

**Relatório do Produto nº 1 do Contrato nº 2015/000191 –
BRA/11/001: Parâmetros de clima mais relevantes para análise
do impacto da mudança do clima sobre a biodiversidade**

Renata Dias Françoso.

BRASÍLIA, 2016

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | 3 |
| LISTA DE TABELAS..... | 4 |
| LISTA DE ANEXOS | 5 |
| 1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 2. OBJETIVOS..... | 9 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL..... | 9 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 9 |
| 3. MÉTODOS..... | 10 |
| 3.1. RECORTE DAS ANÁLISES DO CLIMA | 10 |
| 3.1.1. Definição dos Distritos Vegetais..... | 11 |
| 3.1.2. Comparação entre Distritos Vegetais e Biomas | 15 |
| 3.1.1. Identificação das diferenças climáticas atuais entre as regiões biogeográficas adotadas . | 17 |
| 3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS IMPORTANTES PARA O MONITORAMENTO CLIMÁTICO PARA CADA REGIÃO BIOGEOGRÁFICA | 18 |
| 3.3. MODELOS DE NICHOS CLIMÁTICO DOS BIOMAS BRASILEIROS..... | 18 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1. RECORTE DAS ANÁLISES DO CLIMA | 20 |
| 4.1.1. Comparação entre Distritos Vegetais e Biomas | 21 |
| 4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS DIFERENÇAS CLIMÁTICAS ATUAIS ENTRE AS REGIÕES BIOGEOGRÁFICAS ADOTADAS | 24 |
| 4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS IMPORTANTES PARA O MONITORAMENTO CLIMÁTICO PARA CADA REGIÃO BIOGEOGRÁFICA | 26 |
| 4.4. MODELOS DE NICHOS CLIMÁTICO DOS BIOMAS BRASILEIROS..... | 28 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 30 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 32 |
| 7. ANEXOS | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. OS DIVERSOS BIOMAS E COMO ELES SÃO DETERMINADOS PELO CLIMA (ADAPTADO DE WHITTAKER POR CHAPIN ET AL. 2011)..... | 10 |
| FIGURA 2. GRUPOS DE VEGETAÇÃO BRASILEIRA USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS. FONTE: IBGE 2012..... | 11 |
| FIGURA 3. CLASSES DE ALTITUDE GERADAS A PARTIR DE IMAGENS SRTM (NGA & NASA 2000) USADAS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS. | 12 |
| FIGURA 4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) RECLASSIFICADO PARA A ESCALA DE 0 A 255; E ÍNDICE MELHORADO DE VEGETAÇÃO (EVI), DERIVADOS DE IMAGENS MODIS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS. | 13 |
| FIGURA 5. COMBINAÇÃO DOS MAPAS DE TIPOS DE SOLOS E FERTILIDADE (EMBRAPA, 2011), USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS..... | 14 |
| FIGURA 6. MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS. ... | 14 |
| FIGURA 7. CINCO MIL (5.000) PONTOS DISTRIBUÍDOS DE MANEIRA ALEATÓRIA SOBRE OS DISTRITOS VEGETAIS E OS BIOMAS BRASILEIROS. | 17 |
| FIGURA 8. MAPA DOS DISTRITOS VEGETAIS ELABORADOS A PARTIR DA COMBINAÇÃO E INTERPRETAÇÃO VISUAL DE MAPAS DE CLASSES DE VEGETAÇÃO, ALTITUDE, SOLOS, GEOLOGIA E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO. | 20 |
| FIGURA 9. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) USANDO VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. DETALHES DA ANÁLISE VIDE ANEXO I. A. CORES REPRESENTANDO OS DISTRITOS VEGETAIS. B. CORES REPRESENTANDO OS BIOMAS BRASILEIROS. | 24 |
| FIGURA 10. ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA (CCA) MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE OS BIOMAS BRASILEIROS E QUATRO VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NÃO COLINEARES, SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. PARA DETALHES DA ANÁLISE, VIDE ANEXO III. | 25 |
| FIGURA 11. MODELOS DE NICHO CLIMÁTICO DOS BIOMAS BRASILEIROS ELABORADOS COM O ALGORITMO MAXENT E OS CONJUNTOS DE VARIÁVEIS APRESENTADOS NO ANEXO IV. | 28 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. LEGENDA DOS DOMÍNIOS GEOLÓGICOS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS. | 15 |
| TABELA 2. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS (WORLDCLIM) USADAS PARA DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CLIMA MAIS RELEVANTES PARA ANÁLISE DO IMPACTO DA MUDANÇA DO CLIMA SOBRE A BIODIVERSIDADE. | 16 |
| TABELA 3. VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS (WORLDCLIM) SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST PARA DIFERENCIAÇÃO DOS BIOMAS E DOS DISTRITOS VEGETAIS. | 21 |
| TABELA 4. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANON FOREST PARA OS BIOMAS BRASILEIROS A PARTIR DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS À <i>PRIORI</i> | 22 |
| TABELA 5. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANON FOREST PARA OS DISTRITOS VEGETAIS A PARTIR DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS À <i>PRIORI</i> | 22 |
| TABELA 6. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANON FOREST PARA OS BIOMAS BRASILEIROS CONSIDERANDO APENAS TEMPERATURA MÉDIA ANUAL, SAZONALIDADE DA TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO ANUAL E SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO (Bio01, Bio04, Bio12 e Bio15). A DIAGONAL EM NEGRITO MOSTRA O NÚMERO DE ACERTOS, E OS VALORES NAS LINHAS REPRESENTAM O NÚMERO DE ERROS EM RELAÇÃO AOS BIOMAS PREDITOS. | 25 |
| TABELA 7. VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS SIGNIFICATIVAS PARA OS BIOMAS BRASILEIROS, BASEADO NOS RESULTADOS DE REGRESSÕES LOGÍSTICAS DOS PARÂMETROS DO CLIMA (DETALHES DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS NO ANEXO 4). OS BIOMAS APRESENTAM ALTOS VALORES DAS VARIÁVEIS COM RELAÇÃO POSITIVA, E BAIXOS VALORES DAS VARIÁVEIS COM RELAÇÃO NEGATIVA. | 26 |
| TABELA 8. VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA MONITORAÇÃO REGIONAL DO IMPACTO DA MUDANÇA DO CLIMA SOBRE OS BIOMAS BRASILEIROS. | 30 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO 1 - RESULTADOS DETALHADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS..... | 36 |
| ANEXO 2 – CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. NA COR PRETA ESTÃO REPRESENTADAS AS CORRELAÇÕES MAIORES DO QUE 79%, TANTO POSITIVAS QUANTO NEGATIVAS. TODAS AS CORRELAÇÕES INFORMADAS SÃO SIGNIFICATIVAS ($p < 0,001$)..... | 38 |
| ANEXO 3 - RESULTADOS DETALHADOS DA ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA. | 39 |
| ANEXO 4 - RESULTADO DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS DOS PARÂMETROS DO CLIMA PARA OS BIOMAS BRASILEIROS..... | 41 |
| ANEXO 5 – GLOSSÁRIO DAS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS UTILIZADAS (FONTE WWW.WORLDCLIM.ORG)..... | 44 |

1. INTRODUÇÃO

Entender os padrões de distribuição das espécies e dos ambientes naturais em uma paisagem é o primeiro passo para planejar a conservação da biodiversidade. O Segundo passo é compreender quais processos determinam esses padrões. Para isso, é importante inicialmente identificar unidades biológicas homogêneas na paisagem. Essa é a mais antiga abordagem da Biogeografia (Diamond 1975, Wilson e Willis 1975, Ladle e Whitaker 2011), e diversas propostas de divisões biogeográficas em escala global ou continental foram apresentadas desde então, muitas delas baseadas nas formações vegetais e nas comunidades de fauna (Udvardy 1975; Dice 1943; Clements & Shelford 1939). Nesse contexto, o conceito mais importante, e mundialmente estabelecido é o bioma (Clements 1916).

O bioma é definido como um complexo de organismos englobando a vegetação clímax e suas subdivisões, além de componentes da fauna, ocupando extensas regiões sob um mesmo domínio climático (Clements & Shelford 1939; Oxford 2010). De acordo com Clements (1916), o clímax, entendido como a maior unidade de vegetação, está permanentemente próximo ao estágio final de uma sucessão específica determinada pelo clima. Assim, alterações nos padrões climáticos regionais produzem uma sucessão, na qual diferentes climaxes se substituem uns aos outros no espaço geográfico (Clements 1936).

A vegetação clímax é composta por uma ou mais formas de vida predominantes, representadas por certas espécies que ocupam grandes extensões do bioma, e que refletem o clima de uma região, especialmente temperatura, precipitação e sazonalidade (Clements 1936; Gurevitch et al. 2009). Existem importantes processos (e. g. germinação de sementes, estabelecimento de plântulas, tolerâncias fisiológicas, efeitos demográficos decorrentes de distúrbios, competição e outras interações biológicas) relacionados à constituição estrutural e ao metabolismo das plantas, que são dependentes da temperatura, e da umidade (Gurevitch et al. 2009; Ackerly 2003).

As plantas desenvolveram diferentes estratégias para lidar com as particularidades climáticas regionais. Essas estratégias podem surgir como estruturas morfológicas características de certos climaxes, como sistemas radiculares desenvolvidos, deciduidade (Franco 2002; Bucci et al. 2004), estruturas subterrâneas de propagação vegetativa ou de armazenamento (Borges 2000), diferentes tipos de hábito, dentre outros. Domínios climáticos semelhantes irão estabelecer tipos de biomas semelhantes devido à convergência evolutiva das

plantas que habitam esses ambientes (Ricklefs 1993). Assim, entender como o hábito da maioria das espécies de um bioma é definido, é fundamental para compreender o papel do clima no clímax vegetal.

O processo de fotossíntese é primordial para a sobrevivência das plantas, e esse processo demanda absorção de água. Com a evapotranspiração, é criado um potencial hídrico negativo na planta, provocando a ascensão hídrica a partir das raízes em direção às folhas (Gurevitch et al. 2009). O potencial hídrico na base da planta é menos negativo do que no topo (Kerbaui 2004). Assim, quanto maior for a planta, mais negativa será a pressão exercida sobre as paredes dos dutos do xilema. Quando há água em abundância no ambiente, o potencial hídrico é menor e a água flui livremente. Em climas áridos, as plantas se adaptaram adotando porte menor (Ricklefs 1993), o que evita embolia dos vasos do xilema devido à necessidade de exercer uma pressão menor na realização da fotossíntese. Regiões como a Amazônia, caso venham a enfrentar secas prolongadas, deverão perder grande parte da sua cobertura arbórea (Choat et al. 2012), que será substituída por plantas de menor porte ou com outras adaptações para enfrentar a falta de umidade.

No Brasil são reconhecidos seis biomas, compostos por formações florestais, campestres e savânicas. Cada um dos biomas apresenta grande complexidade, e há subdivisões vegetais dentro deles. A classificação da vegetação brasileira (IBGE 2012) reconhece onze grupos de vegetação, em geral distribuídos de maneira contígua em extensas manchas, ocorrendo um ou mais grupos de vegetação em todos os biomas. As variações da vegetação em menor escala e imersas em uma vegetação clímax são determinadas por variações de solos e relevo (Ricklefs 1993), enquanto as variações regionais em maiores áreas e de maneira contínua são determinadas pelo clima (Clements 1916). Assim, é possível que haja uma divisão hierárquica mais refinada do que os biomas que reflita o clima, o que seria de grande interesse para a conservação da biodiversidade devido às mudanças climáticas.

O aquecimento global está afetando as plantas de maneira decisiva, assim como afetou a distribuição das espécies vegetais nas flutuações climáticas do Pleistoceno (Ledru 1993; Ledru et al. 1998; Barberi et al. 2000; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau 1996; Salgado-Labouriau 1997). Baseada na limitada capacidade de dispersão das plantas frente às aceleradas mudanças climáticas, a perpetuação das espécies é uma questão preocupante (Pearson 2006). Na Amazônia boliviana, por exemplo, espera-se que 65% das espécies apresentem declínio na sua

distribuição com o aumento da temperatura e 39% experimentem esse fenômeno com a intensificação da estação seca (Toledo et al. 2012). Atualmente, a alta mortalidade de árvores em decorrência de mudanças climáticas (Choat et al. 2012) tem resultado em uma rápida conversão da paisagem (Allen & Breshears 1998). A principal consequência dessa alteração é o aumento sequencial da radiação solar no solo, elevando a temperatura e seca a níveis muito maiores do que o previsto.

As interações com a vegetação são extremamente importantes para a fauna pelo fornecimento de recursos alimentares, sítios de nidificação e reprodução, abrigo e tamponamento microclimático (Vázquez et al. 2009). Para os animais ectotérmicos a vegetação representa ainda um meio de manutenção das suas atividades diárias por meio da termorregulação (Angilletta-Jr 2006). Dessa forma, a fauna sofre declínio populacional ou extinções locais com o aquecimento global, tanto em decorrência do aumento da temperatura propriamente dito, quanto do efeito cascata da perda de cobertura vegetal (Sinervo et al. 2010). É importante entender como a biota responde às variações climáticas, para que se possam prever eminentes perdas biológicas (Pearson 2006) e elaborar propostas para minimizar tais perdas (Faleiro et al. 2013).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Identificar os parâmetros mais relevantes para análise do impacto da mudança do clima sobre a biodiversidade, em recorte de regiões biogeográficas (biomas) e ou outros domínios fitofisionômicos adequados.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Definir o recorte adequado para o estudo em questão;
- II. Identificar as diferenças climáticas atuais entre as regiões biogeográficas selecionadas;
- III. Identificar, para cada região biogeográfica, sua singularidade climática.

3. MÉTODOS

3.1. RECORTE DAS ANÁLISES DO CLIMA

Foram definidas as unidades biogeográficas para realização da análise dos parâmetros climáticos. Foram testados dois recortes biogeográficos, usados para comparação da singularidade climática e, posteriormente, na definição dos parâmetros climáticos mais importantes a serem monitorados. Esses recortes se referem aos biomas e aos distritos vegetais, que foram adaptados dos grupos de vegetação propostos pelo IBGE (2012).

Os biomas são definidos como uma vegetação clímax predominante determinada pelo clima (Figura 1), onde há predomínio de uma ou mais formas de vida vegetal (*e. g.* árvores, arbustos, ervas, dentre outros), associada a uma fauna característica (Clements & Shelford 1939; Clements 1936). No Brasil, o conceito de bioma é amplamente difundido e utilizado em diversas políticas ambientais.

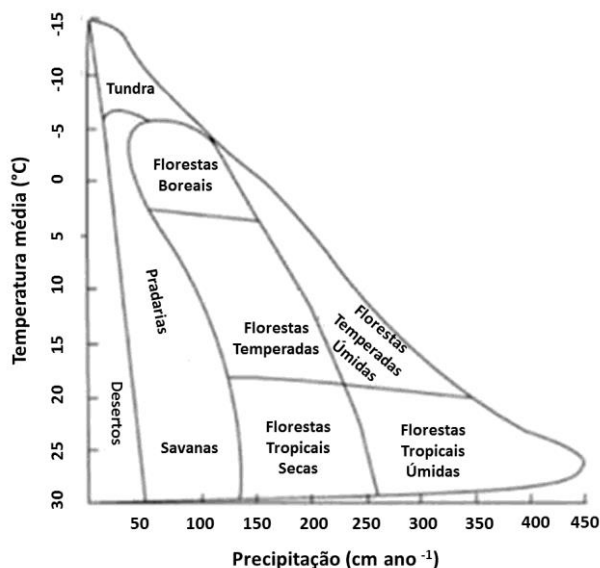


FIGURA 1. OS DIVERSOS BIOMAS E COMO ELES SÃO DETERMINADOS PELO CLIMA (ADAPTADO DE WHITTAKER POR CHAPIN ET AL. 2011).

Na tentativa de realizar um refinamento dos biomas brasileiros, foram definidos os distritos vegetais. Essa nomenclatura foi sugerida por Udvardy (1975) como uma unidade biogeográfica mais refinada do que os biomas. Partindo do princípio que os distritos vegetais são compostos por uma vegetação clímax mais homogênea do que os biomas, acredita-se que a influência climática sobre essa divisão biogeográfica seja mais expressiva do que sobre os biomas.

3.1.1. Definição dos Distritos Vegetais

Buscando identificar unidades biológicas únicas para análises climáticas, foram propostas regiões biogeográficas homogêneas, denominadas no presente documento como distritos vegetais. Para identificar os distritos vegetais, os grupos de vegetação (IBGE, 2002) foram usados como ponto de partida. Posteriormente, foram realizadas inspeções visuais e combinações de mapas de altitude, índices de vegetação, pedologia e geomorfologia, descritos a seguir.

Os grupos de vegetação utilizados (Figura 2) foram definidos pelo IBGE (2012), baseados no sistema internacional fisionômico-ecológico, que considera primordialmente as fisionomias, que refletem as formas de vida predominantes em uma formação, seguidas de características climáticas (ombrófila ou decídua), quando oportuno. Grupos de vegetação semelhantes foram divididos por Regiões Florísticas específicas, por exemplo, Florestas Ombrófila Densa Atlântica ou Amazônica.



FIGURA 2. GRUPOS DE VEGETAÇÃO BRASILEIRA USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTritos VEGETAIS. FONTE: IBGE 2012

A camada de altitude (Figura 3) foi gerada a partir da classificação de imagens SRTM (NGA & NASA 2000). Foram também utilizados dois índices de vegetação (EVI e NDVI), derivados de imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que está a bordo da plataforma Terra. Os índices estão disponíveis na resolução espacial de 250 m e

resolução temporal de 16 dias. Essas imagens foram adquiridas no sítio eletrônico da EMBRAPA (<https://www.modis.cnptia.embrapa.br>).

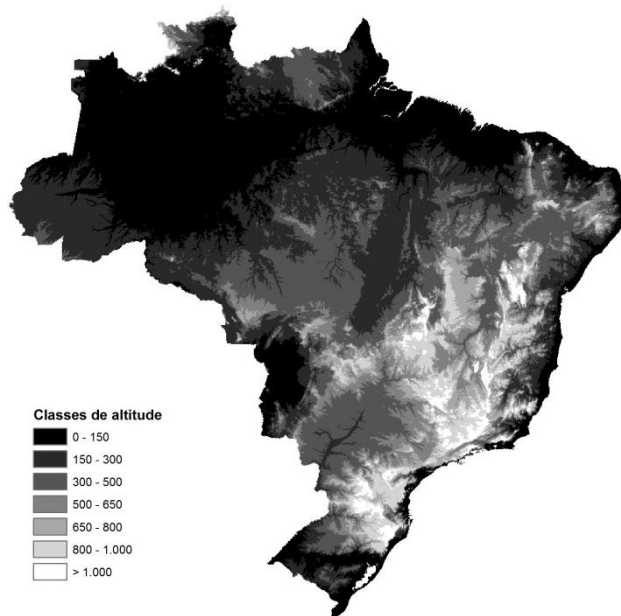


FIGURA 3. CLASSES DE ALTITUDE GERADAS A PARTIR DE IMAGENS SRTM (NGA & NASA 2000) USADAS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS.

As folhas fotossintetizantes apresentam alta absorção da luz na região espectral do visível (azul, verde e vermelho) e alta refletância na região espectral do infravermelho próximo (Jensen 2009). O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Equação 1) é a normalização da Razão Simples entre bandas (Jensen 2011) de imagens de satélite para ressaltar a vegetação fotossinteticamente ativa na superfície da Terra. O EVI (Índice de Vegetação Melhorado) (Equação 2) foi desenvolvido visando otimizar o sinal da vegetação, corrigindo questões atmosféricas e de fundo de dossel. O NDVI é mais sensível à presença de clorofila, já o EVI é sensível à variação da estrutura do dossel (Gao et al. 2000), mantendo sensibilidade em condições de vegetação densa. Os valores teóricos dos índices variam de -1 a 1 multiplicado por 10.000.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

EQUAÇÃO 1. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA. ONDE: ρ_{IVP} = REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (BANDA 2 DO SENSOR MODIS); ρ_V = REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO NO VERMELHO

$$EVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C1 * \rho_V - C2 * \rho_A + L}$$

EQUAÇÃO 2. ÍNDICE MELHORADO DE VEGETAÇÃO. ONDE: ρ_{IVP} = REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (BANDA 2 DO SENSOR MODIS); ρ_V = REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO NO VERMELHO (BANDA 1 DO

(BANDA 1 DO SENSOR MODIS).

SENSOR MODIS); ρ_A = REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO NA BANDA ESPECTRAL DO AZUL (BANDA 3 DO SENSOR MODIS); C1 E C2 = COEFICIENTES DE CORREÇÃO DE AEROSSÓIS (6 E 7,5); L = AJUSTE DE FUNDO DO DOSSEL (1).

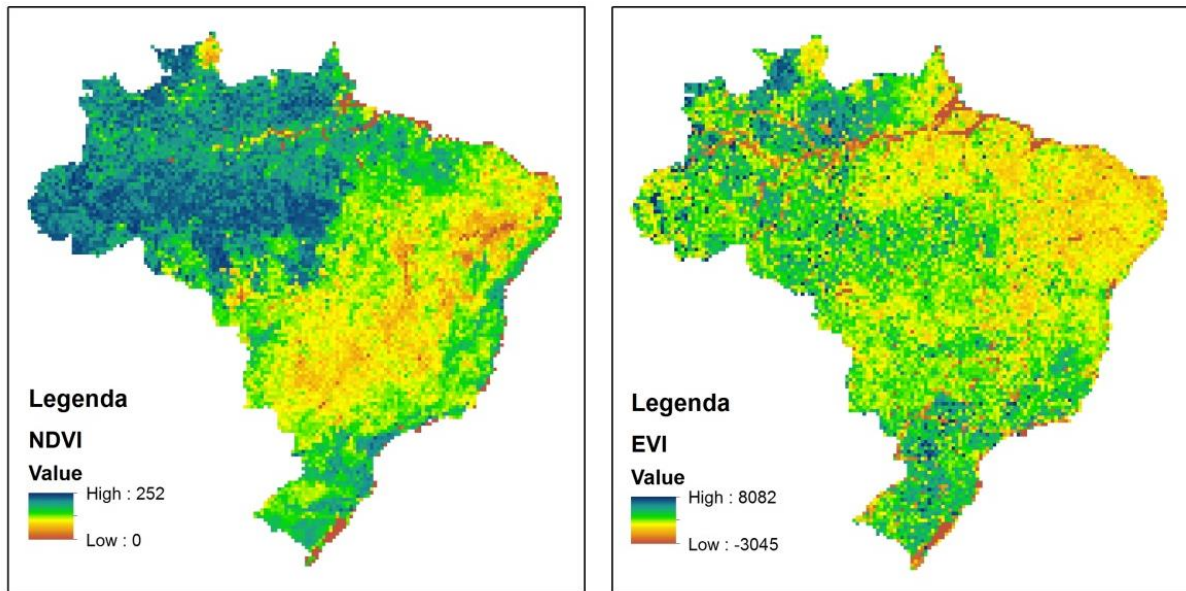


FIGURA 4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) RECLASSIFICADO PARA A ESCALA DE 0 A 255; E ÍNDICE MELHORADO DE VEGETAÇÃO (EVI), DERIVADOS DE IMAGENS MODIS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS.

No mapa de solos (Embrapa 2011) foram combinadas as classe de solo, que refletem seu elemento formativo (Embrapa 2006), e a fertilidade (Figura 5), que determina as comunidades florísticas em menores escalas (Toledo et al. 2012).

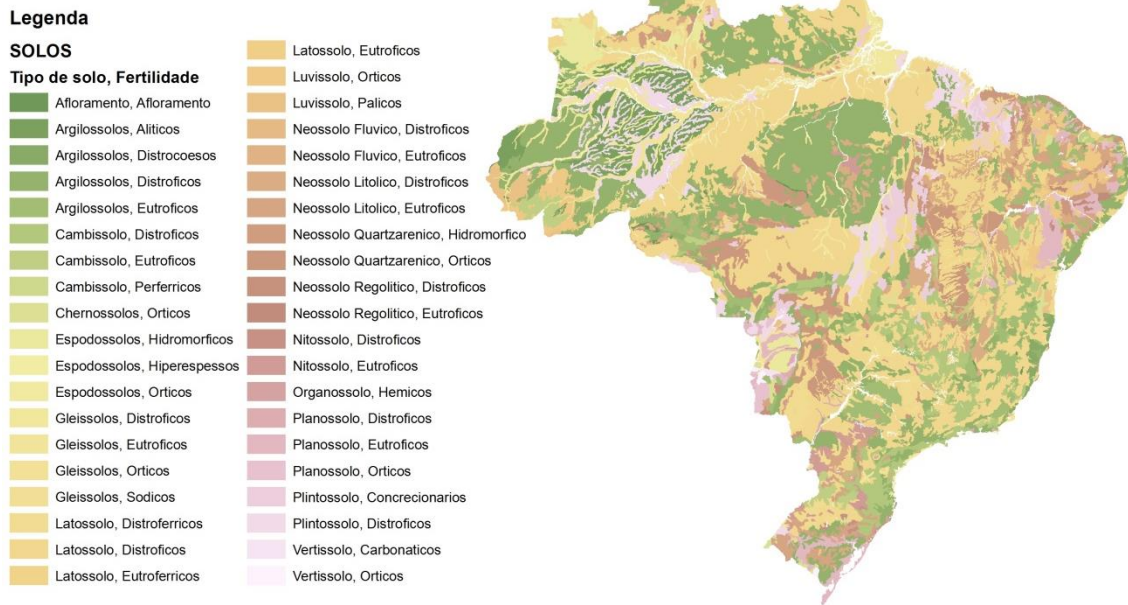


FIGURA 5. COMBINAÇÃO DOS MAPAS DE TIPOS DE SOLOS E FERTILIDADE (EMBRAPA, 2011), USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS.

As Unidades Geoambientais são baseadas na geologia, pedologia, relevo, clima e hidrologia (CPRM 2006) e têm como objetivo principal avaliar o arranjo e a diversidade das variáveis que compõem o meio físico (Tabela 1), que podem refletir na configuração da vegetação.

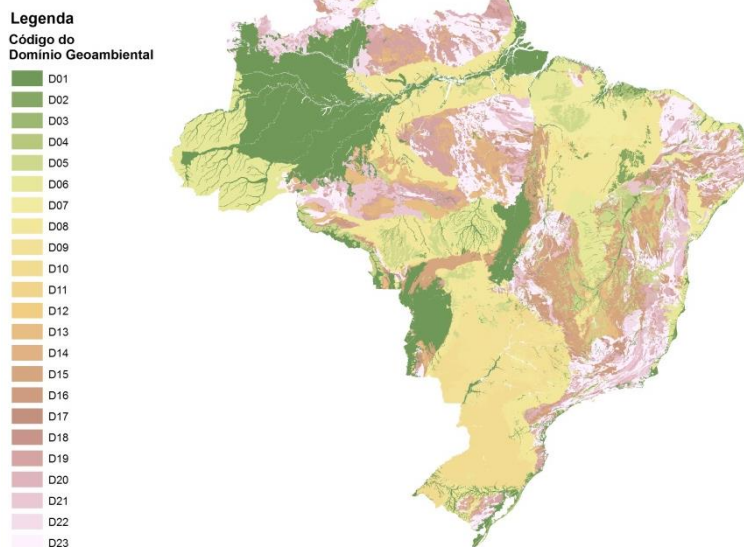


FIGURA 6. MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS.

TABELA 1. LEGENDA DOS DOMÍNIOS GEOLÓGICOS USADOS COMO INSUMO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS DISTRITOS VEGETAIS.

| Código | Domínio Geológico |
|--------|---|
| D02 | Depósitos inconsolidados: coluviões e talus , Cenozóicos - Q |
| D03 | Recifes |
| D05 | Coberturas consolidadas detrito-lateríticas e carbonáticas, Cenozóicas T - Q. |
| D07 | Sequências sedimentares clástico-carbonáticas consolidadas, mesozóicas em bacias da margem continental (rift). Sequências sedimentares consolidadas, areno, siltico, argilo, conglomerática, mesozóicas e paleozóicas. Grandes bacias sedimentares depositadas em sinéclises Fanerozoicas. |
| D08 | Fanerozoicas. |
| D01 | Depósitos inconsolidados: areia, cascalho, silte, argila e turfa. Cenozóicos - Q |
| D10 | Vulcanismo fissural Mesozóico do tipo plateau |
| D11 | Complexos alcalinos intrusivos e extrusivos, diferenciados do Mesozóico superior, Terciário inferior e do Proterozoico. |
| D12 | Sequências sedimentares e vulcanosedimentares do Eopaleozoico, associadas a rifts, não ou pouco deformadas e metamorfizadas |
| D13 | Coberturas Sedimentares Proterozóicas, formadas por espessas e extensas camadas de sedimentos diversos não ou muito pouco deformadas e metamorfizadas |
| D14 | Coberturas Vulcano-sedimentares Proterozóicas, não ou pouco dobradas e metamorfizadas. |
| D15 | Sequências sedimentares proterozóicas dobradas, metamorfizadas em baixo grau |
| D16 | Sequências vulcanosedimentares dobradas metamorfizadas em baixo a médio grau. |
| D17 | Sequências vulcano-sedimentares tipo Greenstone Belt. |
| D18 | Complexos intrusivos cálcio-alcalinos, diferenciados, acamadados e alcalinos, básico-ultrabásicos diferenciados, paleo a mesoproterozóicos, metamorfizados |
| D19 | Complexos granitóides não ou pouco deformados: granitóides tardi a pós-tectônicos. Pouco ou não deformados |
| D20 | Complexos granitóides deformados: granitóides sin a tardi tectônicos, Crosta superior. Deformados |
| D21 | Complexos granitóides muito deformados: granitóides pré a sin tectônicos. Crosta inferior a intermediária. Muito deformados |
| D22 | Granitóides indiferenciados |
| D23 | Complexos granito-gnaiss-migmatitos e granulitos. Crosta inferior |
| D04 | Depósitos arenosos inconsolidados, eólicos, Cenozóicos - Q. |
| D06 | Depósitos pouco a moderadamente consolidados de areia, silte, argila e cascalho, Cenozóicos - T |
| D09 | Sequência sedimentar mesozóica, consolidada, de origem eólica. |

3.1.2. Comparação entre Distritos Vegetais e Biomas

Para identificar o melhor recorte para análise do clima, os distritos vegetais foram comparados com os biomas brasileiros, visando identificar a divisão biogeográfica com maior congruência climática, visto que o intuito do presente estudo é identificar possíveis mudanças bióticas derivadas de alterações climáticas previstas para as próximas décadas.

Dezenove variáveis bioclimáticas (Tabela 2), baseadas em temperatura e precipitação, foram usadas para identificar o agrupamento com maior congruência climática dentre os distritos vegetais e os biomas. Os dados em formato *raster* com resolução de 5 Km (disponíveis em <http://www.worldclim.org>) são gerados pela interpolação da média dos dados climáticos mensais de estações climáticas no período de 30 (1960-1990) a 50 anos (1950-2000), de acordo com sua disponibilidade (WorldClim, 2010).

TABELA 2. DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS (WORLDCLIM) USADAS PARA DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CLIMA MAIS RELEVANTES PARA ANÁLISE DO IMPACTO DA MUDANÇA DO CLIMA SOBRE A BIODIVERSIDADE.

| Variável | Descrição |
|----------|---|
| Bio01 | Temperatura média anual (°C) |
| Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) |
| Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) |
| Bio04 | Sazonalidade da temperatura (C of V) |
| Bio05 | Temperatura máxima da semana mais quente (°C) |
| Bio06 | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) |
| Bio07 | Varição anual de temperatura (Bio05-Bio06) (°C) |
| Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) |
| Bio09 | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) |
| Bio10 | Temperatura média do trimestre mais quente (°C) |
| Bio11 | Temperatura média do trimestre mais frio (°C) |
| Bio12 | Precipitação anual (mm) |
| Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) |
| Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) |
| Bio16 | Precipitação do trimestre mais úmido (mm) |
| Bio17 | Precipitação do trimestre mais seco (mm) |
| Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) |
| Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) |

Para identificar o agrupamento com maior fidelidade ao clima, foram gerados 5.000 pontos distribuídos de maneira aleatória sobre o território Brasileiro (Figura 7). Para cada ponto foram extraídas informações climáticas, e os pontos foram associados aos biomas e aos distritos vegetais. Foi realizada uma seleção de variáveis para cada divisão biogeográfica, usando o algoritmo *Random Forest*, usando o pacote estatístico *varSelRF* (Diza-Uriarte 2014). O *Random*

Forest é um método de inteligência artificial que elabora centenas de árvores de decisão usando subconjuntos de casos e de variáveis, de maneira aleatória, elegendo as variáveis mais importantes por votação entre as árvores de decisão (Breiman 2001; Liaw & Wiener 2015). As predições do algoritmo foram então comparadas para cada divisão biogeográfica e, aquela divisão com maior proporção de acertos, foi selecionada como a divisão biogeográfica mais adequada. Para auxiliar na interpretação dos resultados e para verificar quão naturais são os agrupamentos testados, foi realizada uma Análise de Componentes Principais, com identificação das unidades amostrais de acordo com a divisão biogeográfica em questão.

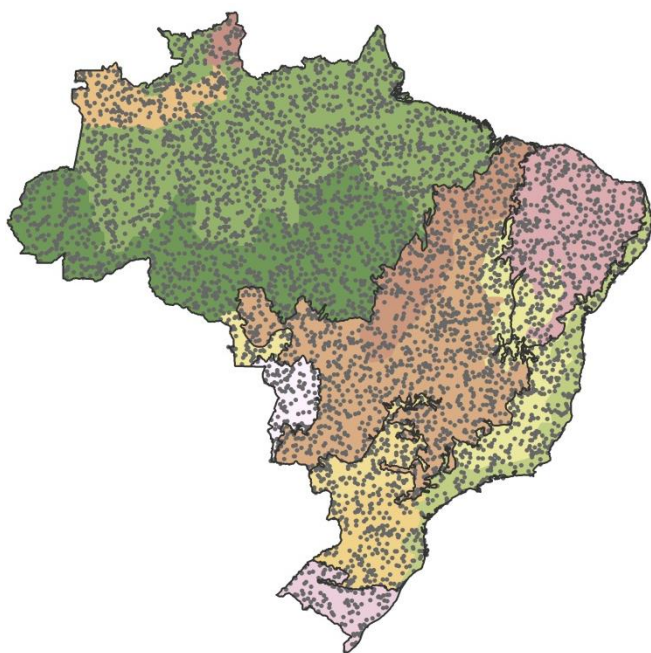


FIGURA 7. CINCO MIL (5.000) PONTOS DISTRIBUÍDOS DE MANEIRA ALEATÓRIA SOBRE OS DISTRITOS VEGETAIS E OS BIOMAS BRASILEIROS.

3.1.1. Identificação das diferenças climáticas atuais entre as regiões biogeográficas adotadas

Para a divisão biogeográfica selecionada, foram analisadas as correlações entre as variáveis bioclimáticas retornadas pelo *Random Forest*. Usando quatro variáveis não correlacionadas, foi realizada uma Análise de Correspondência Canônica (CCA) no pacote *vegan* (Oksanen et al. 2014), para identificar a influência de cada uma das variáveis selecionadas sobre as unidades biogeográficas. A significância do modelo e das variáveis foi testada com 1000 permutações de Monte Carlo.

3.2. IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS IMPORTANTES PARA O MONITORAMENTO CLIMÁTICO PARA CADA REGIÃO BIOGEOGRÁFICA

Foram realizadas regressões logísticas para identificação dos parâmetros climáticos significativos para cada unidade biogeográfica. Para realizar esses testes, foram selecionados pontos no interior de cada unidade biogeográfica (presença) e no seu entorno (ausência), usando um buffer de 500 km de distância da sua borda. Foi realizado um teste progressivo para remoção das variáveis que apresentassem Fator de Inflação de Variância (VIF - Variance Inflation Factors) maior do que 10. Valores menores do que 10 são considerados suficientes para evitar multicolinearidade entre as variáveis (Belsley et al. 2005), que é uma premissa da análise de regressão logística. As variáveis significativas nas regressões logísticas foram consideradas as mais importantes para o monitoramento climático em cada unidade biogeográfica.

3.3. MODELOS DE NICHOS CLIMÁTICO DOS BIOMAS BRASILEIROS

Foram desenvolvidos modelos de nicho climático para todos os biomas. O algoritmo utilizado para a modelagem foi o Maxent (Phillips et al. 2006), versão 3.3.3k. O Maxent prediz quais áreas em uma região de interesse satisfazem os requerimentos do nicho ecológico de uma dada espécie e, portanto, fazem parte da distribuição potencial das espécies (Phillips et al. 2004). Diversas variáveis ambientais podem ser combinadas para estimar a aproximação do seu nicho realizado (Anderson et al. 2003). Para fornecer a distribuição alvo, o Maxent encontra a distribuição de máxima entropia dos valores esperados de cada variável ambiental sob essa distribuição estimada que corresponde a sua média empírica (Phillips et al. 2004). Assim, baseado na máxima entropia, esse algoritmo de Inteligência Artificial estima e espacializa a probabilidade de ocorrência da espécie de interesse. Para tanto, as coordenadas geográficas dos pontos de ocorrência de uma dada espécie são usados para extrair informações de camadas ambientais.

Para cada bioma foi utilizado um conjunto de variáveis bioclimáticas com VIF menor do que 10. No presente estudo, os pontos aleatórios gerados dentro dos biomas foram usados como uma pseudo-espécie para estabelecer seu nicho climático. Abordagens semelhantes foram usadas em outros estudos (e.g. Werneck et al. 2012, 2011) e geraram resultados robustos. Foram usados modelos que apresentaram TSS (*True Skill Statistics*) maior do que 0.5 (Franklin 2010; Oliveira et al. 2014). A regra de corte da adequabilidade ambiental utilizada foi a

Maximum Training Sensitivity Plus Specificity, que diminui a sobreprevisão (Liu et al. 2005), ou seja, não extrapola a superfície de probabilidade de ocorrência das espécies.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RECORTE DAS ANÁLISES DO CLIMA

A divisão dos distritos vegetais resultou em 14 classes, sendo quatro classes de florestas ombrófilas, três de florestas estacionais e seis classes de savanas (Figura 8).



FIGURA 8. MAPA DOS DISTRITOS VEGETAIS ELABORADOS A PARTIR DA COMBINAÇÃO E INTERPRETAÇÃO VISUAL DE MAPAS DE CLASSES DE VEGETAÇÃO, ALTITUDE, SOLOS, GEOLOGIA E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.

- Florestas Ombrófilas

As Florestas Ombrófilas densas foram inicialmente diferenciadas pela sua localização geográfica, sendo reconhecida sua natural divisão entre floresta amazônica e floresta atlântica. Posteriormente, a classe floresta atlântica foi subdividida, considerando a presença predominante de *Araucaria angustifolia*. Essa espécie é reconhecida por ocorrer em climas peculiares, sendo uma espécie indicadora de climas frios em estudos palinológicos (Ledru 1993; Ledru et al. 1998; Barberi et al. 2000; Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau 1996; Salgado-Labouriau 1997). As florestas ombrófilas amazônicas foram subdivididas em densas e abertas. Divisões aproximadas podem ser observadas nos mapas de EVI, NDVI e altitude (Figuras 3 e 4).

- Florestas Estacionais

As Florestas Estacionais Deciduais (FED) não foram diferenciadas no presente estudo, pois representam, prioritariamente, variações edáficas (Oliveira-Filho & Ratter 1995), e ocorrem em pequenas manchas distribuídas na paisagem brasileira, ocupando principalmente as regiões de transição entre os biomas Cerrado e Caatinga, e as cordilheiras do Pantanal. Dessa forma as FED foram incorporadas às classes predominantes nas suas adjacências.

As Florestas Estacionais Semideciduais (FES) perfazem um grupo complexo, de regiões de transição (Oliveira-Filho & Ratter 1995), mas com forte influência do clima estacional (IBGE 2012). Dessa forma as FES foram divididas de acordo com sua posição geográfica e considerando as classes de vegetação próximas. Assim, foram observadas as Florestas Estacionais Atlântica (ao longo da divisão entre os biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica), Sul (adjacente à Floresta de Araucária) e a Floresta Estacional com influência Chiquitana.

- Savanas

Dentre as savanas, a mais conhecida é o bioma Cerrado, que foi subdividido de acordo com os mapas de altitude, EVI e NDVI, resultando nas classes Cerrado de altitude e Cerrado baixo. Ainda seguindo o mapa de altitude, o Pantanal foi diferenciado das demais classes de savana adjacentes. As savanas do norte correspondem a uma divisão geográfica natural, apesar de sua estreita relação florística com o Cerrado (Ratter et al., 2003), e da pouca diferenciação vegetal com as demais savanas, como observado nos mapas de EVI e NDVI. A vegetação savana estépica da Caatinga foi estabelecida como outra classe, além da Campinarana, imersa na floresta ombrófila densa amazônica.

4.1.1. Comparação entre Distritos Vegetais e Biomas

Das dezenove variáveis bioclimáticas, 15 foram importantes para diferenciar os biomas e oito foram selecionadas para diferenciação dos distritos vegetais (Tabela 3). As variáveis selecionadas para diferenciar os distritos vegetais foram um subconjunto das variáveis que diferenciam os biomas. Na literatura, as principais diferenças climáticas entre os biomas se dão principalmente por quatro variáveis, que são temperatura média anual, precipitação anual e sazonalidade desses dois parâmetros (Gurevitch et al. 2009). Todas essas variáveis foram selecionadas para diferenciação dos biomas (Bio01, Bio04, Bio12 e Bio15).

TABELA 3. VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS (WORLDCLIM) SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST PARA DIFERENCIAÇÃO DOS BIOMAS E DOS DISTRITOS VEGETAIS.

| Variável | Biomias | Distritos vegetais | Descrição |
|----------|---------|--------------------|---|
| Bio01 | | | Temperatura média anual (°C) |
| Bio02 | | | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) |
| Bio03 | | | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) |
| Bio04 | | | Sazonalidade da temperatura (C of V) |
| Bio05 | | | Temperatura máxima da semana mais quente (°C) |
| Bio06 | | | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) |
| Bio07 | | | Varição anual de temperatura (Bio05-Bio06) (°C) |
| Bio08 | | | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) |
| Bio09 | | | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) |
| Bio10 | | | Temperatura média do trimestre mais quente (°C) |
| Bio11 | | | Temperatura média do trimestre mais frio (°C) |
| Bio12 | | | Precipitação anual (mm) |
| Bio13 | | | Precipitação da semana mais úmida (mm) |
| Bio14 | | | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| Bio15 | | | Sazonalidade da precipitação (C of V) |
| Bio16 | | | Precipitação do trimestre mais úmido (mm) |
| Bio17 | | | Precipitação do trimestre mais seco (mm) |
| Bio18 | | | Precipitação do trimestre mais quente (mm) |
| Bio19 | | | Precipitação do trimestre mais frio (mm) |

Usando essas variáveis como parâmetro de classificação, a proporção de acertos das predições do *Random Forest* para os biomas foi de 98% (Tabela 4), enquanto para os distritos vegetais foi de 53% (Tabela 5). Nota-se a alta proporção de acertos para todos os biomas, em especial para a Amazônia. A menor proporção de acertos foi para a Mata Atlântica, possivelmente devido à grande extensão latitudinal desse bioma e a conseqüente amplitude climática existente nesse gradiente (Gaston 2000). Em relação aos distritos vegetais, aqueles com maior proporção de acertos foram Savanas do Norte (82,5%) e Floresta Ombrófila Densa Amazônica (79,2%). As demais classes apresentaram acertos menores do que 70%.

TABELA 4. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANDON FOREST PARA OS BIOMAS BRASILEIROS A PARTIR DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS À PRIORI.

TABELA 5. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANDON FOREST PARA OS DISTritos VEGETAIS A PARTIR DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS À PRIORI.

| Bioma | Preditos | Acertos | Proporção |
|--------------|-------------|-------------|--------------|
| AM | 2561 | 2536 | 99,0% |
| CA | 496 | 467 | 94,2% |
| CE | 1303 | 1229 | 94,3% |
| MA | 678 | 635 | 93,7% |
| PAM | 91 | 87 | 95,6% |
| PAN | 98 | 92 | 93,9% |
| TOTAL | 5227 | 5046 | 96,5% |

| Veg. Clímax | Preditos | Acertos | Proporção |
|--------------|-------------|-------------|--------------|
| FOA_Am | 939 | 434 | 46,2% |
| FOD_Am | 1377 | 1090 | 79,2% |
| FOM | 179 | 80 | 44,7% |
| CAA | 385 | 243 | 63,1% |
| Camp | 179 | 28 | 15,6% |
| CE_Alt | 887 | 453 | 51,1% |
| CE_Vale | 314 | 153 | 48,7% |
| FE_Atl | 329 | 105 | 31,9% |
| FE_Ch | 49 | 1 | 2,0% |
| FE_Sul | 160 | 27 | 16,9% |
| FOD_Atl | 187 | 9 | 4,8% |
| PAM | 105 | 63 | 60,0% |
| PAN | 97 | 11 | 11,3% |
| SAV_N | 40 | 33 | 82,5% |
| TOTAL | 5227 | 2730 | 52,2% |

O mesmo pode ser observado nos gráficos das Análises de Componentes Principais (Figura 9), onde os distritos vegetais (Figura 9A) não se separam. Apesar da sobreposição no gráfico da PCA (Figura 9B), os biomas podem ser identificados com clareza. Essa sobreposição é decorrente do gradiente climático contínuo que marca a transição entre os biomas (Kark & Rensburg 2006). Apenas o Pantanal (em rosa) e o Pampa (em azul claro) apresentaram sobreposição quase completa respectivamente ao Cerrado e à Mata Atlântica. Apesar disso, o algoritmo do *Random Forest* foi capaz de prever corretamente cerca de 95% dos casos, como observado na Tabela 4.

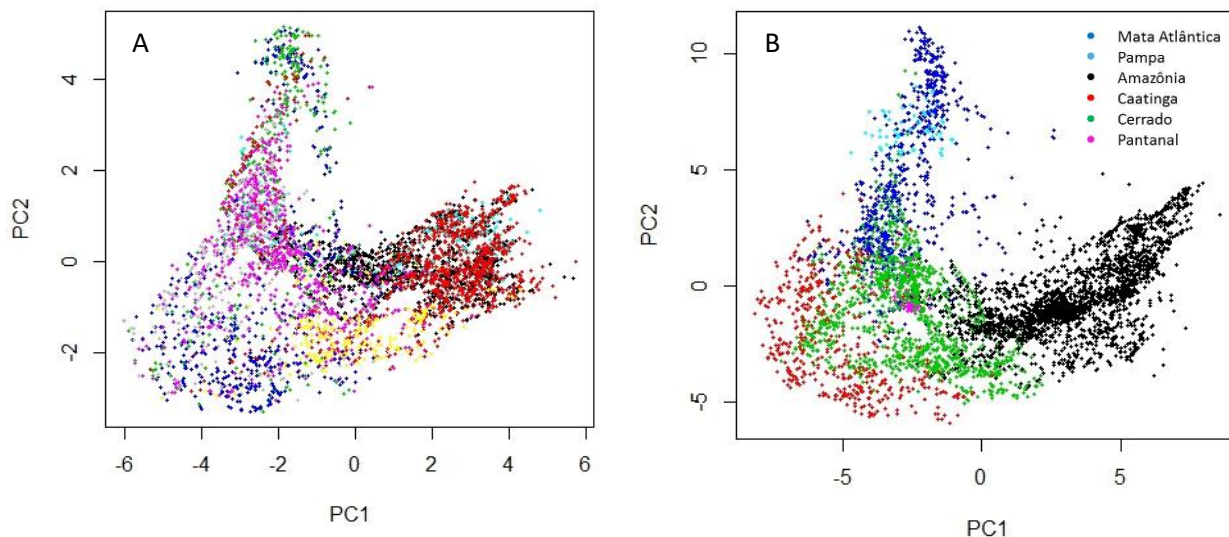


FIGURA 9. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) USANDO VARIÁVEIS AMBIENTAIS SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. DETALHES DA ANÁLISE VIDE ANEXO I. A. CORES REPRESENTANDO OS DISTRITOS VEGETAIS. B. CORES REPRESENTANDO OS BIOMAS BRASILEIROS.

Os biomas são as maiores unidades biológicas existentes, e são um reflexo direto do clima, cujo elemento descritor mais importante é a vegetação clímax predominante (Clements & Shelford 1939). Os distritos vegetais apresentados também tentam refletir a vegetação clímax predominante, em escala mais refinada do que os biomas. No entanto, os resultados aqui apresentados corroboram o papel do clima na delimitação dos biomas, e demonstra que tentativas de subdivisões climáticas dessas unidades são artificiais, e devem ser desencorajadas para estudos do clima.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS DIFERENÇAS CLIMÁTICAS ATUAIS ENTRE AS REGIÕES BIOGEOGRÁFICAS ADOTADAS

Das treze variáveis selecionadas pelo modelo para diferenciar os biomas, quatro variáveis não correlacionadas (Anexo II) foram usadas na Análise de Correspondência Canônica (CCA) como variáveis explicativas confrontadas com uma matriz *dummy* de variáveis dos biomas brasileiros. As variáveis usadas foram temperatura média anual (Bio01); sazonalidade da temperatura (Bio04); precipitação anual (Bio12) e sazonalidade da precipitação (Bio15). Essas são variáveis importantes para a definição de biomas por todo o globo (Gurevitch et al. 2009). Foi realizada uma nova predição dos biomas usando apenas essas quatro variáveis para testar sua previsibilidade na identificação dos biomas. Apesar da exclusão das outras nove variáveis, a detectabilidade dos biomas permaneceu alta, com 94% de acertos (Tabela 6).

TABELA 6. PROPORÇÃO DE ACERTOS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST PARA OS BIOMAS BRASILEIROS CONSIDERANDO APENAS TEMPERATURA MÉDIA ANUAL, SAZONALIDADE DA TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO ANUAL E SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO (Bio01, Bio04, Bio12 e Bio15). A DIAGONAL EM NEGRITO MOSTRA O NÚMERO DE ACERTOS, E OS VALORES NAS LINHAS REPRESENTAM O NÚMERO DE ERROS EM RELAÇÃO AOS BIOMAS PREDITOS.

| Preditas | Amazônia | Caatinga | Cerrado | Mata Atlântica | Pampa | Pantanal | Tentativas |
|----------------|-------------|------------|-------------|----------------|-----------|-----------|------------|
| Amazônia | 2512 | 1 | 56 | 1 | | | 2570 |
| Caatinga | | 446 | 20 | 14 | | | 480 |
| Cerrado | 47 | 30 | 1182 | 36 | | 5 | 1300 |
| Mata Atlântica | | 19 | 37 | 618 | 7 | | 681 |
| Pampa | | | | 8 | 84 | | 92 |
| Pantanal | 2 | | 8 | 1 | | 93 | 104 |
| Acertos | 2512 | 446 | 1182 | 618 | 84 | 93 | 94% |

O eixo 1, que explica 50% da variância dos dados, é influenciado negativamente pela sazonalidade da temperatura e positivamente pela temperatura média anual e precipitação anual. O eixo 2, que representa 32% da explicação dos dados, é influenciado positivamente pela sazonalidade da precipitação e influenciado negativamente pela precipitação anual.

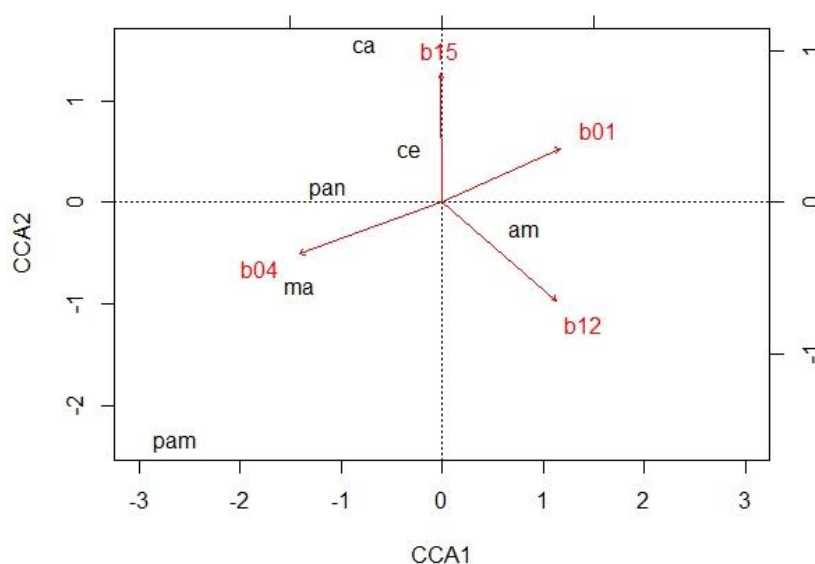


FIGURA 10. ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA (CCA) MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE OS BIOMAS BRASILEIROS E QUATRO VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NÃO COLINEARES, SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. PARA DETALHES DA ANÁLISE, VIDE ANEXO III.

Dessa forma, fica evidente uma clara compartimentalização climática dos biomas brasileiros, que podem ser divididos em três grupos. O Pampa e a Mata Atlântica apresentam

alta sazonalidade da temperatura, baixa sazonalidade da precipitação e baixa temperatura média anual, sendo que essas características são mais acentuadas no Pampa. O segundo grupo, composto pelo Pantanal, Cerrado e Caatinga, é caracterizado por baixa precipitação anual e alta sazonalidade da precipitação, e a sazonalidade da temperatura é pouco relevante para esse grupo. A caatinga sofre maior influência desses fatores do que os outros dois biomas, especialmente sazonalidade da precipitação. A Mata Atlântica e o Pantanal ainda são moderadamente influenciados pela sazonalidade da temperatura. A Amazônia (terceiro grupo) possui características únicas, sendo definida por altas temperaturas médias anuais e alta precipitação anual, tendo precipitação uniforme ao longo do ano.

4.3. IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS IMPORTANTES PARA O MONITORAMENTO CLIMÁTICO PARA CADA REGIÃO BIOGEOGRÁFICA

Visando o monitoramento individual dos biomas, e a elaboração de modelos climáticos para essas unidades biogeográficas, é necessário observar os resultados das regressões logísticas para cada uma dessas unidades (Anexo IV). A Tabela 7 resume as relações entre os biomas brasileiros e os parâmetros significativos na regressão logística. Essas características determinam as diferenças climáticas entre o bioma e seu entorno, e alterações importantes nesses parâmetros podem significar alterações espaciais do nicho climático dos biomas.

A Amazônia apresenta alta umidade e temperatura média constante ao longo do ano, com altos índices pluviométricos, mesmo no período menos chuvoso. Na Caatinga, há grande variação da temperatura durante o ano, mas a temperatura em geral permanece constante durante o dia. A precipitação é escassa, mesmo nos períodos chuvosos. A Mata Atlântica apresenta precipitação constante ao longo do ano, com altas quantidades de chuvas mesmo no período mais seco. Apresenta ainda temperatura constante ao longo do dia, e invernos rigorosos. No Cerrado, o verão é quente e é o período em que mais chove, mas durante o inverno (temperaturas mais baixas) chove pouco. No Pantanal, a temperatura declina durante o inverno, e o verão é bastante chuvoso. No Pampa há grande oscilação da temperatura entre verão e inverno, mas as temperaturas médias são baixas mesmo no verão. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano.

TABELA 7. VARIÁVEIS EXPLANATÓRIAS SIGNIFICATIVAS PARA OS BIOMAS BRASILEIROS, BASEADO NOS RESULTADOS DE REGRESSÕES LOGÍSTICAS DOS PARÂMETROS DO CLIMA (DETALHES DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS NO ANEXO 4). OS BIOMAS

APRESENTAM ALTOS VALORES DAS VARIÁVEIS COM RELAÇÃO POSITIVA, E BAIXOS VALORES DAS VARIÁVEIS COM RELAÇÃO NEGATIVA.

| Bioma | Influência positiva | Influência negativa |
|----------------|---|---|
| Amazônia | Precipitação da semana mais úmida (mm) | Sazonalidade da temperaturar (C of V) |
| | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) |
| | | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| | | Sazonalidade da precipitação (C of V) |
| Caatinga | | Precipitação do trimestre mais quente (mm) |
| | Sazonalidade da temperaturar (C of V) | Precipitação do trimestre mais quente (mm) |
| | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | Precipitação da semana mais úmida (mm) |
| | | Precipitação do trimestre mais frio (mm) |
| Cerrado | | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) |
| | Precipitação da semana mais úmida (mm) | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | Precipitação do trimestre mais frio (mm) |
| | | |
| Mata Atlântica | Precipitação do trimestre mais frio (mm) | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) |
| | Precipitação da semana mais seca (mm) | |
| | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) |
| | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | |
| Pampa | Temperatura máxima da semana mais quente (°C) | Sazonalidade da precipitação (C of V) |
| | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) |
| Pantanal | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) | |

Com exceção da Caatinga e da Mata Atlântica, a altitude é um fator de interação climática importante para todos os biomas, e não deve ser desprezada nos modelos de nicho climático.

As mesmas características observadas na Figura 10 da CCA são observadas também nos resultados das regressões logísticas, porém identificadas por meio de outras variáveis. Para que os biomas brasileiros persistam nas regiões geográficas em que se encontram, os valores habituais dos parâmetros significativos apresentados na Tabela 7 devem permanecer semelhantes aos atuais. Assim, mudanças importantes nestas características climáticas podem determinar alterações na cobertura vegetal, trazendo grandes impactos para a biodiversidade

(Noss 1996). Monitorar tais características climáticas pode apontar mudanças na cobertura vegetal dos biomas.

4.4. MODELOS DE NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS

Usando as variáveis com VIF maior que 10 (Anexo IV), os modelos dos biomas (Figura 11) apresentam grande congruência ao mapa oficial dos biomas (IBGE 2004). No entanto, são observadas algumas manchas do nicho climático fora dos limites dos biomas e, ainda, algumas extensas áreas de ecótono, especialmente do Cerrado com os biomas adjacentes (Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica).

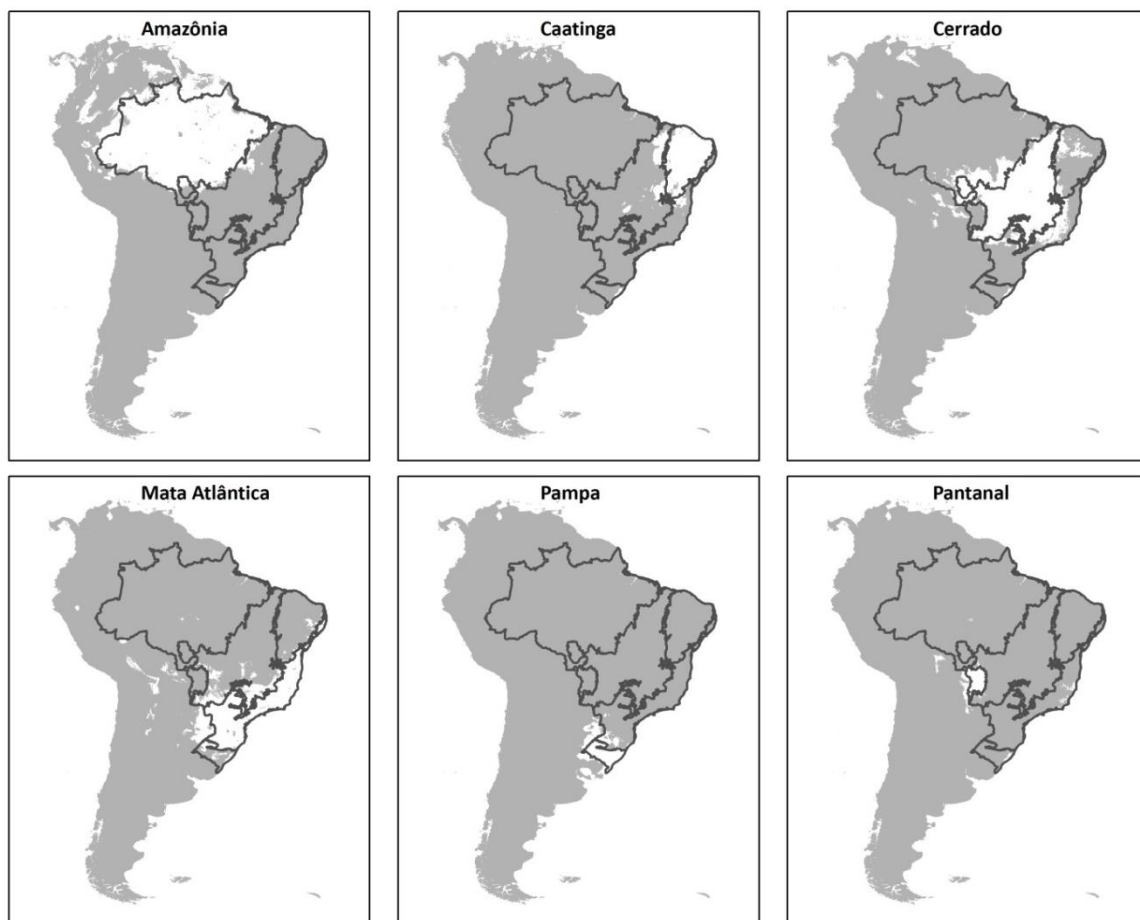


FIGURA 11. MODELOS DE NICHOS CLIMÁTICOS DOS BIOMAS BRASILEIROS ELABORADOS COM O ALGORITMO MAXENT E OS CONJUNTOS DE VARIÁVEIS APRESENTADOS NO ANEXO IV.

Os ecótonos resultam do contato entre diferentes regiões biogeográficas, cada uma com seu clima peculiar (Kark & Rensburg 2006). Essas áreas podem abrigar riqueza de espécies maior, menor ou igual aos biomas que o constituem (Senft 2009). Essas regiões de contato são extremamente importantes para a conservação da biodiversidade, pois as espécies de ampla ocorrência, que se estabeleceram nessas áreas, são adaptadas a um clima transicional, e

poderão ser importantes fontes de propágulos em situações de alterações climáticas, além de serem importantes para o fluxo gênico, migrações com as comunidades adjacentes homogêneas (Kark & Rensburg 2006).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A despeito da grande extensão territorial dos biomas e do reconhecimento de diferentes sub-regiões no seu interior, foi observado que, para o Brasil, a divisão biogeográfica mais adequada e recomendada para análise de parâmetros do clima são os próprios biomas brasileiros. Qualquer tentativa de subdivisão climática dessas unidades é artificial para tais propósitos, criando mais ruído nas análises que trazendo melhores entendimentos sobre a dinâmica climática.

Os parâmetros climáticos mais importantes para definição dos biomas são relacionados à temperatura média anual, precipitação anual e sazonalidade desses parâmetros. Cada bioma é determinado por um conjunto próprio de variáveis bioclimáticas, ainda que todas derivadas das variáveis mencionadas acima.

Para a monitoração regionalizada dos impactos do clima sobre os biomas brasileiros, é imprescindível a observação das variáveis com associações significativas à ocorrência dos biomas, especificadas nos resultados das regressões logísticas (Tabela 8).

TABELA 8. VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA MONITORAÇÃO REGIONAL DO IMPACTO DA MUDANÇA DO CLIMA SOBRE OS BIOMAS BRASILEIROS.

| Variáveis | Descrição |
|-----------|---|
| Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) |
| Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) |
| Bio04 | Sazonalidade da temperatura (C of V) |
| Bio05 | Temperatura máxima da semana mais quente (°C) |
| Bio06 | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) |
| Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) |
| Bio09 | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) |
| Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) |
| Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) |
| Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) |
| Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) |
| Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) |

Para tornar os modelos variáveis mais importantes para serem monitoradas ao longo do tempo devem ser as correspondentes às

Os modelos dos nichos climáticos para o presente refletem a realidade, e mostram importantes áreas de ecótonos entre os biomas. Recomenda-se atenção às espécies da fauna e flora presentes nos ecótonos, que podem ser de grande importância para a colonização de áreas adjacentes em alterações climáticas graduais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerly DD. 2003. Community Assembly, Niche Conservatism, and Adaptive Evolution in Changing Environments. *International Journal of Plant Sciences*. 164:164–184.
- Allen CD, Breshears DD. 1998. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 95:14839–14842. doi: 10.1073/pnas.95.25.14839.
- Anderson RP, Lew D, Peterson AT. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*. 162:211–232. doi: 10.1016/S0304-3800(02)00349-6.
- Angilletta-Jr MJ. 2006. Estimating and comparing thermal performance curves. *Journal of Thermal Biology*. 31:541–545. doi: 10.1016/j.jtherbio.2006.06.002.
- Barberi M, Salgado-Labouriau ML, Suguio K. 2000. Paleovegetation and paleoclimate of 'Vereda de Águas Emendadas', central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 13:241–254.
- Belsley DA, Kuh E, Welsch RE. 2005. *Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. John Wiley & Sons, Inc.: New York doi: 10.1002/0471725153.ch1.
- Borges HBN. 2000. Biologia reprodutiva e conservação do estrato lenhoso numa comunidade do cerrado. Tese de Doutorado. PPG Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas: Campinas, SP.
- Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning*. 45:5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324.
- Bucci SJ et al. 2004. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna trees. *Trees*. 19:296–304. doi: 10.1007/s00468-004-0391-2.
- Chapin SF, Matson PA, Vitousek PM. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*.
- Choat B et al. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*. 491:752–5. doi: 10.1038/nature11688.
- Clements FE. 1936. Nature and Structure of the Climax. *Journal of Ecology*. 24:252–284.
- Clements FE. 1916. *Plant Succession*. Washington.
- Clements FE, Shelford VE. 1939. *Bioecology*. First edit. John Wiley & Sons / Chapman & Hall: New York, USA/London?UK.
- CPRM. 2006. *Mapa de Geodiversidade do Brasil*. CPRM: Brasília <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade.pdf>.
- Dice LR. 1943. *The Biotic Provinces of North America*. University of Michigan Press.

- Diza-Uriarte R. 2014. Variable Selection using Random Forest. 23.
- Embrapa. 2011. Mapa de solos do Brasil. <http://sosgisbr.com/2012/06/04/mapa-de-solos-do-brasil-2011-embrapa/>.
- Embrapa EBDPA. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. doi: ISBN 978-85-7035-198-2.
- Ferraz-Vicentini KR, Salgado-Labouriau ML. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 9:207–219.
- Franco AC. 2002. Ecophysiology of wood plants. In: *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Oliveira, PS & Marquis, RJ, editors. Columbia University Press pp. 178–198.
- Franklin J. 2010. *Mapping Species Distribution: Spatial Inference and prediction*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Gao X, Huete AR, Ni W, Miura T. 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*. 74:609–620. doi: 10.1016/S0034-4257(00)00150-4.
- Gaston KJ. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*. 405:220–7. doi: 10.1038/35012228.
- Gurevitch J, Scheiner SM, Fox GAGA. 2009. *Ecologia Vegetal*. 2a ed. Artmed: São Paulo, SP.
- IBGE. 2012. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*.
- IBGE. 2004. Mapa de Biomas do Brasil. doi: www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#USO.
- Jensen JR. 2011. *Sensoriamento Remoto do Ambiente*. Parêntese: São José dos Campos, SP.
- Jensen JR. 2009. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 1st ed. Parêntese: São José dos Campos, SP.
- Kark S, Rensburg BJ van. 2006. Ecotones: marginal or central areas of transition? *Israel Journal of Ecology & Evolution*. 52:29–53. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Kerbauy GB. 2004. *Fisiologia vegetal*. Guanabara Koogan: São Paulo, SP.
- Ledru M. 1993. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. *Quaternary Research*. 39:90–98.
- Ledru M-P, Salgado-Labouriau ML, Lorscheitter ML. 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr B.P. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 99:131–142. doi: 10.1016/S0034-6667(97)00049-3.
- Liaw A, Wiener M. 2015. Breiman and Cutler's Random Forests for Classification and Regression. <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/>.
- Liu C, Berry PM, Dawson TP, Pearson RG. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*. 28:385–393. doi: 10.1111/j.0906-

- 7590.2005.03957.x.
- NGA NG-IA, NASA NA and SA. 2000. Shuttle Radar Topography Mission. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- Noss RF. 1996. Ecosystems as conservation targets. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Oksanen J et al. 2014. Community Ecology Package. 263. <http://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf>.
- Oliveira G, Rangel TF, Lima-Ribeiro MS, Terribile LC, Diniz-Filho JAF. 2014. Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: A new approach based on environmentally equidistant records. *Ecography*. 37:637–647. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.00564.x.
- Oliveira-Filho AT, Ratter JA. 1995. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. *Edinburgh Journal of Botany*. 52:141. doi: 10.1017/S0960428600000949.
- Oxford. 2010. *A dictionary of Ecology*. 4th ed. Oxford (United Kingdom).
- Pearson RG. 2006. Climate change and the migration capacity of species. *Trends in Ecology and Evolution*. 21:111–113.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190:231–259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
- Phillips SJ, Avenue P, Park F. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. In: *Twenty-First International Conference on Machine Learning*.
- Ricklefs RE. 1993. *A Economia da Natureza*.
- Salgado-Labouriau ML. 1997. Late quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. *Journal of Quaternary Science*. 12:371–379. doi: 10.1002/(SICI)1099-1417(199709/10)12:5<371::AID-JQS320>3.0.CO;2-3.
- Senft AR. 2009. Species diversity patterns at ecotones. PhD Thesis. University of North Carolina: Chapel Hill doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Sinervo B et al. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*. 328:894–899. doi: 10.1126/science.1184695.
- Toledo M et al. 2012. Distribution patterns of tropical woody species in response to climatic and edaphic gradients. *Journal of Ecology*. 100:253–263. doi: 10.1111/j.1365-2745.2011.01890.x.
- Udvardy MDF. 1975. A classification of the biogeographical provinces of the world. 49.
- Vázquez DP, Blüthgen N, Cagnolo L, Chacoff NP. 2009. Uniting pattern and process in plant – animal mutualistic networks: a review. *Annals of Botany*. 103:1445– 1457. doi:

10.1093/aob/mcp057.

Werneck FP, Costa GC, Colli GR, Prado DE, Sites Jr JW. 2011. Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. *Global Ecology and Biogeography*. 20:272–288. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00596.x.

Werneck FP, Nogueira CC, Colli GR, Sites JW, Costa GC. 2012. Climatic stability in the Brazilian Cerrado: implications for biogeographical connections of South American savannas, species richness and conservation in a biodiversity hotspot. *Journal of Biogeography*. 39:1695–1706. doi: 10.1111/j.1365-2699.2012.02715.x.

7. ANEXOS

ANEXO 1 - RESULTADOS DETALHADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

PROPORÇÃO DE EXPLICAÇÃO DOS COMPONENTES

| | Comp,1 | Comp,2 | Comp,3 | Comp,4 | Comp,5 | Comp,6 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Desvio padrão | 3,19 | 2,13 | 1,42 | 1,12 | 0,88 | 0,68 |
| Proporção da variância | 0,51 | 0,23 | 0,10 | 0,06 | 0,04 | 0,02 |
| Proporção cumulativa | 0,51 | 0,73 | 0,83 | 0,90 | 0,94 | 0,96 |

IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS EM CADA COMPONENTE

| | Comp,1 | Comp,2 | Comp,3 | Comp,4 | Comp,5 | Comp,6 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Altitude | 0,241 | -0,104 | -0,398 | 0,245 | -0,279 | -0,486 |
| Temperatura média anual (°C) | -0,292 | 0,149 | 0,122 | 0,100 | -0,101 | 0,000 |
| Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | 0,152 | 0,244 | -0,389 | 0,202 | -0,509 | -0,149 |
| Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | -0,264 | -0,249 | 0,363 | -0,357 | -0,225 | 0,152 |
| Sazonalidade da temperatura (C of V) | 0,268 | -0,105 | 0,107 | 0,240 | -0,210 | 0,200 |
| Temperatura máxima da semana mais quente (°C) | -0,199 | 0,267 | -0,124 | 0,376 | -0,185 | -0,225 |
| Temperatura mínima da semana mais fria (°C) | -0,302 | 0,167 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Varição anual de temperatura (Bio05-Bio06) (°C) | 0,245 | 0,139 | -0,275 | 0,294 | -0,183 | -0,182 |
| Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | -0,248 | 0,167 | 0,226 | 0,286 | 0,229 | -0,437 |
| Temperatura média do trimestre mais seco (°C) | -0,295 | -0,125 | 0,236 | -0,411 | 0,000 | 0,000 |
| Temperatura média do trimestre mais quente (°C) | -0,271 | 0,140 | 0,102 | 0,295 | -0,165 | -0,240 |
| Temperatura média do trimestre mais frio (°C) | -0,297 | 0,134 | 0,104 | 0,124 | 0,116 | 0,000 |
| Precipitação anual (mm) | -0,196 | -0,278 | -0,340 | 0,195 | 0,147 | 0,000 |
| Precipitação da semana mais úmida (mm) | -0,213 | -0,438 | -0,221 | -0,218 | 0,172 | -0,248 |
| Precipitação da semana mais seca (mm) | -0,424 | 0,163 | 0,108 | -0,262 | -0,367 | -0,217 |
| Sazonalidade da precipitação (C of V) | 0,418 | -0,296 | 0,106 | -0,195 | -0,237 | -0,460 |

| | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Precipitação do trimestre mais úmido (mm) | -0,213 | -0,456 | -0,178 | -0,201 | 0,164 | -0,104 |
| Precipitação do trimestre mais seco (mm) | -0,430 | 0,167 | -0,237 | -0,260 | -0,139 | 0,000 |
| Precipitação do trimestre mais quente (mm) | -0,238 | -0,398 | 0,215 | 0,534 | 0,310 | -0,133 |
| Precipitação do trimestre mais frio (mm) | -0,203 | -0,231 | -0,167 | -0,424 | -0,199 | -0,620 |

ANEXO 2 – CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS SELECIONADAS PELO ALGORITMO RANDOM FOREST. NA COR PRETA ESTÃO REPRESENTADAS AS CORRELAÇÕES MAIORES DO QUE 79%, TANTO POSITIVAS QUANTO NEGATIVAS. TODAS AS CORRELAÇÕES INFORMADAS SÃO SIGNIFICATIVAS ($P < 0,001$).

| | b01 | b03 | b04 | b06 | b07 | b09 | b11 | b12 | b13 | b14 | b15 | b16 | b17 | b18 | b19 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| b01 | 1 | 0.75 | -0.84 | 0.91 | -0.61 | 0.95 | 0.98 | 0.38 | 0.52 | -0.01 | 0.21 | 0.52 | 0.00 | -0.32 | 0.40 |
| b03 | 0.75 | 1 | -0.83 | 0.84 | -0.80 | 0.76 | 0.80 | 0.49 | 0.54 | 0.28 | 0.03 | 0.52 | 0.29 | -0.17 | 0.57 |
| b04 | -0.84 | -0.83 | 1 | -0.82 | 0.64 | -0.84 | -0.92 | -0.48 | -0.63 | 0.03 | -0.25 | -0.64 | 0.01 | 0.24 | -0.40 |
| b06 | 0.91 | 0.84 | -0.82 | 1 | -0.87 | 0.94 | 0.93 | 0.47 | 0.51 | 0.22 | 0.00 | 0.50 | 0.23 | -0.37 | 0.60 |
| b07 | -0.61 | -0.80 | 0.64 | -0.87 | 1 | -0.68 | -0.65 | -0.46 | -0.39 | -0.43 | 0.21 | -0.38 | -0.44 | 0.24 | -0.66 |
| b09 | 0.95 | 0.76 | -0.84 | 0.94 | -0.68 | 1 | 0.96 | 0.43 | 0.53 | 0.07 | 0.13 | 0.53 | 0.08 | -0.41 | 0.50 |
| b11 | 0.98 | 0.80 | -0.92 | 0.93 | -0.65 | 0.96 | 1 | 0.43 | 0.58 | 0.00 | 0.22 | 0.58 | 0.01 | -0.33 | 0.43 |
| b12 | 0.38 | 0.49 | -0.48 | 0.47 | -0.46 | 0.43 | 0.43 | 1 | 0.81 | 0.63 | -0.51 | 0.85 | 0.68 | 0.38 | 0.65 |
| b13 | 0.52 | 0.54 | -0.63 | 0.51 | -0.39 | 0.53 | 0.58 | 0.81 | 1 | 0.17 | 0.02 | 0.99 | 0.21 | 0.12 | 0.55 |
| b14 | -0.01 | 0.28 | 0.03 | 0.22 | -0.43 | 0.07 | 0.00 | 0.63 | 0.17 | 1 | -0.85 | 0.20 | 0.99 | 0.37 | 0.55 |
| b15 | 0.21 | 0.03 | -0.25 | 0.00 | 0.21 | 0.13 | 0.22 | -0.51 | 0.02 | -0.85 | 1 | -0.03 | -0.87 | -0.41 | -0.41 |
| b16 | 0.52 | 0.52 | -0.64 | 0.50 | -0.38 | 0.53 | 0.58 | 0.85 | 0.99 | 0.20 | -0.03 | 1 | 0.23 | 0.17 | 0.55 |
| b17 | 0.00 | 0.29 | 0.01 | 0.23 | -0.44 | 0.08 | 0.01 | 0.68 | 0.21 | 0.99 | -0.87 | 0.23 | 1 | 0.39 | 0.57 |
| b18 | -0.32 | -0.17 | 0.24 | -0.37 | 0.24 | -0.41 | -0.33 | 0.38 | 0.12 | 0.37 | -0.41 | 0.17 | 0.39 | 1 | -0.14 |
| b19 | 0.40 | 0.57 | -0.40 | 0.60 | -0.66 | 0.50 | 0.43 | 0.65 | 0.55 | 0.55 | -0.41 | 0.55 | 0.57 | -0.14 | 1 |

ANEXO 3 - RESULTADOS DETALHADOS DA ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA.

Fórmula = biomas ~ b01 + b04 + b12 + b15, scale = T

IMPORTÂNCIA DOS EIXOS

| | CCA1 | CCA2 | CCA3 | CCA4 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Autovalores | 0.809 | 0.516 | 0.179 | 0.119 |
| Proporção explicada | 0.498 | 0.318 | 0.111 | 0.074 |
| Proporção cumulativa | 0.498 | 0.816 | 0.926 | 1.000 |

IMPORTÂNCIA DAS VARIÁVEIS EM CADA EIXO

| | CCA1 | CCA2 | CCA3 | CCA4 |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Bio01 - Temperatura média anual (°C) | 0.775 | 0.356 | 0.510 | -0.111 |
| Bio04 - Sazonalidade da temperaturar (C of V) | -0.939 | -0.337 | 0.033 | 0.064 |
| Bio12 - Precipitação anual (mm) | 0.754 | -0.647 | 0.061 | 0.094 |
| Bio15 - Sazonalidade da precipitação (C of V) | -0.008 | 0.851 | -0.047 | 0.523 |

POSIÇÃO DE CADA BIOMA EM RELAÇÃO AOS EIXOS

| | CCA1 | CCA2 | CCA3 | CCA4 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Amazônia | 0.82 | -0.26 | 0.02 | -0.10 |
| Pampa | -2.64 | -2.37 | 1.05 | -0.37 |
| Mata Atlântica | -1.41 | -0.83 | -0.49 | -0.07 |
| Cerrado | -0.31 | 0.52 | -0.02 | 0.51 |
| Pantanal | -1.13 | 0.12 | 2.62 | 0.02 |
| Caatinga | -0.77 | 1.55 | -0.08 | -0.69 |

TESTE DE PERMUTAÇÃO DO MODELO

| | Df | Chisq | F | N.Perm | Pr(>F) |
|---------|------|-------|-------|--------|-----------|
| Modelo | 4 | 1.62 | 628.0 | 999 | 0.001 *** |
| Resíduo | 5222 | 3.38 | | | |

TESTE DE PERMUTAÇÃO DOS TERMOS

| | Df | Chisq | F | N.Perm | Pr(>F) |
|---|----|-------|-------|--------|-----------|
| Bio01 - Temperatura média anual (°C) | 1 | 0.60 | 926.9 | 999 | 0.001 *** |
| Bio04 - Sazonalidade da temperaturar (C of V) | 1 | 0.36 | 553.6 | 999 | 0.001 *** |

| | | | | | | |
|---|------|------|-------|-----|-------|-----|
| Bio12 - Precipitação anual (mm) | 1 | 0.54 | 829.6 | 999 | 0.001 | *** |
| Bio15 - Sazonalidade da precipitação (C of V) | 1 | 0.13 | 202.1 | 999 | 0.001 | *** |
| Resíduo | 5222 | 3.38 | | | | |

TESTE DE PERMUTAÇÃO DOS EIXOS

| | Df | Chisq | F | N.Perm | Pr(>F) | |
|---------|------|-------|--------|--------|--------|----|
| CCA1 | 1 | 0.81 | 1251.0 | 199 | 0.005 | ** |
| CCA2 | 1 | 0.52 | 798.8 | 199 | 0.005 | ** |
| CCA3 | 1 | 0.18 | 277.6 | 199 | 0.005 | ** |
| CCA4 | 1 | 0.12 | 184.7 | 199 | 0.005 | ** |
| Resíduo | 5222 | 3.38 | | | | |

ANEXO 4 - RESULTADO DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS DOS PARÂMETROS DO CLIMA PARA OS BIOMAS BRASILEIROS.

| Bioma | Variáveis | Descrição | VIF | Coefficiente calculado | Erro padrão | Valor de z | p z | |
|----------|--|---|------|------------------------|-------------|------------|----------|-----|
| Amazônia | | (Intercepto) | | 4,92E+11 | 3,28E+00 | 8,20E+00 | 2,35E-16 | *** |
| | Altitude | Altitude (m) | 3,94 | 0,99 | 7,71E-04 | -1,50E+01 | < 2e-16 | *** |
| | Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | 3,05 | 1,80 | 6,65E-02 | 8,85E+00 | < 2e-16 | *** |
| | Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | 3,19 | 7,56 | 1,68E+00 | 1,20E+00 | 2,30E-01 | |
| | Bio04 | Sazonalidade da temperaturar (C of V) | 1,83 | 0,00 | 1,35E+02 | -1,44E+01 | < 2e-16 | *** |
| | Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | 3,13 | 0,33 | 1,09E-01 | -1,01E+01 | < 2e-16 | *** |
| | Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) | 2,72 | 1,04 | 5,48E-03 | 7,02E+00 | 2,24E-12 | *** |
| | Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) | 8,14 | 0,93 | 1,08E-02 | -6,31E+00 | 2,73E-10 | *** |
| | Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) | 5,56 | 0,06 | 6,16E-01 | -4,49E+00 | 7,30E-06 | *** |
| | Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | 4,54 | 1,00 | 5,40E-04 | -3,30E+00 | 9,70E-04 | *** |
| Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) | 3,10 | 1,00 | 2,70E-04 | -1,60E+00 | 1,10E-01 | | |
| Caatinga | | (Intercepto) | | 0,00 | 9,23E+00 | -3,85E+00 | 1,20E-04 | *** |
| | Altitude | Altitude (m) | 6,10 | 1,00 | 1,53E-03 | -1,26E+00 | 2,07E-01 | |
| | Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | 3,39 | 0,66 | 1,93E-01 | -2,18E+00 | 2,93E-02 | * |
| | Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | 7,56 | 1,05E+28 | 1,01E+01 | 6,38E+00 | 1,80E-10 | *** |
| | Bio04 | Sazonalidade da temperaturar (C of V) | 9,45 | Inf | 3,94E+02 | 6,11E+00 | 9,93E-10 | *** |
| | Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | 5,96 | 0,67 | 2,53E-01 | -1,58E+00 | 1,15E-01 | |
| | Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) | 4,98 | 0,90 | 2,42E-02 | -4,17E+00 | 3,03E-05 | *** |
| | Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) | 6,40 | 0,96 | 1,61E-01 | -2,32E-01 | 8,16E-01 | |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|---|------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| | Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) | 7,61 | 124,00 | 2,61E+00 | 1,85E+00 | 6,50E-02 | , |
| | Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | 4,44 | 0,98 | 3,22E-03 | -5,60E+00 | 2,15E-08 | *** |
| | Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) | 6,63 | 1,00 | 1,80E-03 | -2,34E+00 | 1,94E-02 | * |
| | (Intercepto) | | | 0,01 | 1,99E+00 | -2,15E+00 | 3,13E-02 | * |
| Mata Atlântica | Altitude | Altitude (m) | 4,38 | 1,00 | 6,21E-04 | 1,99E-01 | 8,42E-01 | |
| | Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | 1,81 | 0,43 | 8,96E-02 | -9,41E+00 | < 2e-16 | *** |
| | Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | 7,77 | 1,19E+10 | 3,31E+00 | 7,02E+00 | 2,27E-12 | *** |
| | Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | 2,85 | 1,09 | 6,40E-02 | 1,33E+00 | 1,84E-01 | |
| | Bio09 | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) | 3,80 | 0,66 | 5,62E-02 | -7,48E+00 | 7,74E-14 | *** |
| | Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) | 3,31 | 0,98 | 1,29E-02 | -1,37E+00 | 1,70E-01 | |
| | Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) | 9,28 | 1,17 | 3,46E-02 | 4,50E+00 | 6,90E-06 | *** |
| | Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | 3,61 | 1,01 | 1,13E-03 | 6,68E+00 | 2,48E-11 | *** |
| | Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) | 5,82 | 1,00 | 1,71E-03 | 2,07E+00 | 3,82E-02 | * |
| | | (Intercepto) | | | 0,00 | 3,20E+00 | -8,13E+00 | 4,27E-16 |
| Cerrado | Altitude | Altitude (m) | 6,07 | 1,01 | 6,89E-04 | 1,30E+01 | < 2e-16 | *** |
| | Bio02 | Varição da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) | 1,80 | 0,89 | 7,20E-02 | -1,63E+00 | 1,03E-01 | |
| | Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | 4,85 | 0,01 | 2,70E+00 | -1,76E+00 | 7,92E-02 | , |
| | Bio04 | Sazonalidade da temperatuar (C of V) | 6,99 | 0,00 | 7,06E+01 | -1,56E+00 | 1,20E-01 | |
| | Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | 5,60 | 2,73 | 9,72E-02 | 1,03E+01 | < 2e-16 | *** |
| | Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) | 4,27 | 1,04 | 7,51E-03 | 5,03E+00 | 5,02E-07 | *** |
| | Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) | 4,89 | 0,86 | 5,50E-02 | -2,74E+00 | 6,23E-03 | ** |
| | Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) | 4,25 | 1,51 | 1,03E+00 | 3,99E-01 | 6,90E-01 | |

| | | | | | | | | |
|----------|--------------|--|------|----------|----------|-----------|----------|-----|
| | Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | 3,31 | 1,00 | 6,65E-04 | -2,34E-01 | 8,15E-01 | |
| | Bio19 | Precipitação do trimestre mais frio (mm) | 2,33 | 1,00 | 4,48E-04 | -2,33E+00 | 2,00E-02 | * |
| | (Intercepto) | | | 0,00 | 7,28E+00 | -2,11E+00 | 3,50E-02 | * |
| Pantanal | Altitude | Altitude (m) | 2,53 | 0,99 | 5,26E-03 | -1,85E+00 | 6,43E-02 | , |
| | Bio03 | Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) | 3,59 | 0,00 | 1,44E+01 | -1,83E+00 | 6,71E-02 | , |
| | Bio06 | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) | 1,66 | 6,70 | 4,47E-01 | 4,25E+00 | 2,12E-05 | *** |
| | Bio12 | Precipitação anual (mm) | 2,96 | 1,00 | 2,08E-03 | -8,73E-01 | 3,83E-01 | |
| | Bio14 | Precipitação da semana mais seca (mm) | 1,87 | 0,65 | 1,48E-01 | -2,86E+00 | 4,21E-03 | ** |
| | Bio18 | Precipitação do trimestre mais quente (mm) | 2,62 | 1,02 | 4,03E-03 | 4,17E+00 | 3,04E-05 | *** |
| | (Intercepto) | | | 3,14E-06 | 5,134553 | -2,47E+00 | 1,36E-02 | * |
| | Altitude | Altitude (m) | 1,97 | 1,00 | 0,002217 | -2,15E+00 | 3,15E-02 | * |
| Pampa | Bio05 | Temperatura máxima da semana mais quente (°C) | 2,49 | 1,51 | 0,188979 | 2,20E+00 | 2,81E-02 | * |
| | Bio06 | Temperatura mínima da semana mais fria (°C) | 3,18 | 2,08 | 0,246815 | 2,97E+00 | 2,96E-03 | ** |
| | Bio08 | Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) | 2,96 | 0,69 | 0,101528 | -3,61E+00 | 3,10E-04 | *** |
| | Bio09 | Temperatura média do trimestre mais seco (°C) | 1,55 | 1,01 | 0,080181 | 1,61E-01 | 8,72E-01 | |
| | Bio15 | Sazonalidade da precipitação (C of V) | 2,34 | 0,00 | 5,281803 | -3,96E+00 | 7,53E-05 | *** |
| | Bio13 | Precipitação da semana mais úmida (mm) | 3,46 | 1,07 | 0,064855 | 1,10E+00 | 2,71E-01 | |

Bio01: Temperatura média anual (°C) – Média anual da temperatura média ao longo do dia

Bio02: Variação da temperatura média diurna (média(período max-min)) (°C) – Média anual da temperatura diurna máxima menos a temperatura diurna mínima.

Bio03: Isotermalidade (Bio02 ÷ Bio07) – Relação entre variação média da temperatura diurna e variação anual da temperatura.

Bio04: Sazonalidade da temperatura (C of V) – Coeficiente de variação da temperatura ao longo do ano.

Bio05: Temperatura máxima da semana mais quente (°C) - Corresponde a maior temperatura registrada ao longo do ano.

Bio06: Temperatura mínima da semana mais fria (°C) - Corresponde a menor temperatura registrada ao longo do ano.

Bio07: Variação anual de temperatura (Bio05-Bio06) (°C) – Diferença entre a maior e a menor temperatura registradas ao longo do ano.

Bio08: Temperatura média do trimestre mais úmido (°C) – Temperatura média do trimestre mais úmido dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio09: Temperatura média do trimestre mais seco (°C) - Temperatura média do trimestre mais seco dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio10: Temperatura média do trimestre mais quente (°C) - Temperatura média do trimestre mais quente dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio11: Temperatura média do trimestre mais frio (°C) - Temperatura média do trimestre mais frio dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio12: Precipitação anual (mm) – Precipitação total anual (Janeiro a Dezembro) em uma dada célula.

Bio13: Precipitação da semana mais úmida (mm) – Precipitação total da semana com maior precipitação total registrada ao longo do ano.

Bio14: Precipitação da semana mais seca (mm) - Precipitação total da semana com menor precipitação total registrada ao longo do ano.

Bio15: Sazonalidade da precipitação (C of V) – Coeficiente de variação da precipitação ao longo do ano.

Bio16: Precipitação do trimestre mais úmido (mm) – Precipitação total do trimestre com maior precipitação registrada dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio17: Precipitação do trimestre mais seco (mm) - Precipitação total do trimestre com menor precipitação total registrada dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio18: Precipitação do trimestre mais quente (mm) - Precipitação total do trimestre com maior temperatura média dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).

Bio19: Precipitação do trimestre mais frio (mm) - Precipitação total do trimestre com menor temperatura média dentre os quatro trimestres do ano (Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro, Outubro a Dezembro).