**Apêndice: ODD protocol**

**1. Objetivo**

O modelo tem o propósito de investigar o efeito da plasticidade comportamental dos indivíduos na resiliência da comunidade.

**2. Entidades, Variáveis de estado e Escalas**

Há dez entidades no modelo: quatro espécies produtores primários (plantas), três espécies consumidores primários (herbívoros) e três espécies de consumidores secundários (carnívoros).

Plantas (unidades espaciais): as plantas têm quatro variáveis de estado:

* Localização: representa a posição das plantas no plano XY.
* Cores: as cores são utilizadas para diferenciar as espécies em nosso sistema (uma cor por espécie).
* Contagem regressiva: número de passos temporais necessários para que os indivíduos de uma determinada espécie se regenerem e nasçam. Indivíduos mortos tem cor marrom. Em sistemas com plasticidade nos indivíduos, colocamos para estes renascerem depois de 5 passos (ticks) após serem comidos. Nos sistemas sem plasticidade, as espécies renasciam 10 passos após serem comidos. A diferença no tempo de renascimento de ambos se deve ao fato do sistema, na plataforma do Netlogo “Behavioral Space”, se manter estabilizado (com as 10 espécies vivas após 500 passos de tempo) apenas nesse tipo de combinação de parâmetro ambiental. Programamos o código de forma que, na maioria dos casos, a espécie do indivíduo que vai nascer em um local é determinada pela espécie mais abundante na vizinhança dele. Como o processo é probabilístico, ainda há possibilidade de colonização e novas manchas.
* Distúrbio: o distúrbio é gerado no software (GradientLand). Após ser gerado, o output do distúrbio é utilizado no Netlogo (input). As células espaciais destruídas por este ficam de cor preta, sendo que quando este distúrbio ocorre todos os seres vivos atingidos naquele espaço do nosso sistema morrem. Neste espaço não nasce mais plantas (distúrbio do tipo “press”). Os distúrbios destruídos tiveram a seguinte característica: índice de Hurst de 0.3 e 0.7 e grau do distúrbio que mantinha 70% e 25% da vegetação nativa. Fizemos 1000 simulações por combinação de nível de fractalidade e de grau do distúrbio, cada simulação desta derivada de um arquivo (.txt) gerado no software Gradientland, desta forma tínhamos 1000 arquivos em 1000 simulações, sendo que 200 arquivos destes apresentavam distúrbios com estruturas diferentes e únicas – o restante dos arquivos eram réplicas de cada um destes. Fizemos isso para que o efeito encontrado derivasse do grau e da fractalidade do distúrbio – isso evita que nosso resultado procedesse de uma configuração de distúrbio específica, confundindo-o (viés).

Consumidores primários e secundários: têm 17 variáveis de estado.

* ID: Cada indivíduo tem uma identidade própria.
* Cores: as cores são utilizadas para diferenciar visualmente as espécies em nosso sistema (uma cor por espécie).
* Breed: utilizado para diferenciar as espécies por código e determinar as características que cada uma terá.
* Heading: direção para a qual o indivíduo vai andar. Faz se um sorteio de um valor dentro de 100 graus (50 graus à direita e 50 graus à esquerda), o valor sorteado e a direção será o local para onde o indivíduo se locomoverá. Com isso programamos um movimento chamado caminhada aleatória correlacionada. Os indivíduos dão passos espaciais de tamanho 1 – a cada passo o indivíduo gasta energia para andar (menos 1 de energia + o valor do custo de ele ter plasticidade – caso assim tenha).
* Localização: representa a posição dos indivíduos no plano XY.
* Idade: Quão velho os indivíduos são. Idade máxima 100 anos, após passarem desta idade eles morrem.
* Forma: Podem ter forma de ovelhas ou lobos (a forma serve para diferir quem é predador e quem é presa).
* Hidden: Indica se a espécie está escondida. Em nosso caso algumas espécies aleatoriamente podem ocupar o espaço de outra. Com isso a espécie pode estar escondida ou a vista, essa variável serve apenas para classificação e não tem muito uso.
* Tamanho: os indivíduos do sistema têm 1.5 de tamanho. Este tamanho é o suficiente visualmente para identificar os indivíduos.
* Energia: Quantidade de energia que cada indivíduo tem no sistema. Esse valor deriva de um parâmetro chamado valor de ganho por comida (fixado no sistema). Para definição da energia inicial que o indivíduo tem no começo do modelo, é feito o seguinte cálculo: sorteio de um valor abaixo do valor de ganho estabelecido multiplicado por dois. Esse número sorteado será a energia inicial que o indivíduo tem (distribuição uniforme). Quando os indivíduos estão se locomovendo e vão se alimentar, a energia que ele já tem será somada a esse valor de ganho por comida (esse valor de ganho é dividido pelo número de espécies que essa espécie pode comer). Isso representa a energia ganha por comer um indivíduo e o custo de ser generalista (ver mais em: custo do generalismo).
* Nível trófico: Indica nominalmente se a espécie é consumidor primário ou secundário. Utilizamo-nos disso para implementar características gerais de cada nível trófico (ex: plasticidade média diferente e custo da plasticidade).
* Reprodução: Para cada sistema com custo da plasticidade diferente, tivemos uma combinação de parâmetro ambiental específica na simulação, consequentemente também tivemos uma taxa reprodutiva diferente. Isso variou porque na plataforma “behavioral space” do Netlogo o sistema só se estabilizava em condições de custos diferentes na plasticidade. As combinações foram: (i) custo baixo - 25% ovelhas e 5% lobos (12 combinações de variáveis preditoras) – essa taxa também serviu para sistemas sem plasticidade (4 combinações de parâmetros de variáveis preditoras); e (ii) custo alto - 25% ovelhas e 10% lobos (12 combinações de parâmetros das variáveis preditoras). Os passos para a reprodução do indivíduo são: na situação em que o indivíduo tinha energia maior que 10, era feito sorteio de um valor em 100 possíveis valores por passo de tempo, caso o valor sorteado seja menor que a taxa reprodutiva estabelecida (maior taxa, maior chance de reprodução) o indivíduo se reproduzia. Essa reprodução é por bipartição, sendo que a energia do indivíduo reprodutor é diminuída em 10. Para o que nasce a energia é de 5, a idade é 0 e o primeiro passo deste é para algum local ao acaso dentro de um ângulo de 360 graus.
* Plasticidade: Os indivíduos aumentam a capacidade de locomoção quando estão com pouca energia (<5) e com o habitat destruído (por ser comido em excesso ou por um distúrbio, há necessidade de ter >=5 vizinhos mortos da cor marrom ou preta). Queríamos capturar o efeito dos diferentes níveis de plasticidade na resiliência do sistema, para isso separamos em 3 níveis: baixa, média e alta plasticidade. Cada nível desses representava a capacidade máxima de locomoção por passo de tempo, os indivíduos em um ambiente não perturbado davam passo de distância 1 por passo de tempo. Quando os indivíduos expressavam sua plasticidade, em contexto de baixa plasticidade, a capacidade máxima de locomoção aumentava para passo de distância 2 para consumidores primários e 3 para consumidores secundários por passo de tempo, em caso de média plasticidade o passo máximo era de distância 5 para os consumidores primários e 6 para os consumidores secundários e em alta plasticidade o passo máximo era de distância 8 para os consumidores primários e 9 para os consumidores secundários – separação da plasticidade entre níveis tróficos serviu para representar a variabilidade natural que grupos diferentes têm em sua plasticidade. Cada simulação começava com um desses níveis de plasticidade e os indivíduos tinham um valor de capacidade máxima da dispersão sorteado para terem e expressarem caso necessário. O valor sorteado era próximo ao do grau de plasticidade estabelecido no inicio da simulação (distribuição normal com baixo desvio padrão – 0.2). Em contextos de distúrbio, o deslocamento dos indivíduos sempre são em direção as plantas, sendo que o limite é o tamanho máximo do deslocamento. Além disso, rodamos também um modelo sem plasticidade e sem custo. Neste modelo o padrão de dispersão acima se manteve (caminhada aleatória correlacionada), porém os indivíduos não respondiam e nem aumentavam a capacidade de dispersão (sem custo do deslocamento) – também não tinham o custo energético de ser plástico.
* Custo da plasticidade: Estabelecemos um custo energético de 0.2 para consumidores primários e 0.3 para consumidores secundários em contexto de baixo custo e de 0.8 para consumidores primários e 0.9 para consumidores secundários em contexto de alto custo – este valor representava o quanto o indivíduo gastaria de energia a mais ao se locomover pelo fato de ter plasticidade.
* Custo do salto: Programamos o custo do deslocamento plástico como um custo energético que varia de acordo com o tamanho do deslocamento (tamanho do deslocamento dividido por 10).
* Custo do generalismo: O custo do generalismo também é energético – quanto mais generalista, menos energia é ganha por indivíduo comido. O número da energia que o individuo ganhará no final é valor de ganho por comida dividido pelo número de espécies que essa espécie pode comer.
* Morte: os indivíduos morrem quando são comidos, quando suas energias acabam ou quando estão na idade limite máxima.

**3. Visão geral e agendamento de processos**

O tempo é discreto e a simulação termina no passo 1000. Os agentes agem ao acaso a partir de seu estado interno (comendo, reproduzindo, morrendo e locomovendo) – sempre interagindo com o mundo. A simulação passa de tempo em tempo automaticamente, esta só finaliza quando o passo estabelecido para o modelo parar é alcançado (1000). O modelo roda de acordo seguindo os passos abaixo:

* 1. Movimento, alimentação, reprodução e morte: O sistema começa a funcionar no tempo 1 (tick 1). Os indivíduos consumidores se movimentam a partir da caminhada aleatória correlacionada (gastando energia), comem, reproduzem e morrem (de velhice, predado ou com falta de energia). Já as plantas morrem comidas e podem se regenerar (morte e nascimento).
  2. Distúrbio: depois de um determinado número de passos em que o sistema se estabiliza (antes dos 500 ticks), sem nenhuma espécie ser extinta, o distúrbio surge nos 500 ticks, matando assim todas as espécies de determinada área geográfica na qual esta foi posta.
  3. Resiliência: após o sistema ser perturbado (501 ticks), deixamos alguns passos temporais (até 999 ticks) para ele se estabilizar novamente (estado resiliente, alternativo ou em extinção). Salvamos os valores necessários (valor de Shannon pré-distúrbio nos 500 ticks e pós-distúrbio nos 999 ticks), sendo que no tick 1000 a simulação para.
  4. Output: após a estabilização inicial, no tick 500 registramos no excel a o índice de Shannon (diversidade). Depois do distúrbio (501 ticks), esperamos o sistema se reorganizar novamente e salvamos o valor de Shannon (tick 999 – valores pós-distúrbio).
  5. Análise de dados: utilizaremos os dados extraídos do modelo para analisar os dados estatisticamente e graficamente.

**4. Design conceitual**

* *Princípios básicos:* Os ambientes naturais têm sofrido rápidas mudanças causadas por seres humanos (HIREC), ter plasticidade comportamental nesta situação pode ser benéfico para espécies com alta plasticidade, dado que há uma chance maior de apresentar uma resposta adequada ao distúrbio (Wong e Candolin 2015). Com isso, a comunidade pode ser mais resiliente e ter capacidade de voltar ao estado anterior em comparação com sistemas em que os indivíduos têm uma baixa plasticidade ou não possuem esta.
* *Emergência.*Esperamos que sistemas com indivíduos com maior grau de plasticidade média sejam mais resilientes.
* *Adaptação.*Os indivíduos não se adaptam – não há possibilidade de especiação, apenas de extinção.
* *Objetivos*. Os agentes não têm objetivos de estado.
* *Aprendizagem.* Os indivíduos não aprendem.
* *Predição*.Os indivíduos não tem predição.
* *Sentido.*  A espécie de planta que vai nascer, na maioria dos casos, é definida com base na espécie que tem o predomínio da vizinhança deste. Os indivíduos sentem quando seu estão em um local perturbado ou quando há alimento para comer. Os indivíduos conseguem reconhecer a área ao redor dele.
* *Interação*. Os indivíduos se alimentam e se reproduzem.
* *Estocasticidade*.Quase todos os processos são estocásticos. Movimentar-se é ao acaso. Nascimento é ao acaso. Reprodução é ao acaso (com base nas taxas já citadas). Valor de plasticidade que o indivíduo expressará é ao acaso. Distribuições iniciais espaciais são acaso.
* *Collectives*. Os indivíduos das espécies de planta tendem a se agrupar com indivíduos da mesma espécie.
* *Observação*.No fim da simulação os valores do índice de Shannon são selecionados e analisamos esses dados externamente.

**5.Inicialização**

No passo zero, surgem 150 indivíduos de cada espécie de lobos e ovelhas (900 indivíduos no total) e 10000 plantas (distribuídos equitativamente por espécie) – com base no tamanho de mundo (100x100). Cada planta surgia em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definidas, com um valor inicial de regeneração fixa para que caso ela seja comida se regenere – estas plantas eram caracterizadas como célula espacial não impactada. Os consumidores surgiam: em uma coordenada XY ao acaso, com suas cores definidas, com o valor do passo que será dado quando rodar o modelo, sua forma (lobo ou ovelha), sua identidade, nome da breed, classificada como estando ou não escondida, com um tamanho fixo definido, com um valor de energia distribuído ao acaso (conforme citado acima), com idade 0 e com o nível trófico definido. Além disso, estão fixados no inicio do modelo os valores da plasticidade média, dos custos e da reprodução.

**6. Dados de entrada**

O dado de entrada utilizado foi o distúrbio (fragmentação) gerado em um arquivo no formato (.txt). O arquivo foi gerado no Gradientland porque este é um programa especializado em geração de distúrbios de graus diferentes e com propriedades fractais diferentes – a estrutura final (.txt que selecionamos) é gerada a partir das evoluções graduais do distúrbio.

**7. Submodelos**

Tivemos 28 combinações de variáveis explicativas diferentes. Nossos submodelos foram os cálculos relacionados à diversidade da comunidade que fizemos.

Relative abundance = abundance-specie / abundance-total (for each specie)

Total abundance = abundance-turtles + abundance-patches

Richness = count species that be live (each specie = 1, sum of values).

Shannon index = -∑ specie . Pi . LogNaturalpi (somatória do pi de cada espécie multiplicado por logaritmo natural do pi de cada espécie).

Pielou index = Shannon / Logaritimic Natural Richness.