

Aplicação de cadeias de Markov para avaliação do desmatamento da Amazônia

Brenda Lanzarini (Universidade de Caxias do Sul) blanzarini1@ucs.br
Nathalia Tessari Moraes (Universidade de Caxias do Sul) ntmoraes1@ucs.br
Leandro Luis Corso (Universidade de Caxias do Sul) llcorso@ucs.br

Resumo

A Amazônia cobre a maior parte da Bacia Amazônica, abrangendo 7 milhões de quilômetros quadrados, onde 5,5 são cobertos pela floresta tropical. Dentre as florestas tropicais remanescentes no planeta, a Amazônia representa mais da metade, inserindo a maior biodiversidade em uma floresta tropical no mundo. É considerada uma riqueza ímpar para o país, porém historicamente vem sendo alvo de um grande desmatamento da sua área, onde ocorre uma exploração demasiada e fora de controle, que compromete o bioma. Com o intuito de avaliar a progressão do desmatamento na Amazônia nos últimos anos e com isso projetar uma previsão do desmatamento no ano presente e nos próximos dois anos, foi utilizado o método de cadeia de Markov, método estocástico, que avalia a probabilidade do estado futuro com base na avaliação do estado atual. Para isso, foram analisados os dados de desmatamento nos últimos 29 anos, considerando a quantidade de quilômetros quadrados desmatados por ano, e após, aplicado o método e calculado uma faixa do possível índice de desmatamento nos anos de 2018, 2019 e 2020.

Palavras chave: Desmatamento, Markov, projeção, previsão.

Markov's chain application to evaluate the Amazônia deforest

Abstract

The Amazônia forest overspreads most part of the Amazônica water parting, covering 7 million square kilometers, where 5,5 of this dimension are covered by the tropical forest. Among the remaining tropical forests in the planet, Amazônia represents more than half of it, inserting the biggest biodiversity in a tropical forest in the world. It's considered a unique richest forecast for Brazil, but historically it is being a target for a huge deforestation, where a big and out of control exploration are compromising the planet. With the objective to evaluate the deforestation progress for this year and in the next two years, was used the Markov chain, a stochastic method, that evaluate the future state based on the current state evaluation. For it, data was analyzed from the last 29 years, considering the square kilometers quantity deforests by year, and after, the method was applied and a zone was calculated for the possible deforest index for 2018, 2019 and 2020. It's possible to have an idea of how much importance should we have for not have this issue becoming worse only looking for this search.

Key-words: deforestation, Markov, projection, forecast.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, há mais de 50 anos, após sua colonização sofre-se de um vasto processo de desmatamento constante. A grande preocupação é o desmatamento acelerado da Amazônia, que sofre com o corte de milhares de árvores a cada ano. Até 2007, cerca de 732 mil km² foram desmatados, o que corresponde a quase 15% da área total da região. Até 1980, o desmatamento na região alcançava cerca de 300 mil km², o equivalente a 6% da área total (BRASIL, 2008). Segundo levantamentos realizados pela Organização das Nações Unidas (ONU), atualmente são desmatados quase 7 milhões de hectares por ano em todo.

O processo de desmatamento é um problema global, colocando em ameaça os recursos naturais, o meio ambiente, o equilíbrio ecológico do planeta, a fauna e a flora. Desde 1988, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) estuda o comportamento do desmatamento da floresta Amazônica por meio do projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite). Esse projeto conta com a colaboração do Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) e visa analisar o desmatamento e implementar ações para que o mesmo seja reduzido ao máximo nos próximos anos. O PRODES é financiado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Informação do Governo Federal do Brasil.

Diversos trabalhos na área de desmatamento têm aplicado as Cadeias de Markov para simular e compreender as mudanças de uso e cobertura da terra baseados em teorias de probabilidade. A partir disso, o objetivo desse trabalho compreende simular o processo de desmatamento dos últimos anos e com isso será feito uma projeção para o ano atual e os próximos dois utilizando a Cadeia de Markov. As principais vantagens das Cadeias de Markov são a simplicidade operacional e matemática do modelo aliadas à facilidade com que podem ser interpretadas, mesmo em processos estocásticos.

Busca-se encontrar quais são as probabilidades do desmatamento da Amazônia estar sendo reduzido, de fato, por meio desta análise, e possibilitando comparar com as pesquisas do PRODES e, fato que este pode apoiar as ações implementadas pelo Governo Federal

2) REFERENCIAL TEÓRICO

A Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência de apoio a tomada de decisão que utiliza modelos matemáticos a fim de modelar problemas e com isso calcular e projetar resultados que visem a otimização do sistema. Por exemplo, por meio da programação linear é possível chegar a um resultado ótimo, sendo utilizada na aplicação de diversos problemas, como otimização de mix de produção, problemas de transporte, estudo de filas, e probabilísticos. Entre os existentes dentro da PO, tem-se a Cadeia de Markov, um método de análise a processos estocásticos amplamente aplicado para resolver problemas de previsão.

De acordo com Morettin e Toloi (1987), processos estocásticos servem para descrever o procedimento de sistemas variando em períodos de tempo, com isso, em termos formais, a variável aleatória $Z(t)$ representa o estado do sistema no parâmetro t (geralmente tempo). Portanto, pode-se afirmar que $Z(t)$ é definido como um vetor de estados.

Conforme Ross (1996), esses processos estocásticos podem ser classificados da seguinte forma:

(1) Em relação ao estado

- Estado discreto (cadeia): $Z(t)$ é definido sobre um conjunto enumerável ou finito;

- Estado contínuo (sequência): $Z(t)$ é definido sobre o conjunto dos reais.

(2) Em relação ao tempo (parâmetro)

- Tempo discreto: t é finito ou enumerável;

- Tempo contínuo: t é real não negativo.

Sendo que, considera-se um processo estocástico, situações influenciadas por efeitos aleatórios em que se realizam observações durante um período de tempo. Estes eventos formam um conjunto de variáveis aleatórias sob um espaço amostral relacionado a uma variável de tempo $X(t)$. Os valores que $X(t)$ pode assumir são chamados de estados e o seu conjunto X , de espaço de estados (CLARKE; DISNEY, 1979). Observando que, de acordo com Bortolotti et al (2007), um processo de Markov é um processo em que as distribuições de probabilidade para o seu desenvolvimento futuro dependem somente do estado presente, não levando em consideração como o processo chegou a tal estado.

Para a montagem de uma cadeia de Markov, de acordo com Hoyos (1980), os pontos mais importantes são a definição dos estados do sistema e a construção da matriz de transição probabilística. Além disso, conforme Shamblin e Stevens (1979), para garantir que se chegou a condições de regime estacionário, a cadeia deve ser ergódica. Uma cadeia ergódica descreve matematicamente um processo no qual é possível ir de um estado a qualquer outro. Não é necessário que isto seja feito em apenas um passo, mas deve ser possível atingir qualquer estado independentemente do presente.

De acordo com Taha (2007), a família de variáveis aleatórias $\{X_{t_n}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, que descreve o estado do sistema em pontos discretos no tempo t , forma um processo estatístico. Também comenta que Cadeia de Markov se a probabilidade de ocorrência de um estado futuro depende apenas do estado presente, e é independente dos eventos passados. A probabilidade condicional P na Equações 1 e 2.

$$p_{ij} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} \quad (1)$$

$$p_{ij}^n = P\{X_{t+n} = j | X_t = i\} \quad (2)$$

Onde, X_t representa o estado do processo no tempo t , e p_{ij}^n como sendo a probabilidade de que um processo passe do estado i ao estado j em n passos no tempo t . A Matriz de Transição entre estados é apresentada na Equação 3.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & \cdots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

O cálculo da probabilidade de estado estável (π_j), apresentadas por Hillier e Lierberman (2005) então mostradas na Equação 4 e sua propriedade na Equação 5.

$$\pi_j = \sum_{i=0}^M \pi_i p_{ij}, \text{ para } j = 0, 1, \dots, M \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^M \pi_j = 1 \quad (5)$$

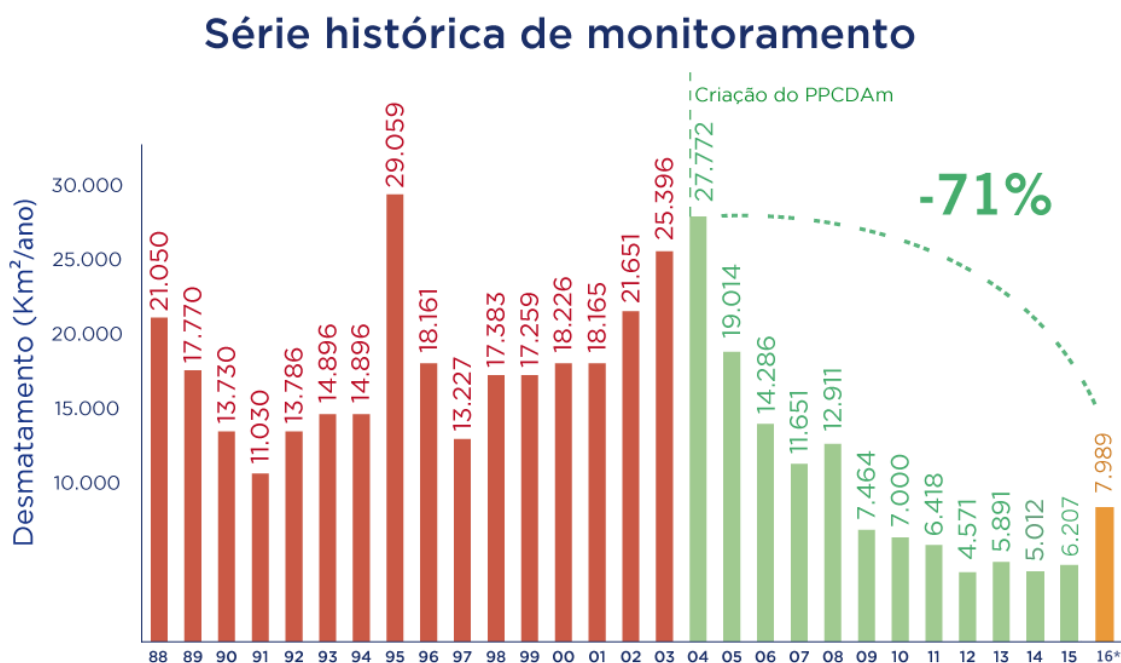
Após depois um elevado número de transições, a probabilidade de encontrar o processo em um determinado estado, por exemplo j , tende ao valor π_j , independente da distribuição de probabilidade do estado inicial.

3)METODOLOGIA

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desmatamento da região amazônica nos últimos treze anos, ou seja, desde o ano de 2004 até 2017, e realizar uma previsão de desmatamento para os próximos três anos por meio do uso das cadeias de Markov.

A cadeia de Markov é um método de análise aplicado em processos estocásticos, ou seja, visa-se avaliar a probabilidade de mudar de estado ao longo do tempo, cuja característica principal é de que o estado futuro depende apenas do estado atual, e de forma que os estados passados não têm influência sequer no estado futuro. Esse método foi desenvolvido pelo matemático russo Andrey Markov, e fez uso de notações matriciais para ser desenvolvido, em 1906. No presente trabalho, os cálculos realizados e tabelas criadas foram feitas por meio de software de planilha eletrônica..

Os dados foram obtidos por meio do Ministério do Meio Ambiente, e constam como informações obtidas pelo projeto PRODES, a Figura 1 mostra o desmatamento da floresta, em km² por ano.



Fonte: PRODES

Figura 1: série histórica de monitoramento do desmatamento na Amazônia

Os integrantes optaram por utilizar os dados a partir do ano de 2004 em virtude da implementação do projeto PPCDAm (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal), medida que fomenta políticas públicas para assegurar a redução do desmatamento dessa área.

O método da cadeia de Markov foi separado em quatro etapas. A primeira etapa consiste em idealizar uma escala de acordo com a tendência de desmatamento nos últimos anos. Para o presente trabalho, definiu-se a também de classificação de faixas:

Classificação	Escala (em porcentagem de desmatamento)
A	De -40% até -20%
B	De -20% até 0%
C	De 0% até 20%
D	De 20% a 40%

Fonte: os autores

Tabela 1: escala de classificações

As classificações A e B representam uma redução do desmatamento e a classificações C e D representam um aumento. Com base nessa escala, foi realizada a segunda etapa, em que cada ano foi classificado de acordo com a escala definida, mostrada na Tabela 2.

Ano	Desmatamento (km ² /ano)	Classificação
2004	27772	C
2005	19014	A
2006	14286	A
2007	11651	C
2008	12911	C
2009	7464	A
2010	7000	B
2011	6418	B
2012	4571	A
2013	5891	D
2014	5012	B
2015	6207	D
2016	7893	D
2017	6947	B

Fonte: os autores

Tabela 2: classificação de cada ano de acordo com a escala

Com a definição das classificações, é criada uma matriz de quantidades baseada na transição de um ano para o outro, e após, por meio de uma simples divisão, a matriz de transição de probabilidade é calculada a fim de dar seguimento a análise.

Com base nessa matriz e o vetor da probabilidade $P(0)$, pode-se calcular a probabilidade de cada classificação ocorrer nos próximos três anos conforme o objetivo do trabalho.

4) DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A matriz de transição foi criada com base na Equação 3 com as suas respectivas probabilidades para o estado inicial. Com a matriz de probabilidades pronta, pode-se verificar que, por exemplo, a probabilidade de um ano classificado como D ir para a classificação B no ano seguinte é relativamente alta, cerca de 67%. Com esses dados, foram realizadas estimativas sobre os níveis de desmatamento nos próximos três anos.

De/Para	A	B	C	D
A	0,25	0,25	0,25	0,25
B	0,33	0,33	0,00	0,33
C	0,67	0,00	0,33	0,00
D	0,00	0,67	0,00	0,33

Fonte: os autores

Tabela 4: matriz de transição

Com a criação da matriz de transição, foi possível descobrir a probabilidade de qual classificação o ano desejado estará enquadrado conforme a escala utilizada. Primeiro, foi necessário encontrar a matriz de transição para cada ano de análise, ou seja, a matriz para o ano de 2018, 2019 e 2020. Para isso, segundo o método de Markov, foi realizada uma multiplicação de matrizes. A seguir segue resultado das matrizes de transição para cada ano:

2018	A	B	C	D
A	0,31	0,31	0,15	0,23
B	0,19	0,42	0,08	0,31
C	0,39	0,17	0,28	0,17
D	0,22	0,44	0,00	0,33

Fonte: os autores

Tabela 5: matriz de transição do ano de 2018

2019	A	B	C	D
A	0,28	0,34	0,13	0,26
B	0,24	0,39	0,08	0,29
C	0,34	0,26	0,19	0,21
D	0,20	0,43	0,06	0,31

Fonte: os autores

Tabela 6: matriz de transição do ano de 2018

2020	A	B	C	D
A	0,27	0,35	0,11	0,27
B	0,24	0,38	0,09	0,29
C	0,30	0,31	0,15	0,24
D	0,23	0,40	0,07	0,30

Fonte: os autores

Tabela 7: matriz de transição do ano de 2020

Foi utilizado o vetor de probabilidade apresentada na Tabela 8 para os cálculos da cadeia de Markov para constatar as probabilidades de cada classificação acontecerem no ano desejado. Foi escolhida a classificação B como principal, encontrou-se no ano de 2017.

P(0)	0	1	0	0
------	---	---	---	---

Fonte: os autores

Tabela 8: vetor de probabilidade

Realizando a multiplicação de cada matriz de transição de cada ano com o vetor mencionado acima, obteve-se quais são as probabilidades de cada classificação acontecerem em cada ano da pesquisa.

P(x)	A	B	C	D
P(2018)	0,19	0,42	0,08	0,31
P(2019)	0,24	0,39	0,08	0,29
P(2020)	0,24	0,38	0,09	0,29

Fonte: os autores

Tabela 9: probabilidades de cada ano de análise

Dessa forma, pode-se inferir que a maior probabilidade está presente na classificação B, ou seja, para os próximos três anos, a tendência é que o desmatamento na floresta Amazônica tenha uma redução de até 20% em relação aos anos anteriores. Além disso, verifica-se pela soma das probabilidades, que a probabilidade de redução do desmatamento é relativamente maior do que a de aumento, pois a soma chega a ser maior que 60% para todos os três anos da análise.

5) CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, foi possível analisar os dados do desmatamento na Amazônia dos últimos anos, acompanhar os maiores progressos relatados e com isso, aplicar o método de cadeias de Markov para projetar, por meio do cenário atual, a probabilidade da variação do desmatamento no ano de 2018 e nos próximos dois anos seguintes. É de extrema importância estar atento ao cenário atual e ao que pode-se ter nos próximos anos, para que se entenda os motivos das variações e para que as medidas devidas sejam tomadas. O controle é essencial para que se evite novos crescimentos e para que, em casos de quedas, as medidas que tem sido tomadas sejam fortalecidas.

Ao aplicar o método, foi possível levar em consideração os dados de 2004 até 2017, e por meio do cálculo de matrizes de transição, verificar a maior probabilidade de transição para os anos de 2018, 2019 e 2020. Com os cálculos, a faixa mais provável detectada foi a faixa B, que representa uma queda de 0 a 20% do valor em quilômetros quadrados por ano de desmatamento. Podendo considerar, com base no cenário atual que apresenta o dado de 2017 como cenário atual, com 6.947 quilômetros quadrados, que a redução nos anos projetados pode ser de até 1.389,4 quilômetros quadrados em cada ano, tendo no final do ano de 2020 uma redução de 4.168,2 quilômetros quadrados.

Portanto, pode-se verificar uma projeção possível para os próximos anos, representando uma redução significativa que pode ser alcançada. Para isso, considera-se fundamental que continue sendo monitorado os dados referentes ao desmatamento, que planos contra o desmatamento e de planejamento em relação à exploração do bioma Brasileiro sejam fortalecidos.

Com esta análise é possível ter uma ideia da devida atenção que deve-se ter para que o desmatamento não progrida, e também, o presente artigo pode servir como base para avaliar melhor os motivos do comportamento da progressão do desmatamento na Amazônia, de forma que as medidas que estão sendo tomadas continuem sendo exercidas e que as principais causas, que ainda representam um desmatamento significativo, possam ser verificadas para que as precauções sejam realizadas.

6) REFERÊNCIAS

BORTOLOTTI, S. L. V. et al. Estudo de custos para uma microempresa de guardanapos de papel utilizando cadeias absorventes de Markov. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – SIMPEP, 14., 2007, Bauru, SP, Brasil. Anais...2007.

CLARKE, A. B.; DISNEY, R. L. Probabilidade e processos estocásticos. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

HILLIER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. Introduction to Operations Research. 8. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2005.

HOYOS, A. Processos estocásticos e previsão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 4., 1980, Rio de Janeiro. Anais... 1980.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia Maria C. Previsão de séries temporais. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

ROSS, Sheldon M. Stochastic processes. New York: Wiley, 1996.

SHAMBLIN, J. E.; STEVENS JUNIOR, G. T. Pesquisa operacional - Uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1979.

TAHA, Hamdy A. Operations research: an introduction. 8. ed. Nova Iorque: Pearson, 2007.

INPE. INPE registra 6.947 km² de desmatamento na Amazônia em 2017. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/inpe-registra-6-947-km2-de-desmatamento-na-amazonia-em-2017>. Acesso em out 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Desmatamento na Amazônia Legal. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/desmatamento>. Acesso em out 2018.

INPE. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite . Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em out 2018.