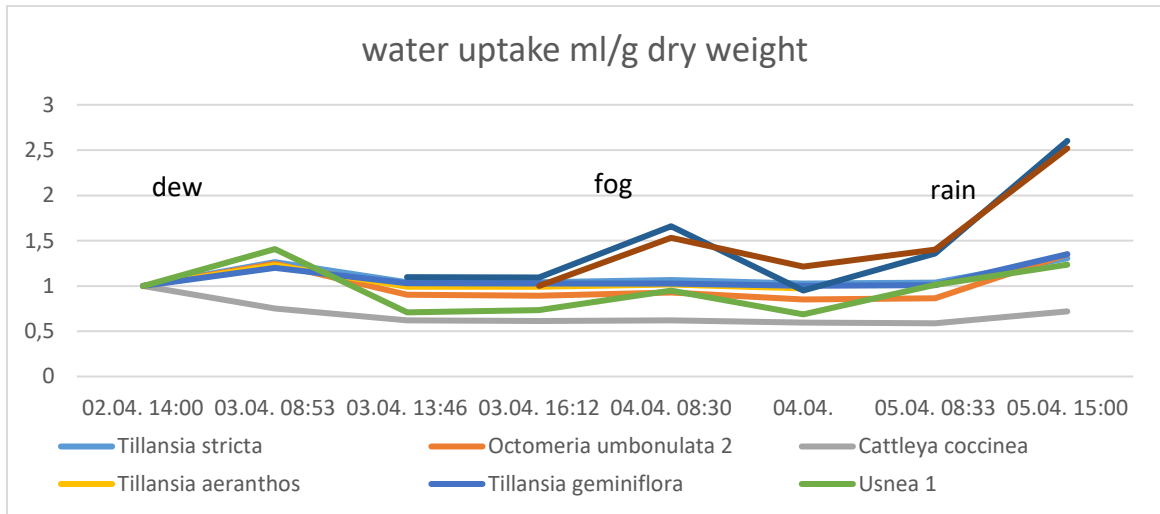


Abb. 22: Wasseraufnahme/abgabe von verschiedenen Epiphyten in der Waldinsel

9. Abstieg ins Garapiátal

Südlich von Pró-Mata ist das Garapiá-Tal das canyonartig tief ins Hochplateau eingeschnitten (Abb. 18). Wir versuchen in dieses Tal durch einen alten, auf der Karte nicht verzeichneten Trail zu gelangen, der früher wohl vor allem von Cachaca-Schmugglern, Wilderern, Araukariensamensammlern und eben uns Geoökologen und Biologen aus Tübingen genutzt wurde. Es gibt nur wenige Möglichkeiten von Pró-Mata in die Küstenebene abzusteigen. Die 300 m tiefen Abbrüche in der unteren Rhyolithenheit machen es an den meisten Stellen unmöglich. Um nicht vor einem Abgrund zu enden, ist also wichtig die möglichen Passagen genau anzusteuern.

Das Ganze steht unter keinem guten Stern denke ich als der VW-Bus mit einem Platten dasteht – immerhin ist das Wetter gut und die Rinder über deren Weide wir laufen müssen interessieren sich nicht für uns. Dafür sind wir schon kurz nachdem wir den Araukarienwald betreten, haben im Wald verloren. Sieht so aus, als wäre hier außer den Rindern schon lange niemand mehr gelaufen. Zum Glück hat Nando noch das GPS mit den Punkten von früher bei sich und kann sich damit grob orientieren – und zum Glück sind alle anderen mit sich selbst beschäftigt. Nach einiger Zeit gelangen wir an einen Flusslauf, an dem wir so lange entlanglaufen bis wir an der Furt sind, die wir suchen! Der Weg ist komplett zugewachsen. Der Untergrund ist matschig und Rot – spricht dafür, dass wir wieder über Basalt unterwegs sind, der auch in 900m Höhe noch ansteht. Auch *Podocarpus* würde dazu passen!

Nach Querung einer weiteren Graslandfläche und Abstieg durch einen urtümlichen Dicksonia-Araukarienwald kommen wir an die Abbruchkante, von der man auf der anderen Seite den Garapiá über mehrere hundert Meter in den Abgrund stürzen sieht. Der Untergrund scheint hier also hart und schwer verwitterbar zu sein. Das wir die untere

Rhyolitheit erreicht haben bestätigt sich als wir weiter hinten in einen Hohlweg einsteigen, der steil nach unten führt. Das Gestein funkt beim Anschlagen, was für einen hohen Kieselsäuregehalt spricht (Abb. 23)



Abb. 23: Teilnehmer von TES 2024 im Garapiátal, Garapiá-Wasserfall