

Um Modelo Matemático para a Desertificação

Mauro César Nogueira

mauro.nog@gmail.com
Universidade Federal do
Ceará

**Silvrano Adonias Dantas
Neto**

Universidade Federal do
Ceará

Resumo

Diante da grande dificuldade na mensuração dos processos de desertificação, onde há bastante divergência de metodologias para a obtenção dos resultados, trazendo incertezas e incredulidades por parte dos tomadores de decisão, sob a veracidade das informações e quais medidas podem ou precisam ser tomadas para estabilizar, reduzir ou reparar seus efeitos é que foi desenvolvida uma equação, denominada de Índice de Desertificação, composta por variáveis obtidas a partir dos indicadores consensuados para a América do Sul, que apresenta resultados de fácil compreensão e que poderá ser uma importante ferramenta no diagnóstico e previsão do processo de desertificação, auxiliando nas tomadas de decisões e na criação de cenários que prevejam a evolução do fenômeno diante das medidas mitigadoras adotadas.

Palavras-chave: Desertificação. Indicadores. Índice.

Abstract

Considering the great difficulty in measuring of desertification processes, where there is enough divergence of methodologies for the obtaining of the results, bringing uncertainty and incredulities on the part of decision makers, under the veracity of the information and what measures can or should be taken to stabilize reduce or remedy its effects is that was developed an equation, called of the Desertification Index, composed of variables obtained starting from the indicators agreed upon for South America, that presents resulted of easy understanding and that could be an important tool in the diagnosis and prediction of the desertification process, assisting in the taking of decisions and in the creation of landscape that foresee the evolution of the phenomenon for the measures mitigate.

Keywords: Desertification. Indicators. Index.

1. Introdução

Na década de 30, foi constatada uma intensa degradação de solos, que afetou uma área de aproximadamente 380.000 km² atingindo quatro estados Americanos: Oklahoma, Kansas, Novo México e Colorado. Após esta constatação iniciou-se pesquisas para entender o fenômeno, que foi nominado de desertificação. À época, a desertificação foi definida como sendo: “a formação de condições de tipo desértico em áreas de clima semiárido”. Esta definição, com a realização da segunda Convenção das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, mais conhecida como Rio-92 ou Eco-92, passou a ser: “degradação das terras de zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, tais como as variações climáticas e as atividades humanas” (MATALLO, 2001; PAN-Brasil, 2005; MORALES, 2005).

Nas décadas subsequentes, até início da década de 70, mesmo sendo constatado que nas áreas de clima semiárido era onde estavam concentradas as populações mais pobres do mundo, poucas ações foram tomadas no sentido de se estudar os impactos causados pela desertificação. Foi só após a ocorrência de uma grande seca na região conhecida como Sahel, que fica abaixo do deserto do Saara, onde mais de 500.000 pessoas morreram de fome, que a comunidade científica internacional despertou para os impactos econômicos, sociais e ambientais consequentes da desertificação (IICA, 2007).

Existe consenso entre os países signatários da Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação- UNCCD que as causas da desertificação são oriundas da interação de diferentes e complexos fatores derivados das atividades

humanas e das variações climáticas (UNCCD, [1994?]; MORALES, 2005), no entanto, não existe uma metodologia universal de avaliação do processo. Assim, há uma dificuldade de implantação de medidas que possam estabilizar, reduzir ou reparar um processo de desertificação.

Nas duas últimas décadas os esforços na busca para encontrar meios de diagnosticar com precisão o grau de desertificação foram intensificados e muitos indicadores foram desenvolvidos com esse objetivo, mas ainda não existe consenso quanto à adoção deles e quais seus graus de influência sob o fenômeno. Isto tem como consequência direta a diversidade de resultados diferenciados que põem em dúvida quais deles estão fazendo uma leitura adequada.

Nos primeiros anos da década de 90 um grupo de pesquisadores da Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Peru e Equador (entrou posteriormente) deram os primeiros passos no sentido de criarem uma metodologia unificada para a evolução e o monitoramento da desertificação na América Latina (MATALLO, 2001). Em 2004, representantes dos países supracitados chegaram a um consenso de quais indicadores seriam usados na mensuração dos processos de desertificação (ABRAHAM, 2006; ABRAHAM & MACCAGNO, 2006).

Mesmo chegando-se a um consenso sobre a adoção dos indicadores na América do Sul, ainda não existe comum acordo quanto à dependência e relevância de uns sobre os outros, ou seja, ainda existe uma divergência metodológica na aplicação deles. Neste trabalho é apresentado um modelo matemático que permite diagnosticar o processo de desertificação em um dado instante e prever sua evolução em um determinado lapso temporal. A equação criada, denominada de Índice de Desertificação, utiliza como base de dados o conjunto de indicadores já consensuados na América do Sul. Apesar de ter uma alta complexidade na obtenção dos resultados tem a vantagem de apresentar uma leitura final muito simples e de fácil entendimento.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do Índice de Desertificação tomou-se como hipótese que o abrandamento ou agravamento de um processo de desertificação tem um comportamento acelerado, ou seja, com o passar do tempo, a velocidade, em valores absolutos, de agravamento ou de abrandamento, cresce à medida que o processo ocorre.

2.1 Conversão de Indicadores em Variáveis

Os indicadores consensuados pelos países supracitados foram tratados como variáveis, sendo que suas faixas de valores foram convertidas linearmente para um mesmo intervalo numérico. Os indicadores que indicam um agravamento no processo de desertificação têm seus valores variando de 0 (zero) a 1 (um), onde o valor 0 (zero) significa a situação mais favorável para que não ocorra um processo de desertificação e o valor 1 (um) significa a situação mais favorável para que ocorra o processo de desertificação. Os indicadores que indicam uma atenuação no processo de desertificação têm seus valores variando de -1 (um negativo) a 0 (zero), onde o valor -1 (um negativo) significa a situação mais favorável para atenuar um processo de desertificação e o valor 0 (zero) significa a situação nula de atenuação no processo de desertificação.

A título de exemplificação do procedimento relatado acima é mostrado na Eq.(1) a conversão de um dos indicadores, no caso, o índice de aridez, na variável aridez. O índice de aridez é utilizado para caracterizar as zonas áridas, semiáridas, subúmidas secas, subúmidas úmidas e úmidas, e tem como objetivo definir os lapsos temporais de deficiência e excedência climática de água em um período específico, levando-se em conta basicamente a quantidade de água precipitada e evaporada (CAZALAC, [200-]).

$$x_A = \begin{cases} 1 & \text{para Índice de Aridez} < 0,05 \\ \frac{0,65 - \text{Índice de Aridez}}{0,6} & \text{para } 0,05 \leq \text{Índice de Aridez} \leq 0,65 \\ 0 & \text{para Índice de Aridez} > 0,65 \end{cases} \quad (1)$$

Onde:

x_A = Variável Aridez

A ilustração gráfica da Eq. (1) está representada na Fig. 1:

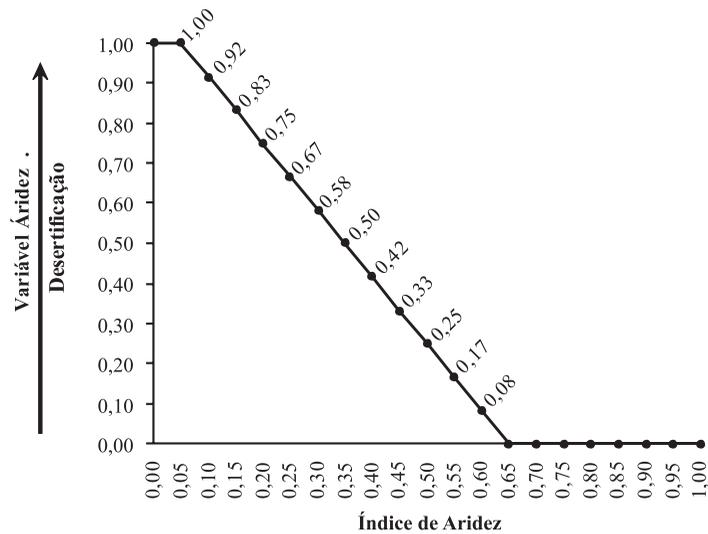


Figura 1: Transformação do índice de aridez para a variável aridez com escala variando entre zero e um.

Fonte: Próprio Autor

O mesmo procedimento pode ser adotado para todos os outros indicadores.

2.2 Subíndices de desertificação

Usando a metodologia de aglutinação de indicadores em índices, técnica usada pela DGOTUD (2007) de Portugal, foram feitos agrupamentos de variáveis (indicadores), conforme suas influências preponderantes, em 5 (cinco) subíndices, quais sejam: subíndice água – $X_{I,A}$; subíndice solo – $X_{I,S}$; subíndice vegetação – $X_{I,V}$; subíndice agravante – $X_{I,AG}$ e subíndice atenuante – $X_{I,AT}$. Cada subíndice é obtido através da média ponderada das variáveis que mais afinidades têm com os fatores relacionados a elas. Luna (2007) aplicou metodologia semelhante no desenvolvimento de um índice de pobreza hídrica – IPH para o semiárido brasileiro.

2.2.1 Subíndice Água - X_A

É obtido através da média ponderada das variáveis que mais afinidades têm com fatores relacionados à água. A Equação (2) mostra a composição deste subíndice.

$$X_A = \frac{x_{A,1} + \sum_{i=2}^{i=n} P_{A,i} \cdot x_{A,i}}{1 + \sum_{i=2}^{i=n} P_{A,i}} \quad (2)$$

Onde:

- X_A é o subíndice água;
- $P_{A,1}$ é o fator de ponderação (peso) relativo à variável padrão e cujo valor é igual à unidade;
- $P_{A,i}$ são os fatores de ponderação (pesos) relativos a cada variável;
- $x_{A,1}$ é a variável relacionada ao índice água adotada como padrão, geralmente adotando-se aquela que merece maior importância dentre as variáveis consideradas;
- $x_{A,i}$ são as variáveis relacionadas ao índice água (Tabela 1), com leitura variando de 0 (zero) a 1 (um);
- n é o número de variáveis.

A Tabela (1) relaciona as variáveis (indicadores) usadas na obtenção do índice água:

Tabela 1: Variáveis de desertificação relacionadas ao subíndice água.

Descrição da Variável	Marco Ordenador	$x_{A,i}$	$P_{A,i}$
Relação oferta/demanda de água	Pressão		1
Índice de aridez (variável padrão)	Estado		
Índice padronizado de precipitação			
Disponibilidade de águas superficiais/subterrâneas			
Índice de pobreza hídrica			
Qualidade da água			
Nº de perfurações por unidade de superfície			

Fonte: Abraham (2006).

Os fatores de ponderação, $P_{A,i}$, são atribuídos a cada variável, relacionando-as com a variável padrão, que tem peso igual à unidade.

2.2.2 Subíndice Solo - X_s

É obtido através da média ponderada das variáveis que mais afinidades têm com fatores relacionados ao solo. A Equação (3) mostra a composição deste subíndice.

$$X_s = \frac{x_{s,1} + \sum_{i=2}^{i=n} P_{s,i} \cdot x_{s,i}}{1 + \sum_{i=2}^{i=n} P_{s,i}} \quad (3)$$

Onde:

- X_s é o subíndice solo;
- $P_{s,1}$ é o fator de ponderação (peso) relativo à variável padrão e cujo valor é igual a 1 (um);
- $P_{s,i}$ são os fatores de ponderação (pesos) relativos a cada variável;
- $x_{s,1}$ é a variável relacionada ao índice solo adotada como padrão, geralmente adotando-se aquela que merece maior importância dentre as variáveis consideradas;
- $x_{s,i}$ são as variáveis relacionadas ao índice solo (Tabela 2), com leitura variando de 0 (zero) a 1 (um);
- n número de variáveis.

A Tabela (2) relaciona as variáveis (indicadores) usadas na obtenção do índice solo:

Tabela 2: Variáveis de desertificação relacionadas ao subíndice solo.

Descrição da Variável	Marco Ordenador	$x_{s,i}$	$P_{s,i}$
% de solo desnudo ou albedo de superfície (variável padrão)	Pressão		1
Grau de erosão hídrica			
Grau de erosão eólica			
% de voçorocas/sulcos	Estado		
% de dunas e montes			
Grau de declividade			
Grau de condutividade elétrica			
Alcalinidade			
Sodicidade			
Fertilidade ou conteúdo de matéria orgânica			

Fonte: Abraham (2006).

Os fatores de ponderação, $P_{S,i}$, são atribuídos a cada variável, relacionando-as com a variável padrão, que tem peso igual à unidade.

2.2.3 Subíndice Vegetação - X_V

É obtido através da média ponderada das variáveis que mais afinidades têm com fatores relacionados à vegetação. A Equação (4) mostra a composição deste subíndice.

$$X_V = \frac{x_{V,1} + \sum_{i=2}^{i=n} P_{V,i} \cdot x_{V,i}}{1 + \sum_{i=2}^{i=n} P_{V,i}} \quad (4)$$

Onde:

- X_V é o subíndice vegetação;
- $P_{V,1}$ é o fator de ponderação (peso) relativo à variável padrão e cujo valor é igual a 1 (um);
- $P_{V,i}$ são os fatores de ponderação (pesos) relativos a cada variável;
- $x_{V,1}$ é a variável relacionada ao índice vegetação adotada como padrão, geralmente adotando-se aquela que merece maior importância dentre as variáveis consideradas;
- $x_{V,i}$ são as variáveis relacionadas ao índice vegetação (Tabela 3), com leitura variando de 0 (zero) a 1 (um);
- n número de variáveis.

A Tabela (3) relaciona as variáveis (indicadores) usadas na obtenção do índice vegetação:

Tabela 3: Variáveis de desertificação relacionadas ao subíndice vegetação

Descrição da Variável	Marco Ordenador	$x_{V,i}$	$P_{V,i}$
% de cobertura vegetal (Variável padrão)			1
Recorrência e risco de incêndios	Pressão		
% de mudanças na cobertura vegetal ou variação da cobertura vegetal			
Espécies de flora e fauna em perigo de extinção			
Estado de degradação da vegetação	Estado		
Espécies dominantes			
Estratificação			

Fonte: Abraham (2006).

Os fatores de ponderação, $P_{V,i}$, são atribuídos a cada variável, relacionando-as com a variável padrão, que tem peso igual à unidade.

2.2.4 Subíndice Agravante - X_{AG}

É obtido através da média ponderada das variáveis que agravam a situação do processo de desertificação. A Equação (5) mostra a composição deste subíndice.

$$X_{AG} = \frac{x_{AG,1} + \sum_{i=2}^{i=n} P_{AG,i} \cdot x_{AG,i}}{1 + \sum_{i=2}^{i=n} P_{AG,i}} \quad (5)$$

Onde:

- X_{AG} é o subíndice agravante;
- $P_{AG,1}$ é o fator de ponderação (peso) relativo à variável padrão e cujo valor é igual a 1 (um);
- $P_{AG,i}$ são os fatores de ponderação (pesos) relativos a cada variável;
- $x_{AG,1}$ é a variável relacionada ao índice agravante adotada como padrão, geralmente adotando-se aquela que merece maior importância dentre as variáveis consideradas;
- $x_{AG,i}$ são as variáveis relacionadas ao índice agravante (Tabela 4), com leitura variando de 0 (zero) a 1 (um);
- n número de variáveis.

A Tabela (4) relaciona as variáveis (indicadores) usadas na obtenção do índice agravante:

Tabela 4: Variáveis de desertificação relacionadas ao subíndice agravante.

Descrição da Variável	Marco Ordenador	$x_{AG,i}$	$P_{AG,i}$
Carga animal % de lenha usada como combustível Variação em % da superfície destinada a distintos usos produtivos Avanço da fronteira agropecuária	Pressão		
% de superfície sob distintos regimes de usos (variável padrão) % de produtores / há. Densidade da população urbana e rural Taxa nata de migração % de mulheres chefes de família % de analfabetismo funcional % de mortalidade infantil	Estado		1
% de analfabetismo % de PEA (população economicamente ativa) % da população com necessidades básicas insatisfeitas % da população abaixo da linha de pobreza % da população abaixo da linha de indigência	Impacto		

Fonte: Abraham (2006).

Os fatores de ponderação, $P_{AG,i}$, são atribuídos a cada variável, relacionando-as com a variável padrão, que tem peso igual à unidade.

2.2.5 Subíndice Atenuante - X_{AT}

É obtido através da média ponderada das variáveis que atenuam o processo de desertificação. Cuidados especiais devem ser tomados na quantificação destas variáveis, pois as mesmas têm seus valores variando de -1 (um negativo) a 0 (zero). A Equação (6) mostra a composição deste subíndice.

$$X_{AT} = \frac{x_{AT,1} + \sum_{i=2}^{i=n} P_{AT,i} \cdot x_{AT,i}}{1 + \sum_{i=2}^{i=n} P_{AT,i}} \quad (6)$$

Onde:

- X_{AT} é o subíndice atenuante;
- $P_{AT,1}$ é o fator de ponderação (peso) relativo à variável padrão e cujo valor é igual a 1 (um);
- $P_{AT,i}$ são os fatores de ponderação (pesos) relativos a cada variável;
- $x_{AT,1}$ é a variável relacionada ao índice atenuante adotada como padrão, geralmente adotando-se aquela que merece maior importância dentre as variáveis consideradas;
- $x_{AT,i}$ são as variáveis relacionadas ao índice atenuante (Tabela 5), com leitura variando de -1 (um negativo) a 0 (zero), onde o valor -1 (um negativo) significa a situação mais favorável para atenuar um processo de desertificação e o valor 0 (zero) significa a situação nula de atenuação no processo de desertificação;
- n número de variáveis.

A Tabela (5) relaciona as variáveis (indicadores) usadas na obtenção do índice atenuante:

Tabela 5: Variáveis de desertificação relacionadas ao subíndice atenuante.

Descrição da Variável	Marco Ordenador	$x_{AT,i}$	$P_{AT,i}$
Nº de organismos estatais, e instituições de investigação dedicadas à recuperação de terras secas Nº de ONGs dedicadas à recuperação de terras secas Acesso à saúde Presença de serviços básicos Acesso ao crédito	Estado		
Currículos escolares que incorporam o tema ambiental (variável padrão) Número de instituições vinculadas ao estudo da água Existência de normas vinculadas à água em nível nacional/regional Número de instituições vinculadas ao estudo do solo Existência de normas vinculadas ao solo em nível nacional/regional Número de instituições vinculadas ao estudo da flora e fauna Existência de normas vinculadas à flora e fauna em nível nacional/regional % de terras secas recuperadas ou em processo de recuperação % de área com reservas existentes e projetadas Existência de leis nacionais e regionais vinculadas à degradação de terras Nº de organizações e programas dedicados a trabalhar em problemas em terras secas Nº de instituições e projetos associados a financiamentos do PAN Planos e programas de desenvolvimento regional que integram o tema de desertificação Montante de fundos regionais, nacionais e internacionais destinados a financiamentos de projetos PAN % da população sob projetos de controle da desertificação. Número de organizações ativas % de líderes mulheres Tipos de organizações de base	Resposta		1

Fonte: Abraham (2006).

Os fatores de ponderação, $P_{AT,i}$, são atribuídos a cada variável, relacionando-as com a variável padrão, que tem peso igual à unidade.

2.3 Índice de Desertificação – ID

Para a construção do índice de desertificação, que necessitava de uma equação que mostrasse um processo acelerado em função do tempo foi experimentada, em um primeiro momento, uma função análoga ao modelo de Malthus (1798) para o crescimento populacional – precursor da relação pobreza e degradação ambiental – utilizada para descrever a população presente, em um ambiente, em função do tempo (NUNES, 2006; CARLOS, 2003). No entanto, esta função mostrou uma incoerência no caso de uma reversão no processo de desertificação, visto que a mesma apresenta uma velocidade decrescente em relação ao tempo, descaracterizando a hipótese adotada para o modelo. A Figura 2 mostra esta incoerência.

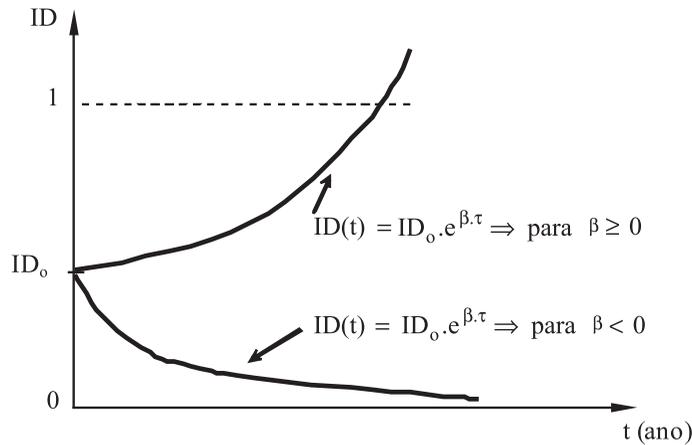


Figura 2: Comportamento da desertificação segundo analogia com a teoria de Malthus.

Fonte: NUNES (2006)

Assim, foi proposta uma função de forma quadrática que possibilitasse representar as hipóteses levantadas neste estudo. A Equação (7) foi então constituída:

$$0 \leq ID(t) = \alpha \cdot (k_T \cdot t)^2 + ID_0 \leq 1 \tag{7}$$

onde,

- ID(t) é o índice de desertificação;
- α é o coeficiente de desertificação;
- ID₀ é o índice de desertificação inicial (para o instante t=0);
- t é o intervalo de tempo considerado;
- k_T é a constante de aceleração do processo de desertificação.

O coeficiente de desertificação, α , é obtido através da Eq. (8):

$$\alpha = \left(\frac{k_A X_A + k_S X_S + k_V X_V + k_{AG} X_{AG} + k_{AT} X_{AT}}{k_A + k_S + k_V + k_{AG} + k_{AT}} \right) \tag{8}$$

onde,

- α é o coeficiente de desertificação;
- X_A é o subíndice água;
- X_S é o subíndice solo;
- X_V é o subíndice vegetação;
- X_{AG} é o subíndice agravante;
- X_{AT} é o subíndice atenuante;
- k_A, k_S, k_V, k_{AG}, k_{AT} são constantes de correlação entre índices.

O índice de desertificação inicial, ID_0 , é obtido através da Eq. (9):

$$ID_0 = \left(\frac{k_A X_A + k_S X_S + k_V X_V}{k_A + k_S + k_V} \right) \quad (9)$$

onde,

ID_0 é o índice de desertificação inicial (para o instante $t = 0$);
 X_A é o subíndice água;
 X_S é o subíndice solo;
 X_V é o subíndice vegetação;
 k_A, k_S, k_V são constantes de correlação entre índices.

A importância das constantes de correlação é a de calibrar a equação de forma que os subíndices possam ser tratados com importâncias diferenciadas entre si.

A Figura 3 mostra graficamente o comportamento do ID:

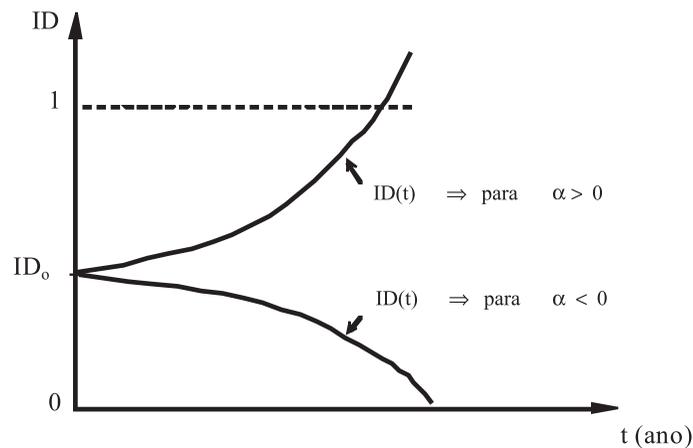


Figura 3: Comportamento da desertificação segundo hipóteses adotadas.

Fonte: Próprio Autor

Foram atribuídos 5 conceitos para faixas de valores do índice de desertificação. A Tabela (6) mostra os conceitos adotados, que variam de baixo a altíssimo, para cada faixa de índice de desertificação:

Tabela 6: Conceitos adotados para o índice de desertificação (ID)

Faixa do ID	Conceito
[0,0 – 0,2)	Desertificação Baixa (DB)
[0,2 – 0,4)	Desertificação Médio-Baixa (DMB)
[0,4 – 0,6)	Desertificação Médio-Alta (DMA)
[0,6 – 0,8)	Desertificação Alta (DA)
[0,8 – 1,0]	Desertificação Altíssima (DAA)

Fonte: próprio autor

A constante de aceleração, k_T , é encontrada a partir da Eq. (10), que leva em consideração a diferença na quantidade de vegetação nativa (obtida a partir de imagens de satélite ou outro meio) em uma década.

$$k_T = \frac{(A_{V,t=0} - A_{V,t=10})}{10.A} \quad (10)$$

onde,

k_T é a constante de aceleração;

A é a área total estudada;

$A_{V,t=-10}$ é a área de vegetação nativa em um determinado ano, de preferência no primeiro ano de uma década anterior ao estudo;

$A_{V,t=0}$ é a área de vegetação nativa uma década após a coleta de $A_{V,t=-10}$, de preferência na data atual.

3. Resultados

Partindo-se de uma situação hipotética, visto que os dados para validação do modelo ainda estão em fase de coleta e construção, utilizando o programa ID-BR v1.0, desenvolvido com a utilização de Macros do programa Excel, foram construídas três simulações do desenvolvimento do índice de desertificação para um intervalo de tempo de 150 anos, sendo o valor inicial do mesmo de 0,26, ou seja, desertificação Médio-Baixa. A primeira simulação considerou um caso em que ocorre um agravamento no processo de desertificação, a segunda simulação considerou a ocorrência de um abrandamento do processo no intervalo de tempo estudado e a terceira simulação considerou um processo de agravamento inicial, nos primeiros 75 anos, e um abrandamento nos 75 anos seguintes. Para as três simulações foram considerados os mesmos subíndices: água, solo e vegetação, conduzindo assim os três casos a um mesmo valor de desertificação inicial. As constantes de correlação foram todas consideradas com um mesmo valor, igual à unidade, e a constante de aceleração igual a 0,02. A Figura 4 mostra a entrada de dados no programa ID-BR v1.0:

Constantes	Valores	Constantes	Valores	Índice Água
K_A	1,000	A	10.000,00	Índice Solo
K_S	1,000	$A_{V,t=-10}$	6.000,00	Índice Vegetação
K_V	1,000	$A_{V,t=0}$	4.000,00	Índice Agravante
$K_{AG/AT}$	1,000			Índice Atenuante
K_T	0,020			Gráfico
$8t_1$ (ano)	75,000			
$8t_2$ (ano)	75,000			

Confirmar

Figura 4: Entrada de dados: constantes de correlação entre subíndices

Fonte: Próprio Autor

As figuras seguintes, mostram a obtenção dos subíndices a partir dos valores considerados para as variáveis de desertificação.

A Figura 5 mostra a obtenção do subíndice água, de acordo com a Eq. (2), usado nos três casos:

Sub-Índice Água						Entrada de Dados
Marco Ordenador		Descrição da Variável	$x_{A,i}$	$P_{A,i}$	$x_{A,i} * P_{A,i}$	Índice Solo
Pressão	<input checked="" type="checkbox"/>	Relação oferta / demanda de água	0,30	1,00	0,30	
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	Índice de aridez (Variável Padrão)	0,20	1,00	0,20	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Índice padronizado de precipitação	0,20	0,50	0,10	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Disponibilidade de águas superficiais / subterrâneas	0,30	0,20	0,06	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Índice de pobreza hídrica	0,30	0,50	0,15	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Qualidade da água	0,20	1,20	0,24	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Nº de perfurações por unidade de superfície	0,10	0,10	0,01	
			$X_A =$		0,24	

Confirmar

Figura 5: Valor do subíndice água para os três casos.

Fonte: Próprio Autor

A Figura 6 mostra a obtenção do índice solo, de acordo com a Eq. (3), usado nos três casos:

Sub Índice Solo						Entrada de Dados
Marco Ordenador		Descrição da Variável	$x_{s,i}$	$P_{s,i}$	$x_{s,i} * P_{s,i}$	Índice Vegetação
Pressão	<input checked="" type="checkbox"/>	% de solo desnudo ou albedo de superfície	0,10	1,00	0,10	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Grau de erosão hídrica	0,10	1,10	0,11	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Grau de erosão eólica	0,05	0,90	0,05	
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	% de voçorocas / sulcos	0,05	0,20	0,01	
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de dunas e montes	0,20	0,80	0,16	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Grau de declividade	0,50	1,50	0,75	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Grau de condutividade elétrica	0,20	0,80	0,16	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Alcalinidade	0,20	1,30	0,26	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Sodicidade	0,10	1,00	0,10	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Fertilidade ou conteúdo de matéria orgânica	0,40	1,00	0,40	
					X_s =	0,22
Confirmar						

Figura 6: Valor do subíndice solo para os três casos.

Fonte: Próprio Autor

A Figura 7 mostra a obtenção do índice vegetação, de acordo com a Eq. (4), usado nos três casos:

Sub-Índice Vegetação						Entrada de Dados	
Marco Ordenador		Descrição da Variável	$x_{v,i}$	$P_{v,i}$	$x_{v,i} * P_{v,i}$	Índice Agravante	
Pressão	<input checked="" type="checkbox"/>	% de cobertura vegetal	0,20	1,00	0,20		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Recorrência e risco de incêndios	0,10	0,10	0,01		
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de mudanças na cobertura vegetal ou variação da cobertura vegetal	0,20	0,80	0,16		
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	Espécies de flora e fauna em perigo de extinção	0,50	0,70	0,35		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Estado de degradação da vegetação	0,40	1,00	0,40		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Espécies dominantes	0,20	0,70	0,14		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Estratificação	0,40	1,00	0,40		
					X_v =		0,31
Confirmar							

Figura 7: Valor do subíndice vegetação para os três casos.

Fonte: Próprio Autor

A Figura 8 mostra a obtenção do índice agravante, de acordo com a Eq. (5), usado no 1ª caso e nos primeiros 75 anos do 3ª caso:

Sub-Índice Agravantes					Entrada de Dado:
Marco Ordenador		Descrição da Variável	$x_{AG,i}$	$P_{AG,i}$	$x_{AG,i} * P_{AG,i}$
Pressão	<input checked="" type="checkbox"/>	Carga animal	0,20	1,00	0,20
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de lenha usada como combustível	0,20	1,00	0,20
	<input checked="" type="checkbox"/>	Variação em % da superfície destinada a distintos usos produtivos	0,40	1,00	0,40
	<input checked="" type="checkbox"/>	Avanço da fronteira agropecuária	0,40	1,50	0,60
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	% de superfície sob distintos regimes de usos (variável padrão)	0,40	1,00	0,40
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de produtores / ha.	0,30	0,40	0,12
	<input checked="" type="checkbox"/>	Densidade da população urbana e rural	0,20	1,00	0,20
	<input checked="" type="checkbox"/>	Taxa nata de migração	0,20	0,80	0,16
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de mulheres chefes de família	0,20	0,40	0,08
	<input checked="" type="checkbox"/>	% analfabetismo funcional	0,30	1,00	0,30
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de mortalidade infantil	0,20	0,20	0,04
Impacto	<input checked="" type="checkbox"/>	% de analfabetismo	0,30	0,80	0,24
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de PEA (População economicamente ativa)	0,30	0,20	0,06
	<input checked="" type="checkbox"/>	% da população com necessidades básicas insatisfeitas	0,30	0,50	0,15
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de da população abaixo da linha de pobreza	0,30	0,60	0,18
	<input checked="" type="checkbox"/>	% da população abaixo da linha de indigência	0,30	1,00	0,30
				$x_{AG} =$	0,29
Confirmar					

Figura 8: Valor do subíndice agravante para o 1ª caso e para os primeiros 75 anos do 3ª caso.

Fonte: Próprio Autor

A Figura 9 mostra a obtenção do índice atenuante, de acordo com a Eq. (6), usado no 1ª caso e nos primeiros 75 anos do 3ª caso:

Sub-Índice Atenuantes						Entrada de Dados	
Marco Ordenador		Descrição da Variável	$x_{AT,i}$	$P_{AT,i}$	$x_{AT,i} * P_{AT,i}$	Gáfico	
Estado	<input checked="" type="checkbox"/>	Nº de organismos estatais, e instituições de investigação dedicadas a recuperação de terras secas	-0,50	0,20	-0,10		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Nº de ONG dedicadas a recuperação de terras secas	-0,50	0,10	-0,05		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Acesso a Saúde	-0,30	1,00	-0,30		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Presença serviços básicos	-0,30	1,00	-0,30		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Acesso ao crédito	-0,50	0,80	-0,40		
Resposta	<input checked="" type="checkbox"/>	Currículos escolares que incorporam o tema ambiental	-0,20	1,00	-0,20		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Número de instituições vinculadas ao estudo da água	-0,20	0,20	-0,04		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Existência de normas vinculada a água a nível nacional/ regional	-0,20	0,20	-0,04		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Número de instituições vinculadas ao estudo do solo	-0,60	0,20	-0,12		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Existência de normas vinculada ao solo a nível nacional / regional	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Número de instituições vinculadas ao estudo da flora e fauna	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Existência de normas vinculada a flora e fauna a nível nacional/ regional	-0,30	0,10	-0,03		
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de terras secas recuperadas ou em processo de recuperação	-0,30	1,00	-0,30		
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de área com reservas existentes e projetadas	-0,30	0,80	-0,24		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Existência de leis nacionais e regionais vinculadas a degradação de terras	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Nº de organizações e programas dedicados a trabalhar em problemas em terras secas	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Nº de instituições e projetos associados a financiamentos do PAN	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Planos e Programas de Desenvolvimento regional que integram o tema de desertificação	-0,30	1,00	-0,30		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Montante de fundos estaduais, nacionais e internacionais destinados a financiamentos de projetos PAN	-0,30	0,80	-0,24		
	<input checked="" type="checkbox"/>	% da população sob projetos de controle da desertificação.	0,00	0,00	0,00		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Número de organizações ativas	-0,30	0,20	-0,06		
	<input checked="" type="checkbox"/>	% de líderes mulheres	-0,30	0,10	-0,03		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de organizações de base	-0,30	0,10	-0,03		
							$X_{AT} =$
							Confirmar

Figura 9: Valor do subíndice atenuante para o 1ª caso e para os primeiros 75 anos do 3ª caso.

Fonte: Próprio Autor

Para o 2º caso e para os 75 anos seguintes do 3º caso (processos de desertificação atenuantes) foram realizados os mesmos procedimentos de obtenção dos subíndices agravante e atenuante do 1ª caso e dos primeiros 75 anos do 3ª caso. Os valores resultantes para os subíndices agravante (X_{AG}) e atenuante (X_{AT}) são mostrados na Tab. (7).

Tabela 7: Conceitos adotados para o índice de desertificação (ID)

Sub-Índice	Valor
Agravante (X_{AG})	0,18
Atenuante (X_{AT})	-1,00

Fonte: próprio autor

A Figura 10 mostra os resultados do índice de desertificação para os três casos considerados.

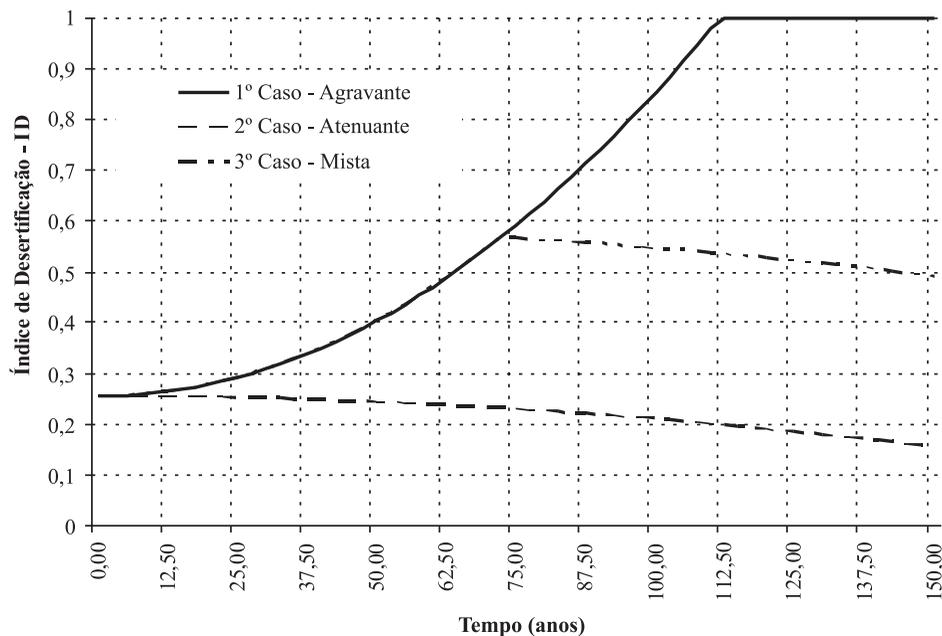


Figura 10: Evolução do processo de desertificação para as três situações hipotéticas

Fonte: Próprio Autor

Ainda foi feita uma verificação de quanto tempo levaria, mantendo as variáveis agravantes e atenuantes com os mesmos valores da terceira situação, para que o processo de desertificação fosse revertido ao valor inicial, após 75 anos em processo de agravamento. Constatou-se que seriam necessários 205 anos para a reversão ao patamar inicial. A Figura 11 mostra o resultado.

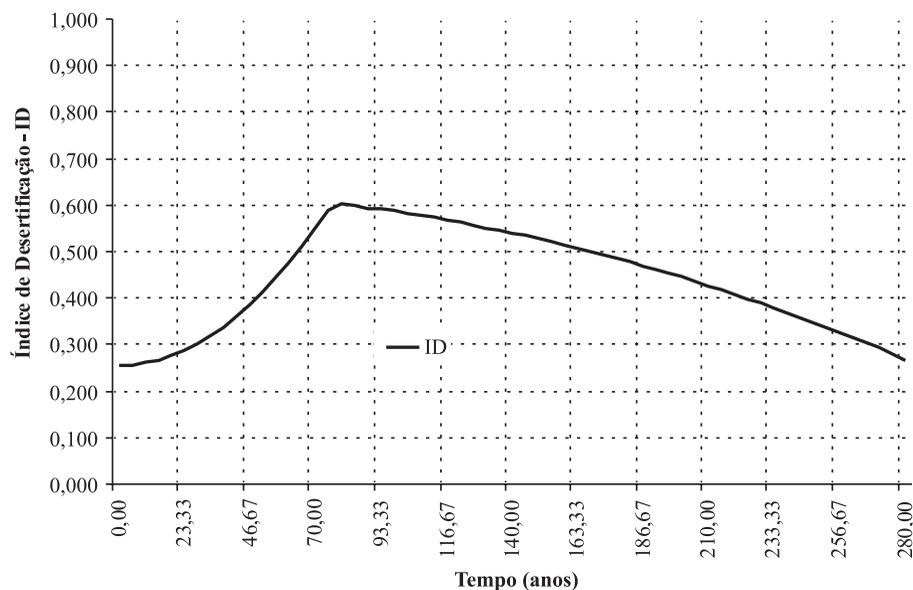


Figura 11: Evolução do processo de desertificação para convergência entre início e fim do processo.

Fonte: Próprio Autor

Observa-se que seriam necessários 205 anos para que, nas mesmas condições mitigantes, o processo fosse revertido.

4. Conclusão

O modelo e seu respectivo sistema de computação de ID sugerem boa aplicabilidade para as hipóteses adotadas. Verificou-se que tanto no caso de agravamento como no de abrandamento do processo de desertificação há uma aceleração no decorrer do tempo. Observou-se ainda, ao comparar o 2º caso de abrandamento do processo, com o 3º caso, de agravamento seguido de abrandamento, que a dificuldade de reversão de um processo se agrava à medida que as respostas são implantadas em um estágio mais grave do mesmo.

Constatou-se, ainda, que seriam necessários 205 anos para reversão, aos patamares iniciais, de um processo de desertificação ascendente durante 75 anos. Isto em parte se deveria, provavelmente, à grande quantidade de variáveis que impactam o modelo proposto, com valores agravantes em relação àquelas que impactam com valores atenuantes.

O sistema proposto pode ser uma ferramenta útil para a construção de cenários acerca de processos de desertificação, visto que são considerados praticamente todos os fatores antrópicos e climáticos responsáveis pelo fenômeno. Além disto, pode subsidiar investigações e programas de controle, cotejando as informações simuladas com dados concretos. Desta forma, enseja-se a validação do modelo, com base em estudos delimitadores dos valores das constantes de correlação e dos fatores de ponderação, de forma que a subjetividade na quantificação deles seja minimizada.

Referências

- ABRAHAM, E. M. Indicadores de desertificación para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú. In: ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. (Ed.). *Indicadores de la desertificación para América del Sur: recopilación y armonización de indicadores y puntos de referencia de la desertificación a ser utilizados en el programa “Combate a la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía en América del Sur”*. Mendoza: Martín Fierro, 2006. p. 189-207.
- ABRAHAM, E. M.; MACCAGNO, P. Los resultados obtenidos por los países: indicadores y puntos de referencia de la desertificación a nivel nacional y local en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Peru. In: ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. (Ed.). *Indicadores de la desertificación para América del Sur: recopilación y armonización de indicadores y puntos de referencia de la desertificación a ser utilizados en el programa “Combate a la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía en América del Sur”*. Mendoza: Martín Fierro, 2006. p. 141-188.
- CARLOS, C. S. G. *Tempo de extinção para populações em ambiente aleatório*. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada). Évora, Portugal: Universidade de Évora. 2003. 98 f. Disponível em: <http://home.uevora.pt/~braumann/project_papers/Carlos-master_thesis.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2010.
- CAZALAC. *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*. [200-]. 66 p. Disponível em <http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapo_ZA_ALC.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2009.
- DGOTUD. *Combate à desertificação: orientações para os planos regionais de ordenamento do território*. Lisboa, Portugal, 2007. 32 p. Disponível em <http://www.dgotdu.pt/filedownload.aspx?schema=ec7b8803-b0f2-4404-b003-8fb407da00ca&channel=C4193EB3-3FA7-4C98-B8CA-D6B9F5602448&content_id=CEF514B0-ED55-4DB6-A56A-B8D63BFEBDE&field=file_src&lang=pt&ver=1>. Acesso em: 7 de ago. 2008.
- GIUPPONI, C et al. *Sustainable management and decision making*. In: GIUPPONI, C. et al.(Ed.). *Sustainable management of water resources: an integrated approach*. Masssachusetts, USA: Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). 2006. Part III, Chapter. 4, p. 74-97.
- IICA. *Programa de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca na América do Sul: histórico*. Disponível em <<http://www.iicadesertification.org.br/lendo.php?sessao=ODU>>. Acesso em: 17 set. 2009.
- LUNA, R. M. *Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica (IPH) para o semi-árido brasileiro*. 2007. 138 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- MALTHUS, T. *An essay on the principle of population*. Printed for J. Johnson, in St. Paul’s Church-Yard. 1798. Published electronically for Electronic Scholarly Publishing Project. London. 1998. Disponível em: <<http://www.esp.org/whatsnew/>>

>. Acesso em: 18 mar. 2008.

MATALLO JUNIOR, H. *Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas*. Brasília, DF: UNESCO, 2001. 119 p.

MORALES E, C. Pobreza, desertificación y degradación de tierras. In: MORALES, C.; PARADA, S. (Ed.). *Pobreza desertificación y degradación de los recursos naturales*. Santiago de Chile: CEPAL. 2005. Cap. I, p. 25-58.

NUNES, R. R. *Dinâmica de populações: um breve histórico*. III Bienal da SBM-IME/UFG, Goiânia, Goiás. 2006. Disponível em: <<http://www.inf.unioeste.br/~rogerio/EDO-dinamica.populacional3.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2010.

PAN-BRASIL. *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2005. 213 p.

UNCCD. *Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação*. 3. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, [1994?]. 171 p.