



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**Modelos qualitativos para investigar o ciclo de vida e a influência
de atividades antrópicas sobre os biótopos de Pirá-Brasília -
Simpsonichtys boitonei - em Brasília, DF**

Orientando: Henrique Anatole Cardoso Ramos

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ecologia

Brasília, 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**Modelos qualitativos para investigar o ciclo de vida e a influência
de atividades antrópicas sobre os biótopos de Pirá-Brasília -
Simpsonichtys boitonei - em Brasília, DF**

Orientando: Henrique Anatole Cardoso Ramos

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ecologia da Universidade de
Brasília como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do título de Mestre em
Ecologia

Brasília, 2010

HENRIQUE ANATOLE CARDOSO RAMOS

Modelos qualitativos para investigar o ciclo de vida e a influência de atividades antrópicas sobre os biótopos de Pirá-Brasília - *Simpsonichtys boitonei* - em Brasília, DF

Dissertação submetida como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília.

Orientador:

Prof. Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles

Banca examinadora:

Prof. Oscar Akio Shibatta (membro externo)

Profª. Mercedes Maria da Cunha Bustamante (membro interno)

Prof. Carlos Hiroo Saito (suplente)

Brasília, 30 de Abril de 2010

Esse trabalho é dedicado àqueles que continuam pensando e agindo em defesa do meio ambiente e de um futuro melhor para os que virão depois de nós.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jacques Anatole e Regina Célia, pelo carinho, e pelas oportunidades que me propiciaram;

À minha mulher, Mariana, pela paciência e companhia de todas as horas;

À minha filha, Lara, pela alegria que trouxe e ainda há de trazer;

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Ecologia da UnB pelo conhecimento compartilhado;

Ao meu orientador, Paulo Salles, pelo apoio e dedicação em todas as etapas desse trabalho;

Aos meus chefes e colegas de Ibama, Clemeson, Cosette, Hummel, José Dias e José Humberto, pela confiança e apoio que permitiram conciliar o trabalho e os estudos;

Aos colegas da UnB e do IBAMA que de alguma forma ajudaram nesse trabalho, avaliando os modelos, saindo a campo ou discutindo as ideias. Em especial: Aline, Anderson, Bruno, Isabella, Jacqueline, Michel, Pedro, Thiago e Yuri.

A todos os que vieram antes de mim, e construíram as bases do conhecimento sobre as quais esse trabalho foi desenvolvido.

ÍNDICE

RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Hipótese.....	18
1.2 Perguntas de pesquisa.....	18
1.3 Objetivos do trabalho	19
2. O PIRÁ-BRASÍLIA	20
2.1 Sistemática	20
2.2 Biologia da espécie.....	21
2.2.1 Desenvolvimento embrionário	22
2.2.2 As fases de diapausa.....	25
2.2.3 Fatores ambientais e influência sobre a diapausa.....	27
2.2.4 Desenvolvimento de juvenis e adultos	31
2.2.5 Comportamento e reprodução	32
2.2.6 Mortalidade e interações interespecíficas.....	34
2.2.7 Interações biológicas	36
2.3 Áreas de Ocorrência	37
2.4 Importância dos ambientes aquáticos temporários.....	38
2.5 Caracterização das áreas.....	39
2.5.1 Clima	40
2.5.2 Problemas ambientais.....	41
2.5.3 A micro-bacia do Riacho fundo	43
2.5.4 A micro-bacia do Ribeirão do Gama.....	46
2.5.5 Os biótopos do Pirá-Brasília	47
2.6 Processos ecológicos associados a ambientes aquáticos temporários	48
2.6.1 Fatores hidrológicos	49
2.6.2 Características físicas e químicas da água.....	51
2.6.3 Processos biológicos	53
2.6.4 Fatores externos.....	56
2.7 Status de conservação.....	59
2.8 Criadores e Aquarismo.....	63
3. MATERIAL E MÉTODOS	66
3.1 Saídas de campo	66
3.2 Modelagem Qualitativa.....	67

3.2.1 A Teoria Qualitativa dos Processos.....	68
3.2.2 Construção do modelo.....	71
3.2.3 Cenários e Simulações	74
3.2.4 Validação do modelo.....	76
4. RESULTADOS.....	77
4.1 Saídas de campo	77
4.2 Usuários e objetivos do modelo	82
4.3 Modelo 1: O Ciclo de vida do Pirá-Brasília.....	82
4.3.1 Modelo verbal	82
4.3.2 Pressupostos utilizados.....	83
4.3.3 Entidades, Agentes e Configurações.....	84
4.3.4 Quantidades e espaços quantitativos	85
4.3.5 Fragmentos de modelo	86
4.4 Modelo 2 – Problemas ambientais envolvendo biótopos de peixes anuais.....	94
4.4.1 Modelo verbal	94
4.4.2 Pressupostos utilizados.....	96
4.4.3 Entidades, Agentes e Configurações.....	97
4.4.4 Quantidades e espaços quantitativos	98
4.4.5 Fragmentos de modelo	101
4.5 Principais simulações	108
4.5.1 O ciclo de chuvas e o biótopo	109
4.5.2 Eclosão durante chuvas rápidas.....	111
4.5.3 Chuvas prolongadas e invasão do biótopo	114
4.5.4 Ciclo completo sem invasão de outras espécies.....	117
4.5.5 Carreamento de lixo em cenário de chuva crescente.....	121
4.5.6 Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental	124
4.5.7 Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo.....	128
4.5.8 Ocupação de APPs em área urbana.....	131
4.5.9 Agropecuária com população humana crescente	133
4.5.10 Construção de lagos e reservatórios	136
4.6 Validação do modelo.....	138
5. DISCUSSÃO.....	140
5.1 Modelos e papers relacionados	140
5.2 Sobre os resultados obtidos com os modelos	142
5.3 Problemas e soluções encontradas no processo de modelagem	145
5.4 Considerações sobre conservação da espécie.....	148

5.5 Estratégias para conservação.....	149
5.6 Importância dos modelos e considerações finais	155
6. CONCLUSÕES.....	157
BIBLIOGRAFIA.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Simpsonichthys boitonei</i> , macho, UFRJ 6348, topótipo, 26.1 mm SL; Brasil: Distrito Federal: Brasília (Costa, 2007).....	21
Figura 2. <i>Simpsonichthys boitonei</i> , fêmea, UFRJ 6348, topótipo, 26.1 mm SL; Brasil: Distrito Federal: Brasília (Costa, 2007).....	21
Figura 3: Bacia do Lago Paranoá – Carta de unidades hidrográficas (extraído de Ferrante <i>et al.</i> (2001)	42
Figura 4: Diagrama com fatores que influenciam a sobrevivência do Pirá-Brasília.....	49
Figura 5: Componentes básicos do ciclo de escoamento que contribui para a formação de ambientes aquáticos temporários (Williams, 2006)	50
Figura 6: Exemplar da reportagem de Messerschmidt (2002)	63
Figura 7: Exemplar ilustrado de Schenkel e Brummer (2003).....	63
Figura 8: Exemplar de um aquarista alemão (Lettner, 2007).....	63
Figura 9: Exemplo de fragmento de modelo	74
Figura 10: Nascentes do Riacho Fundo.....	79
Figura 11: Drenagem de água encontrada nas áreas invadidas do córrego do Guará.....	79
Figura 12: Brejo de nascentes na região da ARIE Santuário do Riacho Fundo.....	79
Figura 13: <i>Hasemanianus hansenii</i> em um poço nos brejos da ARIE Santuário do Riacho Fundo	79
Figura 14: Vista parcial do biótopo adentrando a mata ciliar.....	81
Figura 15: <i>Bacopa</i> sp. observada na área aberta da poça	81
Figura 16: Girino simpátrico ao Pirá-Brasília	81
Figura 17: Hirudínea encontrada na poça.....	81
Figura 18: Foto do biótopo em escala 1:700	81
Figura 19: Arvore de entidades	84
Figura 20: Arvore de agentes.....	84
Figura 21: Entidades, Agentes e configurações no modelo	85
Figura 22: F02b Massa d'água influencia umidade do substrato	87
Figura 23: F03a Estações alteram precipitação e fotoperíodo.....	88
Figura 24: F05d Quantidade de embriões em diapausa III constante ou diminuindo e umidade influenciam a taxa de embriogênese.....	89
Figura 25: F07a Peixes inibem natalidade de embriões em Diapausa III	90
Figura 26: F07d Área alagada influi na taxa de mortalidade de peixes	91
Figura 27: F11d Oxigênio no substrato influi na <i>Taxa de Embriogênese</i> se estiver aumento .	92
Figura 28: F13a <i>Quantidade</i> de embriões em Diapausa II maior que zero e aumentado, <i>Fotoperíodo</i> aumentando e <i>Oxigênio no substrato</i> são condições para que o fotoperíodo influencie a taxa de embriogênese.....	93
Figura 29: F07j Outros peixes influem na mortalidade dos peixes anuais.....	94
Figura 30: Arvore de entidades	97
Figura 31: Arvore de agentes.....	97
Figura 32: Entidades, Agentes e configurações no modelo	98
Figura 33: F13f Conectividade entre biótopos e biodiversidade na bacia hidrográfica	101
Figura 34: F02 Processo de escoamento da água e formação da enxurrada.....	103

Figura 35: F07a Cálculo da <i>Taxa de Desmatamento</i> em APP	104
Figura 36: F12 Processo de erosão em APP	105
Figura 37: F07e Cálculo da água drenada na bacia	106
Figura 38: F10k Cálculo da Taxa de supressão em áreas úmidas	107
Figura 39: Cenário inicial para ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’	109
Figura 40: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’	110
Figura 41: Modelo causal para o estado [6] da simulação de ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’	110
Figura 42: Diagrama da história de valores das quantidades, obtidos na simulação do cenário ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’	111
Figura 43: Cenário inicial para ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’	111
Figura 44: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’	113
Figura 45: Modelo causal para o estado [23], obtido na simulação do cenário ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’	113
Figura 46: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’	114
Figura 47: Cenário inicial para ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’	115
Figura 48: Modelo causal para o estado [145], obtido na simulação do cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’	116
Figura 49: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’	117
Figura 50: Cenário inicial para ‘C09 ciclo completo’	118
Figura 51: Modelo causal para o estado [198] obtido na simulação do cenário ‘C09 ciclo completo’	119
Figura 52: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C09 ciclo completo’	120
Figura 53: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C09 ciclo completo’	121
Figura 54: Cenário inicial para ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’..	122
Figura 55: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’	122
Figura 56: Modelo causal para o estado [19], obtido na simulação do cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’	123
Figura 57: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’	123
Figura 58: Cenário inicial para ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’	125
Figura 59: Modelo causal para o estado [23], obtido na simulação do cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’	126
Figura 60: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’	127

Figura 61: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’	128
Figura 62: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08b Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo’	130
Figura 63: Cenário inicial para ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’	131
Figura 64: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’	132
Figura 65: Modelo causal para o estado [19], obtido na simulação do cenário ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’	132
Figura 66: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário C09 ciclo completo	133
Figura 67: Cenário inicial para ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’	134
Figura 68: Grafo de comportamento para simulação do cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’	135
Figura 69: Modelo causal para o estado [36], obtido na simulação do cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’	135
Figura 70: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’	136
Figura 71: Cenário inicial para ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’	137
Figura 72: Modelo causal para o estado [32], obtido na simulação do cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’	138
Figura 73: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’	138

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tempo de desenvolvimento de embriões <i>Austrofundulus myersi</i> a 25°C (adaptada de Wourms 1972a)	24
Tabela 2: Alterações ambientais e possíveis consequências em bacias hidrográficas.	58
Tabela 3: Pressupostos utilizados no modelo	84
Tabela 4: Quantidades utilizadas no modelo	85
Tabela 5: Pressupostos utilizados no modelo	96
Tabela 6: Quantidades utilizadas no modelo	98
Tabela 7: Resumo da simulação do cenário ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’	109
Tabela 8: Resumo da simulação do cenário ‘C04b eclosão durante chuvas baixas’	112
Tabela 9: Resumo da simulação do cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’	115
Tabela 10: Resumo da simulação do cenário ‘C09 ciclo completo’	118
Tabela 11: Resumo da simulação do cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’	121
Tabela 12: Resumo da simulação do cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’	124
Tabela 13: Resumo da simulação do cenário ‘C08b Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo’	128
Tabela 14: Resumo da simulação do cenário ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’	131
Tabela 15: Resumo da simulação do cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’	134
Tabela 16: Resumo da simulação do cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’	137

RESUMO

O Pirá-Brasília (*Simpsonichthys boitonei* Carvalho, 1959) é um peixe anual endêmico do Distrito Federal, no Brasil. A espécie foi originalmente descrita a partir de exemplares coletados em uma poça temporária localizada na área onde posteriormente o Jardim Zoológico de Brasília seria construído. Devido à ocupação humana na área de distribuição da espécie, acompanhada, frequentemente, da degradação ou destruição dos biótopos, atualmente o Pirá-Brasília é considerado ameaçado de extinção. Sua distribuição restringe-se a poças temporárias nas áreas de várzea na porção sul da bacia do Rio Paranoá, nas micro-bacias dos córregos Riacho Fundo (onde apenas uma população é conhecida) e Ribeirão do Gama (onde duas populações são conhecidas). O presente trabalho descreve dois modelos conceituais de simulação baseados em Raciocínio Qualitativo, uma área da Inteligência Artificial que cria representações de aspectos contínuos do mundo sem utilização de dados numéricos. A hipótese deste trabalho é de que a representação formal de conhecimentos sobre o ciclo de vida, as interações ecológicas e os biótopos da espécie, consolidados pela construção dos modelos qualitativos, oferece bases teóricas para a formulação de estratégias de conservação da espécie. Os modelos têm por objetivo aumentar a compreensão sobre o ciclo vital do Pirá-Brasília e suas relações com o ambiente, para identificar pontos vulneráveis para sobrevivência da espécie, e englobam as principais fases do ciclo de vida do Pirá-Brasília, e os principais fatores de degradação e destruição dos habitats da espécie nas duas micro-bacias. Fica claro que todas as ameaças partem de ações deletérias sobre as diversas formas de vegetação às margens de corpos d'água, definidas pela legislação brasileira como Áreas de Preservação Permanente. Esse aspecto, abordado em um dos modelos, aponta para o fato de que a ameaça de extinção que paira sobre a espécie é reflexo do desrespeito crônico a leis ambientais e à falta de controle dos órgãos responsáveis, mesmo em situações nas quais todo o arcabouço legal necessário está bem estabelecido. Os modelos foram avaliados por técnicos em gestão do uso de recursos pesqueiros e por um especialista em peixes anuais, e considerados válidos para os objetivos a que se propunham, assim como o uso da modelagem qualitativa e do software Garp3 para fins de integração entre atores envolvidos nas mudanças de uso da terra e tomada de decisão sobre medidas de conservação de peixes anuais. A criação dos modelos permitiu sistematizar o conhecimento disponível sobre a espécie e os aspectos ambientais que a influenciam, formalizar o conhecimento disperso existente sobre o tema, explicar o comportamento observado das principais entidades do sistema que envolve a espécie e seus biótopos, prever o comportamento desse sistema em situações futuras e realizar experimentações para observar o comportamento do sistema, sem a necessidade de intervenções no mesmo.

ABSTRACT

The Pirá-Brasília (*Simpsonichtys boitonei* Carvalho, 1959) is an endemic annual fish of the Brazilian Federal District area. The species was originally described from specimens collected in a seasonal pond located where later the Brasília's Zoological Garden was built. Due to the human occupation on the species distribution area, accompanied, often, of the biotopes degradation or destruction, the Pirá-Brasília is considered threatened by extinction. Its distribution is restricted to temporary ponds in the lowland southern part of the Paranoá river basin, in the Riacho Fundo sub-basin (where only one population is known) and the Ribeirão do Gama sub-basin (where two populations are known). This work describes two conceptual simulation models based on Qualitative Reasoning, an area of Artificial Intelligence that creates representations of continuous aspects of the world without using numerical data. This work's hypothesis is that the formal representation of the knowledge about the life cycle, the ecological interactions and their biotope, consolidated by the construction of the qualitative models, can offer theoretical bases for strategies formulation for the species conservation. The models' objective are to increase the understanding about the Pirá-Brasília's life cycle and its relations with the environment, helping identify vulnerabilities for survival of species, and comprise all the development phases of the Pirá-Brasília and the main destruction and degradation agents on the species habitat on both sub-basins. It's clear that all threats come from deleterious actions on the many different vegetation forms on the water bodies' margins, defined as Permanent Preservation Areas (APP) by the Brazilian legislation. This aspect, addressed by one of the models, points out to the fact that the threatening with extinction of the species comes from the chronic disrespect to the environmental laws and the lack of control by the responsible government agencies - even when the necessary legal framework is well established. The models were evaluated by technicians on fishery resources management and by an expert in annual fishes, and were considered valid for the objectives they aimed to achieve, as well as the use of qualitative models and of the Garp3 software for the purposes of the integration among the actors involved in land use changes and in the decision-making on conservation measures of annual fishes. The models' creation allowed to systematize the available knowledge about the species and the environmental aspects that has influence on it, to formalize the scattered knowledge existing on the theme, explain the observed behavior of the main entities of the system which involves the species and their biotopes, predict the system behavior on future situations and perform experiments to observe the system behaviors, without the need for interventions on it.

1. INTRODUÇÃO

O Pirá-Brasília (*Simpsonichtys boitonei*) é um peixe anual endêmico da região do Distrito Federal. Foi descrito originalmente com base em uma população encontrada em uma poça temporária localizada na área onde foi construído o Jardim Zoológico de Brasília, e sua distribuição restringe-se à porção sul da bacia do Rio Paranoá, nas micro-bacias dos córregos Riacho Fundo e Ribeirão do Gama, em poças temporárias nas áreas de várzea.

Peixes anuais são assim chamados por completarem todo o ciclo de vida em ambientes aquáticos temporários, sendo encontrados em estágio adulto somente em breves períodos anuais (Myers, 1952 *apud* Costa, 2002). Vivem unicamente em corpos de água doce sazonais, como poças, brejos ou pequenas lagoas que obrigatoriamente secam em determinadas ocasiões do ano (Costa, 2002), geralmente entre julho e novembro (Costa, 2007).

A secagem completa de seu habitat leva todos os indivíduos da população à morte. Embriões, protegidos pela grossa camada externa dos ovos, entram em diapausa até o começo da temporada de chuvas (Costa, 2007). Nessa época, com o enchimento das poças, ocorre a eclosão dos ovos e o nascimento das larvas. A matéria orgânica concentrada nesses ambientes gera grande quantidade de alimento, o que propicia o crescimento acelerado dos alevinos, que, em algumas espécies, podem atingir a maturidade sexual em menos de dois meses, quando passam a desovar repetidas vezes até a próxima estação seca. A desova acontece em meio à lama, que serve de proteção mecânica e térmica aos ovos na temporada da seca.

Os biótopos típicos dos peixes anuais - poças temporárias em áreas alagáveis, várzeas, veredas e brejos de diferentes tipos - apresentam elevada importância ambiental, enquadrando-se entre as áreas-alvo da Convenção de Ramsar sobre Zonas Úmidas. Apesar da importância dessas áreas, as mesmas continuam correndo grandes riscos. Brejos e lagoas temporários têm sido drasticamente destruídos por meio de desmatamentos, drenagens e aterros, tanto pela expansão de áreas agropecuárias como pelo processo de urbanização.

Pouco se sabe sobre a sensibilidade de peixes anuais às alterações da qualidade da água ou à perda da cobertura vegetal circundante dos seus biótopos, e para agravar a situação, a grande maioria possui reduzidíssima área de distribuição (Costa, 2002). Por esse motivo, os peixes anuais representam o grupo mais ameaçado da ictiofauna nacional, e 52 espécies de

peixes anuais, entre elas o Pirá-Brasília, fazem parte da atual lista oficial de espécies aquáticas ameaçadas de extinção no país (Brasil, 2004).

Pelas características biológicas peculiares do Pirá-Brasília e dos biótopos onde vive, os mesmos podem ser influenciados diretamente por diferentes processos ecológicos ou antropogênicos. Por exemplo, o regime de chuvas influencia no índice e na época de eclosão de ovos, na secagem dos ambientes, na conectividade das poças com outros corpos d'água, trazendo outras espécies e modificando a composição química, ao mesmo passo que permite eventos de migração e colonização de novos ambientes.

Costa (2002) destacou alguns fatores que impõem sérios riscos de extinção às espécies de peixes anuais do Cerrado, entre eles a proliferação de vastas plantações de soja e de outras monoculturas, que acarretam desmatamentos, erosão e drenagem de áreas inundadas e o consequente desaparecimento total de biótopos dos peixes anuais. O grande número de barragens recentemente implementadas ou planejadas para esse bioma podem gerar grandes desastres à manutenção dos biótopos, já que inundam permanentemente as áreas planas adjacentes às margens dos grandes rios, exatamente o local onde se encontra a maior diversidade de peixes anuais. Além disso, essas ações podem afetar os biótopos na área de influência indireta devido a alterações no nível do lençol freático e nos pulsos de inundação.

Atividades de pecuária também tendem a reduzir a cobertura arbórea ao redor dos biótopos, acelerando o processo de secagem e introduzindo animais que consomem grandes quantidades de água e compactam o solo, fatores que reduzem a área propícia para a desova. Modificações na composição química do solo, contaminação por poluentes químicos e orgânicos e modificações diretas nos biótopos, também constituem fatores que influenciam a viabilidade e a sobrevivência das populações. Para aquelas espécies que vivem apenas no interior das florestas, o desmatamento provoca seu total desaparecimento (Costa 2002).

A expansão urbana traz consigo o aterramento de grandes áreas alagadas e nascentes (Costa 2002), a pavimentação, a impermeabilização do solo, a canalização dos rios e a poluição. Isso tudo pode gerar modificações no ciclo de seca – inundação ou mesmo a destruição dos biótopos.

Segundo reportagem de Messerschmidt (2002), com base em uma entrevista com o biólogo Mauro Lambert, na década de 80, principalmente por causa da poluição que atingiu as veredas próximas ao Riacho Fundo, área em que o Pirá-Brasília era encontrado com facilidade, o peixe desapareceu por uns tempos, levando pesquisadores a pensar que estava extinto. De fato, a espécie se encontra ameaçada de extinção e provavelmente se encontra extinta em sua localidade-tipo, na região do atual Jardim Zoológico de Brasília (Shibatta,

2005). Sua conservação depende fortemente da manutenção de áreas de proteção ambiental (Costa, 2002)

Duas populações são conhecidas para a Reserva Ecológica do IBGE – RECOR, localizada na micro-bacia do Ribeirão do Gama. Essas populações encontram-se geograficamente isoladas da região do Riacho Fundo, localidade-tipo da espécie. É possível que a distribuição da espécie se estendesse a uma parte da área alagada pelo Lago Paranoá e que, devido a esse evento, o intercâmbio genético que podia haver entre as populações tenha sido interrompido. Nenhum dado sobre como esse intercâmbio poderia acontecer antes foi encontrado.

É urgente adotar medidas para conservar a espécie, principalmente frente ao acelerado crescimento urbano verificado em Brasília nos últimos anos. Entretanto, os conhecimentos disponíveis sobre o ciclo de vida do peixe e sobre os efeitos da ação antrópica sobre o biótopo não estão organizados. A maior parte dos trabalhos sobre os peixes anuais se concentra em uma fase específica de seu desenvolvimento, sendo recorrente a observação de informações contraditórias, principalmente sobre a influência de fatores externos sobre a embriogênese da espécie.

Dados numéricos são escassos, e a falta de trabalhos que englobem o ciclo de vida de peixes anuais, e formalizem esse conhecimento como um todo é nítida dentro o levantamento bibliográfico realizado. Da mesma forma, o conhecimento existente sobre os problemas ambientais relacionados à espécie e a maneira como esses problemas geram a degradação e a perda de biótopos é informal.

Para que se possa pensar em estratégias de conservação para a espécie é necessário organizar os conhecimentos disponíveis, de modo a compreender quais os aspectos mais relevantes, identificar pontos-chave no ciclo vital e, a partir daí, propor um programa de conservação.

As tecnologias de inteligência artificial podem eventualmente se mostrar úteis no desenvolvimento teórico de pelo menos 3 formas: Organização das bases de conhecimento compatíveis com a informatização, incluindo conhecimento quantitativo ou qualitativo; Avaliação rápida de pressupostos, hipóteses, ou outras ideias no campo teórico; e determinação das consequências e da consistência lógica de cadeias longas e complicadas de causa e consequência (Rykiel, 1989).

O Raciocínio Qualitativo – RQ (Weld e de Kleer, 1990; veja também o número especial do periódico AI Magazine, 24(4), 2003) é uma área da Inteligência Artificial que cria representações de aspectos contínuos de sistemas físicos e conceituais com base em

informações incompletas, sem o uso de dados numéricos (Salles *et al.*, 2006a), e fornece meios de expressar conhecimento conceitual, como a estrutura de sistemas de interesse, relações de causalidade, fatores que determinam o começo e o fim de processos, os pressupostos e condições em que um fato será verdadeiro (Bredeweg *et al.*, 2009).

De fato, o RQ tem sido usado com sucesso em estudos que envolvem a modelagem de sistemas ecológicos em geral, como mostra o número especial do periódico *Ecological Informatics*, 4(5-6): 261-412, 2009. A bacia do Riacho Fundo, uma das áreas de ocorrência para o Pirá-Brasília, foi tema de estudos descritos em Anjos (2005), que mostra os efeitos de alterações na vegetação ripária sobre o curso d'água, e Salles e Bredeweg (2009), que discutem aspectos da sustentabilidade dos recursos hídricos da bacia.

Modelos podem ser utilizados para representar, explorar, e explicar padrões ou comportamentos observados em sistemas ecológicos. Um bom modelo (aquele que representa de forma correta os padrões conhecidos de um dado sistema) pode também ser utilizado para prever padrões ou comportamentos futuros (Noble *et al.*, 2009).

De acordo com Grimm (1994), de todas as possíveis categorias de modelos ecológicos, apenas os modelos conceituais podem ajudar a compreensão de sistemas e processos ecológicos. Segundo esse autor, para que isso ocorra, o próprio modelo deve ser compreensível, deve ser passível de manipulação pelo usuário e deve permitir a completa exploração dos comportamentos do sistema representado, pela manipulação das variáveis e parâmetros empregados. Os modelos qualitativos apresentam essas características (Bredeweg e Salles, 2009).

A seguir serão apresentadas as hipóteses desse trabalho, seguidas das perguntas de pesquisa e dos objetivos gerais e específicos do mesmo, finalizando o primeiro capítulo.

O Capítulo 2 traz os levantamentos bibliográficos realizados sobre o Pirá-Brasília e seus congêneres, incluindo informações sobre a taxonomia, a biologia, a área de distribuição da espécie, frequentemente acompanhada de informações sobre outras espécies para efeito de comparação, assim como informações gerais sobre ambientes aquáticos temporários, de forma a demonstrar um pouco mais da importância dessas áreas, e permitir uma caracterização melhor das mesmas.

O Capítulo 3 trata dos materiais e métodos utilizados nesse trabalho, incluindo o processo de modelagem qualitativa e a abordagem selecionada para construção de modelos.

O Capítulo 4 relata os resultados das visitas de campo realizadas, e o Capítulo 5 traz uma descrição do processo de modelagem utilizado nos dois modelos produzidos neste trabalho, assim como suas composições finais.

Os resultados produzidos por esses modelos constam do Capítulo 6, que apresenta os principais cenários e simulações efetuadas em cada um deles, incluindo a descrição dos cenários iniciais, modelos causais e comportamentos relevantes em cada simulação.

Finalizando o trabalho, o Capítulo 7 traz uma série de discussões sobre os resultados encontrados em relação à conservação da espécie, as perguntas de pesquisa e os objetivos do trabalho. As conclusões são apresentadas no Capítulo oito, que encerra este trabalho.

Este trabalho consta, ainda, de três Anexos, nos quais são apresentados todos os fragmentos de modelo utilizados na construção dos dois modelos aqui apresentados, para aqueles que tenham interesse em se aprofundar mais no método, e os formulários utilizados no processo de avaliação dos modelos.

1.1 Hipótese

Sabe-se que atividades humanas na bacia do Riacho Fundo têm provocado forte impacto nos biótopos ocupados pelo Pirá-Brasília, que podem levar ao desaparecimento da espécie nessa região.

Seguindo as discussões sobre aplicações de modelos qualitativos apresentadas em Salles (1997; em preparação), a hipótese adotada neste trabalho é de que a representação formal de conhecimentos sobre o ciclo de vida e as interações entre o Pirá-Brasília e seu ambiente, consolidada pela construção dos modelos qualitativos, oferece bases teóricas para a formulação de estratégias de conservação da espécie. Essa representação, por sua vez, apoia-se em hipóteses testadas cientificamente em articulação com conhecimentos baseados no senso comum educado de cientistas e outros estudiosos, disponíveis na literatura científica e em outras fontes.

1.2 Perguntas de pesquisa

Partindo das hipóteses acima, o trabalho visa a responder às seguintes perguntas de pesquisa:

- (a) Como o conhecimento das relações existentes entre o Pirá-Brasília, nas diferentes fases de seu ciclo de vida, e fatores físicos e biológicos de seu habitat contribui

para a compreensão de aspectos relevantes para a sobrevivência desses peixes nos ambientes onde são encontrados?

- (b) Quais são os principais efeitos das mudanças causadas pelo homem nos biótopos ocupados por populações de Pirá-Brasília no Distrito Federal?
- (c) Depois de estudar e compreender esses aspectos, e com o auxílio de modelos qualitativos, que medidas poderiam ser propostas com vistas à conservação dos biótopos e à proteção das populações de Pirá-Brasília?

1.3 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral a construção de modelos qualitativos de simulação (Weld e De Kleer, 1990), que contribuam para aumentar a compreensão sobre o ciclo vital do Pirá-Brasília e suas relações com o ambiente, de modo a identificar pontos vulneráveis para sobrevivência dessa espécie diante das grandes mudanças a que seus biótopos estão sujeitos por ação antrópica.

Para alcançar o objetivo geral desejado e as respostas às perguntas de pesquisa, foram estabelecidos três objetivos específicos para esse trabalho.

O primeiro deles é estabelecer relações de causalidade entre fatores bióticos e abióticos envolvidos no ciclo de vida do Pirá-Brasília e na dinâmica dos ecossistemas onde são encontrados esses peixes.

O segundo objetivo específico do trabalho é avaliar o uso da modelagem qualitativa na análise de atividades antrópicas que influenciam na sustentabilidade de biótopos de Pirá-Brasília e as possíveis implicações ecológicas para a espécie da perda desses habitats.

O terceiro e último dos objetivos específicos é, com o apoio de modelos qualitativos, apresentar propostas de ação que permitam a conservação de populações do Pirá-Brasília, principalmente na região do Riacho Fundo, localidade-tipo da espécie.

2. O PIRÁ-BRASÍLIA

2.1 Sistemática

O Pirá-Brasília foi originalmente descrito como um novo gênero e espécie por de Carvalho (1959). O gênero *Simpsonithys* pertence à família Rivulidae, e faz parte de um grupo de espécies endêmicas do Planalto Central brasileiro, que também inclui *S. zonatus*, *S. santanae*, *S. parallelus* e *S. choloptyx* (Costa e Brasil, 2006; Costa, 2007).

A espécie pertence à ordem Cyprinodontiformes, que inclui mais de 800 espécies de peixes de água doce, geralmente de pequeno porte, que habitam ambientes de águas rasas ou salobras. Os peixes dessa ordem têm distribuição circumtropical, e podem ocorrer em áreas temperadas como na América do Norte e na Europa (Costa, 1998). Os cyprinodontiformes da superfamília Aplocheiloidei ocorrem na África e na América do Sul, sendo o grupo dos anuais sul-americanos restrito à família Rivulidae.

No Pirá-Brasília, de maneira similar ao *S. parallelus* e *S. choloptyx* e diferente de todas as outras espécies congêneres, observa-se a ausência da nadadeira e da estrutura pélvica. O Pirá pode ser diferenciado de *S. parallelus* e *S. choloptyx* por apresentar a origem da nadadeira dorsal anterior à origem da nadadeira anal (posterior nas outras duas espécies); maior quantidade de raios (21 a 23) das nadadeiras dorsais em machos (17-18 nas outras duas espécies); menor quantidade de raios (17 a 19) das nadadeiras anais em fêmeas (20 a 23 nas outras duas espécies); pontos iridescentes nas nadadeiras ímpares em machos (ausência de pontos nas outras duas espécies); e nadadeira peitoral vermelha com pontos azul metálicos em machos (transparentes nas outras duas espécies).

Até 2002 havia 25 gêneros de peixes anuais, com cerca de 140 espécies reconhecidas como válidas. Destas, 86 ocorrem no Brasil e a grande maioria é endêmica (Costa, 2002). Desde então, outras 66 espécies foram descritas, 51 com ocorrência no Brasil, totalizando 137 espécies descritas de peixes anuais no país. O gênero *Simpsonichtys* possui 53 espécies descritas e é o mais diverso e geograficamente distribuído entre todos os peixes anuais. Todas as espécies do gênero passam a vida em poças rasas temporárias formadas pela chuva (Costa, 2007) e estão distribuídas nas regiões nordeste, central e sudeste da América do Sul (Costa, 2006).



Figura 1. *Simpsonichthys boitonei*, macho, UFRJ 6348, topótipo, 26.1 mm SL; Brasil: Distrito Federal: Brasília (Costa, 2007).



Figura 2. *Simpsonichthys boitonei*, fêmea, UFRJ 6348, topótipo, 26.1 mm SL; Brasil: Distrito Federal: Brasília (Costa, 2007)

2.2 Biologia da espécie

Todas as espécies do gênero *Simpsonichthys* passam todo o ciclo vital em poças temporárias formadas pelas chuvas, em diferentes regiões da América do Sul, incluindo florestas tropicais (Floresta Amazônica e Mata Atlântica, incluindo as restingas adjacentes); áreas semiáridas (a caatinga do nordeste brasileiro, o Gran Chaco no Paraguai e Bolívia, e áreas costeiras no estado do Rio de Janeiro); e áreas de savana, como o Cerrado brasileiro, que inclui diversas formas de vegetação aberta e fechada. Em todas essas áreas, as poças secam durante uma parte do ano (geralmente entre julho e novembro), matando todos os adultos. Os embriões, protegidos pela grossa camada externa dos ovos, seguem em diapausa

até o início da estação chuvosa seguinte, que geralmente se dá entre novembro e março (Costa, 2007).

As poças permanecem com água durante todo o período de chuvas, quando os ovos eclodem, os peixes rapidamente atingem a maturidade sexual e as fêmeas são fertilizadas e desovam (Costa, 2002). A desova acontece em meio à lama, que serve de proteção mecânica e térmica aos ovos na temporada da seca.

Poucos são os estudos ecológicos e biológicos com o Pirá-Brasília, embora existam vários artigos sobre sua manutenção e reprodução em aquário (Shibatta 2005), basicamente em revistas e sites sobre o hobby e colecionadores.

A espécie apresenta acentuado dimorfismo sexual, sendo os machos avermelhados, com listras e pintas azuis iridescentes no tronco e nas nadadeiras, e as fêmeas com coloração castanho-clara, faixas castanho-escuras e uma ou duas manchas negras no meio do corpo (Costa, 2002). A dieta é onívora, composta por micro-crustáceos, insetos e algas (Shibatta e Rocha, 2001), o que certamente contribui para o rápido crescimento desses peixes (Shibatta 2005).

Os ambientes lânticos de poças e lagoas temporárias tendem a favorecer um amplo espectro alimentar de origem autóctone, diferentemente de ambientes lóticos, onde há pouca disponibilidade de alimentos na massa d'água e é verificada uma predominância de dietas de origem alóctone. Essa ideia foi verificada por Rocha e Shibatta (2001) em estudos com o Pirá, o que levanta a hipótese de que esses peixes possam atuar como controladores naturais de populações de insetos hematófagos (Shibatta e Bennemann, 2003) o que, possivelmente, acontece com a grande maioria dos peixes anuais brasileiros.

2.2.1 Desenvolvimento embrionário

Grande diversidade de estratégias de sobrevivência pode ser observada entre os organismos vivos. Um organismo pode, por exemplo, migrar para um ambiente mais favorável (uma estratégia de fuga no espaço) ou entrar em um estado criptobiótico, no qual atividades metabólicas são suspensas até que o ambiente se torne favorável (estratégia de fuga no tempo). Peixes anuais adotaram esta estratégia; a população sobrevive à estação seca na forma de ovos em diapausa (Wourms, 1972c).

Como observado para outros organismos com padrões de desenvolvimento e fases criptobióticas similares em seu ciclo biológico, existem evidências de que o desenvolvimento

embrionário de peixes anuais é regulado por fatores bióticos e abióticos (Levels e Denucé, 1988).

O desenvolvimento embrionário e os traços ecológicos e de comportamento dos peixes anuais são características intrinsecamente relacionadas. A sobrevivência em poças temporárias não seria factível sem a ocorrência concomitante do padrão de desenvolvimento embrionário observado nesses animais (Costa, 1998). Exceto pela taxonomia e filogenia, esse talvez seja o tópico com a maior quantidade de estudos envolvendo os peixes anuais.

De acordo com os estudos pioneiros realizados por Wourms (1972a) com *Austrofundulus myersi*, o desenvolvimento embrionário de peixes anuais se distingue do desenvolvimento observado em outros peixes por duas características únicas:

- 1) Por apresentar estágios de dispersão completa e subsequente reagregação dos blastômeros ameboides interpostos entre estágios de clivagem e embriogênese (antes da formação de um embrião); e
- 2) pela capacidade dos ovos de entrar em suspensão (espontânea ou induzida) no desenvolvimento em um ou mais dentre vários estágios embrionários distintos – a essa suspensão no desenvolvimento chamou-se diapausa.

Quase todas as informações colhidas sobre o desenvolvimento embrionário são sobre outras espécies de peixes anuais, já que não foi possível encontrar nenhum trabalho específico sobre o Pirá-Brasília. Entretanto, Wourms (1972b; Carter e Wourms, 1991) realizou estudos comparativos com 43 espécies próximas, dentre elas uma do gênero *Simpsonichthys*, e apenas aquelas de ciclo de vida anual apresentaram essas características. O desenvolvimento embrionário observado para espécies do gênero *Austrofundulus* foi considerado válido para o gênero *Cynolebias*, posteriormente subdividido em vários outros gêneros, dentre eles *Simpsonichthys*.

O desenvolvimento embrionário dos peixes anuais pode ser dividido em 46 estágios. A diapausa pode ocorrer nos estados 20, 32 e 43, que serão tratadas aqui respectivamente como diapausa I, II e III, conforme estabelecido nos primeiros trabalhos envolvendo a embriogênese da espécie (Wourms, 1972a; 1972b; 1972c; Podrabsky e Hand, 1999; Podrabsky *et al.*, 2001; Podrabsky *et al.*, 2007).

A Tabela 1, adaptada de Wourms (1972a), mostra o tempo necessário para o desenvolvimento dos ovos de *Austrofundulus myersi*, desconsiderando os períodos de diapausa.

Tabela 1: Tempo de desenvolvimento de embriões *Austrofundulus myersi* a 25°C (adaptada de Wourms 1972a)

Estágio de desenvolvimento	Tempo	Estágio de desenvolvimento	Tempo
1	0 hora	25	8 dias
2	0,5 a 1 hora	26	9 dias
3	1,5 horas	27	9,5 dias
4	2 horas	28	10 dias
5	3 horas	29	10,5 a 11 dias
6	4 horas	30	11 dias
7	5 horas	31	11,5 dias
8	6 horas	32	12,5 dias
9	7 horas	Diapausa II	
10	8 horas	33	13 a 14 dias
11	10 horas	34	15 a 16 dias
12	12 horas	35	17 a 19 dias
13	16 horas	36	20 a 21 dias
14	20 horas	37	22 a 23 dias
15	24 a 26 horas	38	24 a 25 dias
16	28 a 30 horas	39	26 a 27 dias
17	32 a 36 horas	40	28 a 29 dias
18	38 a 40 horas	41	30 a 31 dias
19	44 a 48 horas	42	32 a 35 dias
20	3 dias	43	36 dias
Diapausa I		Diapausa III	
21	4 dias	44	39 dias
22	5 dias	45	42 dias
23	6 dias	46	52 dias
24	7 dias		

O estágio 44 representa a eclosão das larvas, e os seguintes são relativos a desenvolvimento embrionário pós-eclosão.

Pela tabela acima fica claro que, em média, são necessários no mínimo 39 dias entre a desova e a eclosão, isso se os embriões não passarem por nenhum tipo de diapausa. Segundo Wourms (1972a), menos de 5% dos ovos passam direto pelos estados de diapausa II e III, e não necessariamente são os mesmos ovos. Em seus experimentos com *Austrofundulus*

limnaeus observou que os embriões da espécie talvez precisem de mais de 300 dias para eclodir, caso passem por diapausa II e III.

2.2.2 As fases de diapausa

A diapausa tipicamente precede algum tipo de mudança ambiental, como resultado, o organismo pode apresentar algum tipo de paralisação no desenvolvimento e depressão metabólica mesmo em condições consideradas ideais. Em contraste, quiescência é um estado em que o desenvolvimento é paralisado e o metabolismo diminui induzido diretamente por uma condição ambiental desfavorável (Shelford 1929 *apud* Danks, 1987). Assim, os mecanismos são diferentes em cada caso; o primeiro controlado por fatores endógenos (ex: expressão genética), e o segundo por indução ambiental (ex: anóxia, desidratação) (Podrabsky 1999).

Durante os períodos de diapausa, os ovos apresentam maior resistência do córion a danos químicos, mesmo após um longo tempo em diapausa (Matias, 1984). Embriões de *Austrofundulus limnaeus*, por exemplo podem tolerar uma grande variedade de condições químicas na água, desde água destilada até mesmo a água salgada, especialmente após completarem a epibolia (Wourms 1967 *apud* Podrabsky, 1999).

Estudos do início do século passado envolvendo peixes e outros organismos já apontavam para o fato de que, geralmente, a paralisação prolongada do desenvolvimento embrionário por influência de fatores ambientais adversos tende a gerar morte ou anomalias. Paralisações prolongadas, reversíveis e não danosas seriam possíveis apenas onde o caminho do desenvolvimento embrionário foi modificado pela interposição de estágios nos quais a paralisação do desenvolvimento é uma alternativa normal (Wourms, 1972c). Esse é claramente o caso dos peixes anuais, visto que a sobrevivência dessas espécies, aparentemente, dependente da existência da diapausa (Wourms, 1972a).

Os padrões de desenvolvimento são complicados pela característica multifásica da diapausa, e pela duração variada das mesmas (Wourms 1972c); uma população de peixes anuais pode apresentar tanto ovos em diapausa como em desenvolvimento normal (Wourms, 1972a; 1972b; 1972c). A diapausa em peixes anuais é muito similar à maioria dos casos mais estudados de diapausa, o dos insetos. Em ambos os grupos a diapausa é um fenômeno ecológico e sua duração pode variar bastante (Wourms, 1972c; Danks, 1987).

No processo de embriogênese dos peixes anuais, a diapausa I acontece na fase de dispersão das células, previamente à sua reagregação. O processo de dispersão-reagregação é

considerado um mecanismo de controle básico na formação da massa de células crítica para continuação da embriogênese. Submeter os ovos a condições não ideais durante a fase de dispersão impede a reagregação e atrasa a embriogênese. A existência da diapausa I, entre outros, permite que a embriogênese seja postergada até que o ambiente apresente condições adequadas à sua continuidade (Wourms, 1972c).

Acredita-se que a diapausa I geralmente não ocorra a não ser que os ovos sejam submetidos a stress anaeróbico ou baixas temperaturas. Essa condição a tornaria uma forma de quiescência, e não uma diapausa verdadeira (Podrabsky, 1999).

A diapausa II é obrigatória em algumas espécies e eventual em outras. Essa pausa acontece no estágio de somito, quando apesar de todos os órgãos sistêmicos estarem presentes, ainda que em formas rudimentares, a maior parte do período de organogênese, diferenciação e crescimento celular ainda não ocorreu. A restauração da atividade cardíaca e o início da circulação estão entre os primeiros indicadores do fim da diapausa II (Wourms, 1972c).

Podrabsky *et al.* (2007) observaram que metabólitos oriundos de ciclos anaeróbicos parecem ter uma grande contribuição para todo o metabolismo de embriões de *Austrofundulus limnaeus* em diapausa II, mesmo quando incubados em condições aeróbicas. O embrião se torna apto a enfrentar um período de anóxia como parte de seu desenvolvimento normal, antes de exposto a essa condição, confirmando que esse é um estágio de diapausa verdadeira.

A diapausa II pode durar por mais de 200 dias em alguns embriões de *A. limnaeus*, enquanto outros saem espontaneamente após 30 a 50 dias (observações pessoais em Podrabsky, 1999).

As taxas metabólicas de ovos crescem rapidamente após a saída da diapausa II até seu pico 21 dias depois. Nesse momento, os ovos podem eclodir induzidos por alterações no nível de luz, temperatura ou pressão de oxigênio, ou entrar em diapausa III (Podrabsky e Hand, 1999).

A diapausa III ocorre no estágio de pré-eclosão. O uso do saco vitelínico aparenta parar, e os batimentos cardíacos são drasticamente reduzidos. Esse estado é comparado à estivação em sapos ou nos peixes pulmonados africanos (*Protopterus* sp.) (Wourms, 1972a; 1972c).

Na diapausa III o desenvolvimento embrionário está mais avançado que em larvas de muitos outros peixes, e o organismo está plenamente adaptado para uma existência independente. A eclosão é considerada um processo mais fisiológico do que de

desenvolvimento, e é sugerido que a diapausa III possa ser uma intensificação do processo de “atraso na eclosão” observado em outras espécies de cyprinodontiformes, assimilado no desenvolvimento dos peixes-anuais (Wourms, 1972c). É possível que a longa duração das secas e a relativa instabilidade e imprevisibilidade dos efêmeros biótopos possam ter favorecido a diapausa ao invés do “atraso na eclosão” no caso dos peixes anuais (Podrabsky 1999).

Peters (1963 *apud* Wourms, 1972c) reportou que a redução na tensão de oxigênio poderia terminar a diapausa III em peixes anuais, ao passo que Podrabsky (1999) observou em *A. limnaeus* uma diapausa III mais sensível, onde os embriões eram sensíveis a distúrbios pequenos, e eclodiam com mudanças sutis de temperatura, luz ou nível de oxigênio dissolvido.

As condições ambientais que regulam o fim da diapausa III continuam, de certa forma, obscuras. Esses fatores provavelmente são multifacetados. O senso comum trabalha com o fato de que o aumento da umidade induziria o processo de eclosão dos ovos, mas é mais provável que outros fatores (possivelmente mais de um) associados ao aumento da umidade, como a pressão sobre os ovos ou a concentração de CO₂, testadas por Katz (2004), ou a tensão de oxigênio citada acima.

2.2.3 Fatores ambientais e influência sobre a diapausa

Foram encontrados vários estudos sobre a influência de fatores ambientais na indução, na duração e na quebra das várias fases da diapausa. Apesar da diversidade todos os grupos de peixes anuais parecem ser influenciados pelos mesmos fatores e o desenvolvimento embrionário apresenta o mesmo padrão (Wourms, 1972c).

A fisiologia da diapausa de peixes anuais é minimamente conhecida se comparada à bem estudada diapausa de insetos, e alguns dos fenômenos que influenciam o fim da diapausa em insetos poderiam ser de grande valia para avaliar os mecanismos de controle da diapausa em peixes.

Inspirado nas informações disponíveis sobre a diapausa de insetos, Matias (1983) observou que a exposição de embriões de *N. guentheri* à amônia gasosa antes de chegar à diapausa II diminui a frequência e o tempo de diapausa. No entanto, a diapausa é prolongada se a exposição se dá quando os embriões já estão nesse estágio. Essa influência, no entanto, não pode ser comprovada em estudos posteriores por Levels e Denuncé (1988).

A temperatura foi um dos principais fatores externos estudados nos trabalhos envolvendo embriogênese e diapausa, e apresenta uma influência muito forte no tempo de desenvolvimento dos embriões (Markofsky e Matias, 1977), e na ocorrência e duração de todas as fases de diapausa (Markofsky e Matias, 1977; Levels e Denucé, 1988).

Markofsky e Matias (1977) defenderam a hipótese de que temperaturas de desova mais baixas aumentariam o período de diapausa I para *Nothobranchius guentheri*. Para esses autores, as diferenças de desenvolvimento na incubação podem não ser devidas apenas à influência da baixa temperatura em si, mas induzidas por exposições anteriores à redução da temperatura, no momento da desova. Isso implicaria que certas informações poderiam ser programadas no início da embriogênese e seus efeitos manifestados de inúmeras maneiras, de acordo com a temperatura de incubação. No entanto essa hipótese não foi trabalhada por nenhum dos pesquisadores que realizaram estudos posteriores, e uma teoria semelhante dos mesmos autores, relativa às influências do fotoperíodo foi rechaçada por Levels e Denucé (1988).

Também foram encontrados alguns estudos onde se avaliou a influência do oxigênio dissolvido. Esses estudos abordavam tanto o oxigênio dissolvido no substrato quanto no meio aquático, o que poderia gerar certa confusão à primeira vista.

Os estudos de Inglima *et al.* (1981) utilizaram o oxigênio dissolvido na água como parâmetro, mas embora ele tenha identificado uma influência secundária da diminuição do oxigênio no desenvolvimento embrionário, eles observaram claramente a capacidade dos embriões em se desenvolver nessas condições.

O contato maior dos embriões em ambiente natural, no entanto, é com o oxigênio no substrato. Pela natureza dos sedimentos comumente encontrados nos biótopos de peixes anuais, ricos em matéria orgânica, os ovos podem ser expostos a anóxia frequentemente. A situação não deve ser diferente para a maioria das espécies de peixes-anuais (Podrabsky *et al.*, 1998).

Nesse sentido, Peters (1963 *apud* Inglima *et al.*, 1981), sustenta que a embriogênese pode evoluir até diapausa I mesmo em condições anaeróbicas, e só depois disso passar a gerar mortalidade.

Outro fator mencionado em alguns trabalhos foi a umidade do solo. Os embriões de peixes anuais apresentam uma significativa resistência à dessecação, sendo a diapausa II o estágio de maior resistência à desidratação do solo.

Nos experimentos de Podrabsky *et al.* (2001), mais de 40% dos ovos de *A. limnaeus* sobreviveram 113 dias a uma umidade relativa (RH) de 75,5%. Após uma perda

inicial de água do espaço perivitelínico, mas mantendo a água das células, a taxa de perda de água dos ovos reduz a quase zero. Segundo o autor, tal resistência não tem precedentes entre os vertebrados aquáticos.

Wourms afirmava (1972c) haver certo consenso de que o ressecamento parcial induz as diapausas II e III para os anuais em geral, mas sendo estes estágios de diapausa verdadeira, é estranha a afirmação de que possam ser induzidas. No entanto, não descartaria a hipótese de que esse fator propiciasse o prolongamento da fase seca.

Tratando especificamente do Pirá-Brasília, Shibatta (2005) observou que a secagem do substrato não é um fator limitante para o desenvolvimento dos embriões. O mesmo também foi observado por criadores de outras espécies de peixes anuais (Katz, 2004). Nessa situação, a incubação pode durar de 55 a 100 dias sem secagem de substrato, no caso do Pirá-Brasília.

Apesar de não ter encontrado nenhum estudo ou experimento acadêmico que tratasse da influência da pressão (atmosférica ou da água) sobre os ovos, existem relatos de alguns aquaristas que alegam induzir a eclosão de ovos de peixes anuais colocando os mesmos em um recipiente fechado dentro de um aquário, conseqüentemente aumentando a pressão sobre eles (Katz, 2004).

Um dos fatores que parecem estar entre os mais significativos é o fotoperíodo. Os primeiros experimentos envolvendo esse fator parecem ter sido os de Markosky e Matias (1977), que utilizaram exemplares de *Nothobranchius guentheri* e concluíram que variações nos ciclos de luz do dia, aos quais os adultos foram submetidos, poderiam influenciar diferenças sazonais na embriogênese, ao passo que mudanças na exposição de luz para os ovos não teriam qualquer influência.

Posteriormente Markofsky *et al.* (1979) reafirmaram essa teoria, argumentando que, embora a temperatura e o oxigênio pudessem determinar, ao menos em parte, a duração da diapausa I e II, esses fatores não eram capazes de prever começo ou a duração variável das condições climáticas. Dessa forma, esses autores propuseram que o fotoperíodo seria esse link, através da influencia materna. Eles relacionam, inclusive, a não observância de embriões em Diapausa II em seus experimentos pelo uso de longos fotoperíodos artificiais.

No entanto Levels e Denuncé (1988) contestaram tais conclusões. Para esses autores nenhuma influência indireta dos adultos pode ser comprovada. Eles também verificaram a capacidade de interrupção das diapausas II e III pelo aumento do fotoperíodo.

Posteriormente, e corroborando com essa última posição, Podrabsky (1999) observou reações de embriões de *Austrofundulus limnaeus* em diapausa II à exposição de luz,

e que a terminação desse estágio da diapausa pode ser acelerada pela exposição de embriões incubados em água a fotoperíodos maiores.

Outro fator ambiental de suma importância é a presença de exemplares adultos. Inglima *et al.* (1981) investigaram uma série de fatores ambientais que poderiam estar influenciando na duração e no encerramento das diapausas, e demonstraram que os embriões em diapausa I, II ou III de *Notobranchius guentheri*, colocados na presença de adultos da mesma espécie ou não, mantiveram a paralisação no desenvolvimento. Embriões separados dos adultos, imediatamente retomaram o desenvolvimento. Seus experimentos comparativos, envolvendo presença de adultos e a pressão de oxigênio, mostraram que, embora a pressão de oxigênio tenha certa influência, a presença de adultos foi o fator determinante. Visto que geralmente os biótopos de peixes anuais tendem a não conter outras espécies de peixes e que a maior parte dos sinais químicos intra e interespecíficos são derivados de metabólitos primários ou secundários (Gleason e Reynierse 1969; Whittaker e Feeny 1971 *apud* Inglima *et al.*, 1981), Inglima *et al.* (1981) concluíram que, possivelmente, o fator inibidor de desenvolvimento esteja associado a metabólitos comuns (Inglima *et al.* 1981).

Inglima *et al.* (1981) não observaram nenhuma inibição no desenvolvimento por influência de compostos nitrogenados. Também observaram que quando deixados com adultos em aquários não aerados por 2 ou 3 meses, apenas uma pequena parte dos embriões estava em diapausa III, e que a predação não foi um fator determinante para tal. Entretanto, mesmo na presença de adultos; uma parcela dos ovos conseguiu se desenvolver até diapausa II ou III, mostrando que a embriogênese é inibida, mas é possível mesmo em presença dos adultos.

Apesar da forte relação encontrada por Inglima *et al.* (1981), não foi possível localizar nenhum estudo posterior sobre esse tópico. A única citação trazendo uma informação semelhante veio de Arezo *et al.* (2005), que em experimentos com *Austrolebias varius*, só conseguiram observar embriões em diapausa I na presença de adultos. No mesmo estudo em que demonstraram a forte influência dos adultos, Inglima, *et al.* (1981) não demonstraram nenhuma associação possível da inibição da embriogênese a mudanças na pressão de dióxido de carbono dissolvido ou no pH da água. Os autores ainda examinaram as concentrações e a diversidade de bactérias, em busca de diferenças significativas na presença e na ausência de adultos, mas também não encontraram resultados relevantes que pudessem ser associados à embriogênese. No entanto, confirmaram que as características das bactérias encontradas por eles dão suporte à natureza oxidativa do substrato.

2.2.4 Desenvolvimento de juvenis e adultos

O desenvolvimento dos ovos é claramente adaptativo frente às condições ambientais. Da mesma forma é o rápido crescimento dos juvenis de peixes anuais (Haas, 1976b).

Ao nascerem, os filhotes de *Simpsonichtys boitonei* possuem entre 4,15 a 5,10 mm (n = 7, média = 4,54, desvio = 0,31). Nesta fase já estão aptos a nadar (Shibatta, 2005).

Os peixes anuais têm um tempo de geração curto (geralmente menos de um ano, na natureza) e altas taxas metabólicas de forma a alcançar a maturidade antes do ressecamento da poça (D'anatro e Loureiro, 2005). O tempo entre o nascimento e a maturidade pode variar muito de acordo com o porte e o ambiente local. Em *Nothobranchius guentheri* a maturidade sexual é alcançada em menos de 4 semanas de idade (Haas, 1976a), em *Cynopoecilus melanotaenia* é alcançada em cerca de 3 meses (Arenzon *et al.* 2001). Errea e Danulat (2001) observaram para *Cynolebias varius*, na natureza, uma taxa de crescimento de aproximadamente 0,66mm por dia durante o período mais quente, (e para os exemplares mais jovens), e a maturidade foi observada entre 8 e 18 semanas.

O fator ambiental mais estudado a influenciar no desenvolvimento dos peixes parece ser a temperatura, mas poucos resultados podem ser generalizados.

Arenzon *et al.* (2001) acompanhou dois ciclos completos de *Cynopoecilus melanotaenia* em ambiente natural não verificou influência significativa da temperatura sobre o crescimento, enquanto suas observações anteriores, em laboratório, apontaram para maior crescimento de *Austrolebias adloffi* em baixas temperaturas, ao passo que o acompanhamento de populações naturais de *A. belloti* indicou crescimento maior em temperaturas relativamente altas para a espécie. A equipe envolvida associou o rápido crescimento em baixas temperaturas à maior eficiência na conversão energética nessa condição, e o crescimento mais veloz em temperaturas mais altas em ambiente natural associado à alta disponibilidade de alimento. Além disso, a maior duração do dia nos meses mais quentes pode permitir maior período de alimentação.

Podrabsky (1999) observou em *Austrofundulus limnaeus* que peixes jovens e adultos toleram amplo espectro de variação nas características da água. Temperaturas de 22 a 35°C são toleráveis em curto prazo, enquanto temperaturas moderadas, próximas a 27°C, pareceram ser as mais adequadas para o longo prazo.

A disponibilidade de alimento, embora citada, não foi uma variável avaliada em nenhum dos estudos analisados sobre crescimento e maturação dos animais. Parece haver uma

ideia pré-concebida nesses trabalhos de que, nos ambientes típicos de peixes anuais, poças rasas ricas em nutrientes e matéria orgânica, a alimentação não é uma limitação nas fases iniciais do desenvolvimento, embora esse dado não tenha sido alvo de nenhum dos trabalhos consultados.

2.2.5 Comportamento e reprodução

O comportamento reprodutivo é convergente entre os peixes-anuais sul americanos e africanos (Costa, 1998). O comportamento observado em espécies de *Austrolebias* é similar ao observado em espécies de *Simpsonichthys* (Belote e Costa, 2002 *apud* García *et al.*, 2008). Diferenças em algumas fases da corte sexual podem ser interpretadas como derivadas especificamente de condições morfológicas (García *et al.*, 2008).

As características biológicas e comportamentais das espécies anuais, combinadas com a resistência dos ovos à seca, servem para maximizar o sucesso reprodutivo em ambientes temporal e espacialmente inconstantes (Haas, 1976a).

Os peixes anuais possuem altíssima fertilidade. Depois de maduros, eles desovam diariamente até a senescência ou morte (Wourms, 1972c; Haas, 1976a)

O alto dimorfismo sexual na forma e nas cores dos peixes anuais sugere que a seleção sexual possui uma importante participação na evolução do grupo (D'anatro e Loureiro, 2005). Entretanto, informações acerca dos mecanismos de isolamento reprodutivo, incluindo uma análise detalhada dos sinais de cortejo, são escassas (García *et al.*, 2008).

Haas (1976a) observou que o comportamento reprodutivo de *Notobranchius guentheri* está reduzido aos movimentos necessários para fertilização dos ovos que são depositados no substrato. Nas poças acompanhadas durante esse trabalho, as desovas ocorreram em qualquer lugar na área central mais profunda, onde a água poderia acumular mesmo após um período curto de chuva.

Fêmeas de peixes anuais carregam poucos oócitos ao mesmo tempo, o que pode ser interpretado como um fator limitante para a reprodução das espécies (García *et al.*, 2008). Em *Austrofundulus limnaeus* a produção total de ovos por dia aumenta com a idade da fêmea. Essa correlação, no entanto, provavelmente está mais ligada ao tamanho que a idade, como foi reportado para *Notobranchius guentheri* na África (Podrabsky 1999b).

De acordo com Wourms (1972c), para os peixes anuais em geral, durante o período de desova, cada fêmea madura contribui com uma porção diária de ovos que terão a

mesma idade. Como isso se estende por semanas ou meses, uma sequência cronológica de sub-populações de ovos pode se formar. Esse efeito multiplicador contribui para a sobrevivência da espécie, a despeito da imprevisibilidade ambiental.

Shibatta (2005) comprovou que para o Pirá-Brasília a desova também é parcelada, e cada fêmea pode produzir cerca de três ovos por dia. Especificamente quanto ao comportamento de corte do Pirá-Brasília, Shibatta (2006) observou que o macho corteja a fêmea quando ela se aproxima, através do estremecimento do corpo e mudança no padrão de colorido, de vermelho para azul escuro. O macho conduz a fêmea até o substrato, onde se enterram e realizam a desova após compressão lateral do corpo do macho sobre a fêmea. A alteração no padrão de colorido do macho durante a corte corrobora com o observado por Belote e Costa (2002 *apud* Shibatta, 2006), para outras 10 espécies do gênero *Simpsonichthys*.

Apesar de Haas (1976a) e Romie (1979 *apud* Shibatta, 2006) não considerarem que os peixes anuais sejam territorialistas, os machos de Pirá-Brasília observados por Shibatta (2006) demonstraram comportamento de defesa de uma determinada área e, por isso, podem ser considerados territorialistas.

Em *Nothobranchius guentheri*, exceto durante a reprodução, o comportamento observado por Haas (1976a) não foi territorial, e os peixes passaram a maior parte do tempo em busca de alimentação. O autor observou ainda que a dominância entre os machos geralmente foi estabelecida em rápidos encontros de abordagem e fuga. Quando a situação se estendia por mais tempo, poderia haver enfrentamentos onde se entrelaçam as mandíbulas até que um saísse dominante. O autor também observou a formação de hierarquias lineares em populações bem estabelecidas, sendo o macho dominante o responsável pela maior parte das desovas. Segundo o autor, a periodicidade diária tanto de comportamentos agonísticos como reprodutivos, somada à hierarquia linear dos machos, à ausência de territórios e à ocorrência de acasalamentos promíscuos, resulta no aumento das oportunidades de fêmeas receptivas entrarem em contato com machos.

Haas (1976a) aponta, no entanto, que em *Nothobranchius guentheri* existe forte competição entre os machos durante a reprodução, ao passo que as fêmeas são toleradas e geralmente a desova é promíscua. A ocorrência ou não de desova é ditada pelas fêmeas, e machos subordinados raramente teriam sucesso reprodutivo, em função da agressividade dos machos dominantes.

Shibatta (2006) divide o comportamento social do Pirá-Brasília em dois grupos: o reprodutivo e o agonístico. Os machos são territorialistas, defendendo o local de permanência – preferencialmente a região inferior da coluna da água – que ainda é utilizado para busca de

alimento e para a reprodução. Ocorre dominância entre machos e entre fêmeas. Para o autor, comportamentos elaborados de corte e territorialidade podem ser importantes para esses animais que vivem em poças temporárias, cujas características físicas e químicas podem ser pouco estáveis, e a densidade populacional é um fator relevante e que determina a frequência das interações sociais.

Esse autor também observou situações nas quais o opressor perseguiu o oponente após o ataque, e este poderia nadar em direção à superfície ou descer, enterrando-se no substrato. Esta última estratégia também foi observada quando em presença de um possível predador (os movimentos bruscos do observador já eram suficientes para desencadear esse comportamento). Se tal comportamento for realmente comum na natureza, é de se questionar as implicações possíveis em amostragens, ou os efeitos colaterais gerados pela coleta praticada por hobbystas em alguns ambientes.

Por fim, Shibatta (2006) relata a ocorrência de mais eventos de desova entre as temperaturas de 23 e 24°C. O autor associa essa observação aos relatos de hobbystas de que a espécie é mais ativa a temperaturas entre 22 a 25°C, tornando-se menos ativa a temperaturas superiores a 28°C (Kadlec 1986 *apud* Shibatta, 2006). Segundo Couture (1988 *apud* Shibatta, 2006) a espécie também se torna letárgica em temperaturas inferiores a 18°C.

Markofky e Matias (1977) não observaram mudanças na produção de ovos pelas fêmeas *Nothobranchius guentheri* associadas às variações normais de temperatura.

Embora não tenha testado especificamente, Podrabsky (1999) relata a impressão de que a disponibilidade de alimentos (tanto quantidade quanto qualidade) parece afetar a produção de ovos em *Austrofundulus limnaeus*. Se a alimentação for parada por mais de um dia já se observa uma diminuição clara na produção e viabilidade dos ovos.

2.2.6 Mortalidade e interações interespecíficas

A crença de que os peixes anuais morrem rapidamente após desovar ou tem um tempo de vida naturalmente aproximado à existência da poça que habita foi disseminado pelos primeiros estudos com anuais (ex. Walford e Liu, 1965). Entretanto, ainda que não sejam exemplos de longevidade, os peixes anuais podem viver muito mais que uma simples temporada de chuva se água e comida estiverem disponíveis (Nico e Taphorn, 1984). Prova disso é dada pela espécie *A. limnaeus*, que permanece fértil por mais de 2 anos em cativeiro (Podrabsky, 1999).

A mortalidade em poças temporárias pode resultar de baixas taxas de oxigênio dissolvido, altas temperaturas, senescência, parasitismo, predação ou fome. Em uma poça temporária isso pode ser agravado pela diminuição do nível da água e o consequente aumento da densidade de ocupação dos peixes. A seca matará aqueles que não morreram de outra maneira (Nico e Thomerson, 1989);

Observações em cativeiro por parte de colecionadores e aquaristas apontam para certa sensibilidade dos ovos à ação de fungos e a ocorrência frequente de proles inviáveis, chamadas “rampantes” (bellysliders nos países de língua inglesa), aparentemente fruto do enchimento abrupto do recipiente com os ovos e da incapacidade de os alevinos subirem até a superfície no momento da eclosão. A ocorrência de indivíduos rampantes também foi relatada em artigos científicos (Podrabsky, 1999), mas não foram encontrados relatos ou estudos sobre a ocorrência desse fenômeno na natureza.

Nico e Thomerson (1989) reportam a possibilidade de que em algumas poças estudadas por eles as populações de peixes anuais adultos possam ter sumido por escassez de alimento, antes mesmo da secagem do habitat. A presença de espécies não-anuais em alguns habitats foi vista como agravante nesses casos. Eles notaram que espécies não anuais - principalmente characiformes - invadiram as poças temporárias durante as cheias mais intensas. Quando isso aconteceu, frequentemente os anuais desapareceram.

No entanto, a convivência de espécies simpátricas é possível e conhecida na literatura, geralmente quando diferentes ocupações dos estratos da coluna d'água possibilitam são observados. Bastos (1984 *apud* Shibatta, 2006) notou que *Simpsonichtys boitonei* ocupava o extrato inferior da coluna d'água, comportamento também observado por Shibatta (2006), enquanto outro Rivulidae, *Rivulus pictus*, ocupava o extrato superior.

Embora o Pirá-Brasília não ocorra com outras espécies de peixes-anuais, há diversos relatos de biótopos multiespecíficos (Costa, 2007). A ocorrência de espécies anuais simpátricas quase sempre esteve associada a diferentes ocupações na coluna d'água nos biótopos estudados por Nico e Thomerson (1989) na Venezuela. A maior diversidade de peixes anuais vivendo em simpatria é encontrada na região do médio rio Araguaia, onde até sete espécies podem ser encontradas em grandes poças temporárias, com fortes preferências de ocupação espacial para cada espécie. Em outras áreas, geralmente o número máximo de espécies anuais simpátricas é três, raramente quatro ou cinco, e as preferências quanto à ocupação espacial não são tão claras. Entretanto, a diversidade de espécies anuais em uma única poça parece estar fortemente relacionada à miniaturização das espécies (Costa, 1998).

2.2.7 Interações biológicas

De acordo com Roberts (1972 *apud* Costa, 1998), peixes pequenos podem ter acesso a recursos alimentares não disponíveis para espécies maiores, e um tamanho extremamente reduzido pode estar abaixo daquele cujos predadores se instiguem a fazer um ataque. Pouco é conhecido sobre interações ecológicas de rivulídeos miniaturizados para fortalecer a discussão sobre nichos alimentares ou potenciais predadores. A ocorrência de peixes ictiófagos nas poças temporárias não é muito comum, mas exemplares grandes de peixes anuais (a exemplo do gênero *Megalebias*) podem ser muito vulneráveis a predadores terrestres (Costa, 1998). Algumas dessas espécies maiores de peixes anuais, como *Cynolebias* e *Megalebias* podem, eventualmente, preda espécies menores que vivam em simpatria. Mas faltam estudos confirmando essa hipótese.

A predação por aves, que têm uma excelente visão para cores, poderia selecionar espécies com cores menos chamativas nesses peixes. Esse não parece ser o caso para a maior parte dos peixes anuais, o que leva a deduzir que existe um mecanismo favorecendo os machos mais coloridos apesar dos custos pra espécie (Haas, 1976b).

Devido ao fato de estarem continuamente em condições reprodutivas depois que atingem a maturidade sexual, a coloração forte e a corte sexual indiscreta torna os peixes anuais facilmente visíveis a predadores potenciais. Hass (1969 *apud* Nico e Thomerson, 1989) verificou que peixes observados em poças visitadas por pássaros mergulhadores foram presas fáceis. Nos estudos de Nico (1989) no Orinoco, o autor levanta a hipótese de que aves podem ser um fator decisivo para a densidade de anuais, principalmente em poças desprovidas de cobertura arbórea. No entanto, a coloração dorsal vermelho-amarronzada, tanto do Pirá-Brasília quanto de outras espécies de peixes-anuais (Costa, 2007), não é chamativa e pode fornecer boa camuflagem em relação ao substrato dos biótopos (Shibatta, com. pessoal). Dessa forma, a hipótese da predação por aves tem que ser melhor estudada. Nos estudos de Nico e Thomerson (1989), fica clara a existência de competição com espécies não anuais que invadem as poças nas cheias maiores, inclusive com desaparecimento dos anuais após os picos das cheias. Mas de acordo com os mesmos autores, esse desaparecimento pode estar ligado também à dispersão.

A força da predação ou da competição sobre determinada população de anuais pode, no entanto, estar mais relacionada com a duração do período chuvoso. Comunidades de áreas úmidas com hidroperíodo curto são determinadas principalmente por fatores físico-químicos, como secagem do ecossistema ou anóxia. Com o aumento do hidroperíodo e a

maior estabilidade do ambiente, a importância de interações como predação e competição se torna maior (Schneider e Frost, 1996; Williams, 2006; Roeck, 2008).

2.3 Áreas de Ocorrência

O Pirá-Brasília, foi originalmente descrito com base em sete exemplares coletados em uma poça d'água temporária, na área reservada ao Jardim Zoológico de Brasília, localizada na micro-bacia do Riacho Fundo (Schenkel e Brummer, 2003). Costa (2007) relata que o último registro da espécie para a localidade tipo é de 1976. Segundo Costa e Brasil (2006), essa localidade foi destruída pela expansão urbana de Brasília, mas no fim da década de 70 (Bastos, 1979) e no início da década de 1980 houveram relatos de coleta da espécie, próximo à localidade-tipo da mesma por Bastos (*apud* Costa e Brasil, 2006).

Em 1986 houve o primeiro registro da espécie em outra micro-bacia, a do Ribeirão do Gama, dentro da Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – RECOR. Nessa reserva originam-se os córregos do Roncador, Pitoco, Monjolo, Escondido e Taquara, tributários do Ribeirão do Gama. Este, assim como o Riacho Fundo, está entre os principais subsidiários do Lago Paranoá que, por sua vez, pertence à bacia do Rio São Bartolomeu. Nesta área, os brejos localizam-se frequentemente em cabeceiras e nascentes de córregos, ou nas margens de matas ciliares, mas o Pirá-Brasília ocorre apenas no brejo da Cerca, próximo ao ribeirão Taquara (Shibatta, 2005).

As duas populações da RECOR foram acompanhadas por cerca de 2 anos por Shibatta (2005), mas há ainda registros de coleta dessas populações em 1997 e 2002 (Costa, 2002; Messerschmidt, 2002; Costa e Brasil, 2006). Até 2005, só se conheciam essas populações ainda conservadas da espécie, com cerca de cem peixes machos e fêmeas, (Costa, 2002; Shibatta, 2005; Costa e Brasil, 2006) quando uma nova população foi descoberta na mesma drenagem da localidade-tipo, na micro-bacia do Riacho Fundo (Costa e Brasil, 2006; Costa, 2007). Mais recentemente, o ecólogo Pedro de Podestá (2008, com. pessoal) coletou 2 exemplares na Fazenda Água Limpa, da UnB, próximo à divisa com a RECOR, às margens do ribeirão Taquara.

Em 1959 o Lago Paranoá foi formado a partir do fechamento da barragem do Rio Paranoá, represando águas do Riacho Fundo, do Ribeirão do Gama e do Córrego Cabeça de Veado, ao Sul, e do Ribeirão Torto e do Córrego Bananal, ao Norte, além de outros pequenos tributários que alimentavam as belas cachoeiras que desciam rumo ao Rio São Bartolomeu (Cardoso *et al.*, 2001). É bastante provável que a distribuição da espécie se estendesse a uma

parte da área alagada pelo Lago Paranoá. Hoje não há nenhum dado sobre como poderia ocorrer o intercâmbio entre as populações das duas diferentes micro-bacias antes do lago Paranoá ou atualmente.

2.4 Importância dos ambientes aquáticos temporários

As áreas de maior produtividade autóctone dos sistemas de cabeceiras parecem estar nos brejos e veredas. A produtividade primária média em brejos e pântanos só é inferior à de florestas tropicais e camas de alga e recifes de corais (Whittaker, 1975 *apud* Walter *et al.*, 2008, pg.36).

Assim como as matas de galeria, para Schenkel e Brummer (2003) as veredas, que envolvem alguns dos biótopos, também desempenham importante papel na filtragem de nutrientes e sedimentos, provenientes dos usos difusos da bacia de drenagem. Todavia, a capacidade de filtro desses ecossistemas depende diretamente da largura desses ecossistemas e do tipo de cobertura vegetal da bacia de drenagem.

Apesar de poças temporárias serem comuns na maioria dos continentes, elas são predominantes e mais importantes ecologicamente em regiões áridas e semiáridas, onde fontes de água são raras ou ausentes (Podrabsky *et al.*, 1998). Segundo Nico e Taphorn (1984), o ambiente de poças temporárias tropicais é provavelmente o ecossistema de água doce menos estudado no mundo. A estrutura e o funcionamento desses sistemas é largamente desconhecida, apesar da necessidade de conhecimento sobre os processos de estruturação de um ecossistema para desenvolver bons planos de conservação (Roeck, 2008).

Blaustein e Schuartz (2001 *apud* Willians 2006) apontam quatro razões principais para se estudar poças temporárias:

1. Podem contribuir para o nosso conhecimento geral sobre “efemeridades”, especialmente relacionadas com história de vida, dinâmicas populacionais e organização de comunidades.
2. Representam sistemas convenientes para o estudo de conceitos ecológicos, visto que aceitam a realização de experimentos com determinado grau de manipulação, e sua abundância permite replicação fácil. Além disso, habitats com comunidades simples podem ser imitados em montagens semi-naturais ou mesmo artificiais.
3. Frequentemente abrigam vetores de organismos causadores de doenças humanas;
e
4. Contém várias espécies importantes à biodiversidade global.

A essas razões, Willians (2006) propõe o acréscimo de outras quatro:

5. Em um contexto biogeográfico, existem evidências de que poças temporárias possam ter funcionado como rotas de dispersão pós-glaciais para táxons possuidores de estágios de dormência capazes de realizar “island-hopping” entre os refúgios glaciais;
6. Em um contexto evolucionário, tem se explorado a ideia de que a vida tenha surgido mais de uma vez na terra, e uma alternativa aos oceanos como ambiente original são lagos que secassem periodicamente. Nesses locais, químicos em solução foram progressivamente concentrados em estados que permitiriam a manutenção de sistemas protoplasmáticos.
7. Com o aumento do interesse em ecótonos terra-água, as margens de poças e córregos temporários têm potencial para servir como importantes pontos de estudo na modelagem de processos hidrológicos, transporte e transformação de nutrientes e o papel da biota ali presente; e
8. Existem, hoje, evidências de que variações físicas no ambiente em águas continentais têm impactos tanto na evolução molecular quanto morfológica dos organismos, através das alterações nas taxas de mutação e exposição de morfotipos que, em outros contextos, seriam crípticos. Condições ambientais extremas tendem a acelerar mudanças morfológicas, promovendo diversificação (Hebert 1999 *apud* Williams, 2006).

Poças temporárias de água doce são habitats particulares no que diz respeito a sua conservação. Ainda que, em geral, possuam menor riqueza de espécies que sistemas permanentes (Williams, 1997), eles frequentemente contem espécies únicas e altamente especializadas, contribuindo fortemente para a biodiversidade regional (De Meester *et al.* 2005 *apud* Boven, 2008).

Em contraste com o grande número de invertebrados que regularmente habita esses biótopos, são poucos os vertebrados que persistem em poças temporárias; peixes são reconhecidamente sub-representados (Williams, 1985 *apud* Podrabsky *et al.*, 1998).

2.5 Caracterização das áreas

As duas micro-bacias de interesse para este estudo, a do Riacho-Fundo e a do Ribeirão do Gama, estão localizadas nas drenagens do Rio São Bartolomeu, no centro do bioma Cerrado. A figura 3 apresenta um mapa da bacia do Paranoá onde constam as mesmas.

Veríssimo *et al.* (2003) descreve as duas micro-bacias como drenagens típicas originadas no Planalto Central do Brasil, apresentando dois tipos de ecossistemas aquáticos: os canais e suas planícies de inundação (brejos e veredas). Estes ambientes ficam sazonalmente inundados, secando por completo durante o período de estiagem ou deixando isoladas algumas poças mais profundas.

As áreas de ocorrência natural do Pirá-Brasília são algumas das poças inseridas nessas planícies de inundação. De acordo com a classificação de Williams (2006), os biótopos do Pirá-Brasília estariam na categoria de meso-habitat de savana tropical, intermitentes de água doce.

Essas áreas são ambientes lânticos, em geral, aqueles restantes após a inundação e recuo do canal principal do rio. Muitos desses ambientes são temporários por natureza e incluem brejos nas curvas dos rios, depressões nas voltas de meandros ou canais deixados pelo curso anterior do rio. Durante os picos de alagamento todas essas áreas podem ser temporariamente reunidas em uma só (Williams, 2006).

Segundo Silva *et al.* (2008), as savanas do Brasil Central e os Lhanos da Venezuela parecem apresentar o mesmo clima semiúmido e quente desde 7.000 anos atrás. As poças de peixes-anuais nessas áreas, estudadas por Nico (1984), são tipicamente depressões rasas. Ele coletou peixes-anuais em biótopos que variaram de poças de poucos metros quadrados a mais de um metro de profundidade; de águas claras cor de chá, muitas vezes cheias de vegetação, a águas extremamente barrentas; de áreas abertas de savana a florestas densas e fechadas. Na região de savana, plantas emergentes frequentemente se tornam tão densa que a água pode ser completamente ocultada. Ainda que a maioria das poças desaparecesse na seca, ocasionalmente algumas persistiam até a volta das chuvas.

2.5.1 Clima

O clima no Cerrado é caracterizado pela presença de invernos secos e verões chuvosos. Dentro da área do Cerrado não há variações significativas da precipitação pluviométrica, entretanto as diferenças altimétricas são responsáveis por variações na temperatura, fato que permite a observação dos seguintes tipos climáticos conforme Köppen (Codeplan, 1984):

- Tropical (Aw) - Clima de savana, cuja temperatura do mês mais frio é superior a 18°C. Este tipo climático situa-se aproximadamente nos locais com cotas

altimétricas abaixo de 1.000 metros, que inclui a maior parte das drenagens do Rio São Bartolomeu;

- Tropical de Altitude (Cwa) - O mês mais frio possui temperatura inferior a 18°C com média superior a 22°C no mês mais quente. Este tipo corresponde à unidade geomorfológica conhecida como Pediplano de Brasília, que abrange aproximadamente as altitudes entre 1.000 e 1.200 metros, e inclui apenas as áreas de cabeceira das drenagens do Riacho Fundo ou do Ribeirão do Gama.

O Cerrado, em sua grande parte, apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro e outubro se estende até março e abril, destacando-se os meses de novembro, dezembro e janeiro como os que geralmente apresentam a maior média mensal de precipitação; e uma estação seca, marcada por profunda deficiência hídrica, causada pela redução drástica da ocorrência de chuvas. A estação seca inicia-se entre os meses de abril e maio e estende-se até os meses de setembro ou outubro, registrando, dessa maneira, de 5 a 6 meses de deficiência hídrica climática (Silva *et al.*, 2008, pg.73). A precipitação média anual gira entorno de 1500mm, variando de 750mm a 2000mm. (Walter *et al.*, 2008, pg.33).

Eventualmente o cerrado é afetado por pequenos períodos de estiagem durante a estação chuvosa. Esses fenômenos, denominados “veranicos” podem incluir períodos superiores a 15 dias sem precipitação (Silva *et al.*, 2008, pg.74).

2.5.2 Problemas ambientais

Apesar da importância, Williams (2006) sustenta que os ambientes que suportam corpos d’água temporários estão em constante risco devido a atividades humanas. Agricultura, expansão urbana, poluição, desflorestamento, drenagem e outras inúmeras práticas cobram suas taxas no mundo inteiro.

Bacia do Lago Paranoá - Carta de Unidades Hidrográficas

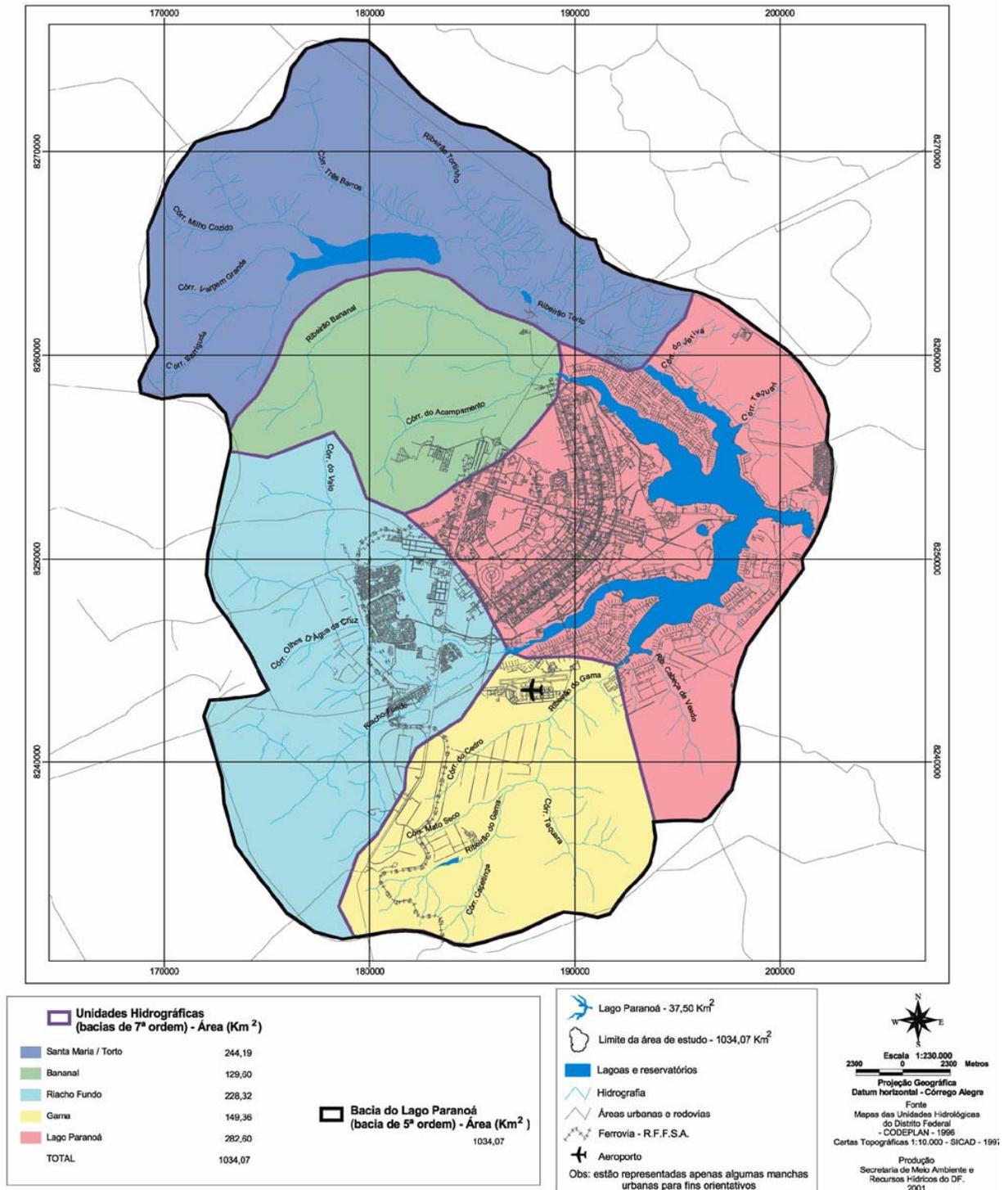


Figura 3: Bacia do Lago Paranoá – Carta de unidades hidrográficas (extraído de Ferrante *et al.* (2001))

No Distrito Federal e seu entorno a emissão de efluentes nos cursos d'água impõe riscos ao abastecimento de água à população. O rápido crescimento demográfico do Distrito Federal, associado à sua localização em zona de nascentes, onde a capacidade de suporte dos

ecossistemas aquáticos é baixa, faz dessa Unidade Federativa a terceira pior do país em quantidade de água disponível por habitante por ano (Rebouças *et al.*, 1999 *apud* Lima e Silva, 2008, pg. 93).

A prática da irrigação tem papel fundamental no desenvolvimento agrícola do Cerrado, que apresenta períodos de seca bem definidos e risco de ocorrência de veranicos durante o período chuvoso. Todavia, a prática da irrigação consome grandes volumes de água, o que pode gerar conflitos. Mas quando se trata de riscos de contaminação dos corpos hídricos, as zonas urbanas e industriais são as que requerem maior atenção (Lima e Silva, 2008, pg. 93).

De acordo com Cruz *et al.* (2001), durante o processo de consolidação da nova Capital e a implantação gradual do Plano Agrícola do Distrito Federal pela Secretaria de Agricultura, foram criados 25 Núcleos Rurais. A partir da década de 80 e, principalmente, nos anos 1990, a maior parte das áreas agrícolas na Bacia do Lago Paranoá – muitas em fase de franca produção – foram parceladas e transformadas em loteamentos irregulares, de expansão urbana ou em novos assentamentos urbanos. Das 25 áreas rurais iniciais, apenas 6 ainda apresentam explorações agrícolas significativas. Entre elas destacam-se o Núcleo Hortícola Suburbano de Vargem Bonita e a Colônia Agrícola Riacho Fundo.

Cruz *et al.* relatam que, nesse processo, problemas de erosão do solo e poluição dos mananciais agravaram-se, geralmente causados por estradas mal construídas, ausência de sistema de drenagem pluvial, lixo e falta de saneamento básico, comprometendo a produção agrícola nas poucas áreas rurais remanescentes.

Como mencionado anteriormente, o Núcleo Vargem Bonita e a Colônia Riacho Fundo/Kanegae, embora também bastante próximos de adensamentos populacionais, ainda mantêm suas características agrícolas. As duas áreas, avaliadas conjuntamente, ocupam o quarto lugar no quadro de produção de hortaliças no DF (Cardoso *et al.*, 2001).

2.5.3 A micro-bacia do Riacho fundo

A sub-bacia do Ribeirão Riacho Fundo possui área de 225,48 km² e a extensão de seu curso principal é de 13 km. Seus principais afluentes são os córregos Vicente Pires e Guará, pela margem esquerda, e o Córrego Ipê, pela margem direita. A sua vazão média é de 4,04 m³/s (Cardoso *et al.*, 2001).

Nos planos originais elaborados para a construção de Brasília foi planejado um cinturão verde de áreas rurais e fragmentos de áreas naturais ao norte da bacia do Riacho

Fundo. Juntas essas áreas formariam um corredor ecológico conectando o Parque Nacional de Brasília às áreas de preservação ao sul da bacia (Netto, 2001).

Entretanto, a ocupação irregular dessa bacia tem promovido uma série de impactos: destruição de vegetação marginal, com perda de biodiversidade, exploração de cascalho e exposição do solo levando à erosão; depósito de sedimentos capazes de modificar o leito do rio; e deposição de lixo em áreas abertas.

Com o crescimento populacional e, conseqüentemente, da demanda de água para consumo direto e para a produção de alimentos, bens e serviços, a tendência é aumentar o número de regiões com problemas relativos à disponibilidade e à poluição hídricas.

De acordo com Netto (2001), foi na micro-bacia do Riacho Fundo que se localizou no início de 1957 o complexo administrativo, industrial e residencial da NOVACAP, acompanhado dos principais acampamentos das firmas construtoras (NOVACAP, Candangolândia, Metropolitana, Camargo Corrêa, Saturnino Brito, Meton Servienge, Polienge, MM Quadros), e da popular Cidade Livre, o primeiro centro comercial e prestador de serviços dos tempos pioneiros, posteriormente transformada no Núcleo Bandeirante – RA VIII. Depois dela vieram o Guará, Cruzeiro, Candangolândia, Setor de Indústria e Abastecimento, Aterro do Jóquei, Setor de Oficinas Sul, Setor Policial, Setores de Combustíveis, Aeroporto Internacional de Brasília, CEASA, parte do SMPW, parte do Setor Militar Urbano e parte de Brasília, todas essas áreas localizadas na sub-bacia do Riacho Fundo.

Na mesma micro-bacia, a partir de 1957, foram instaladas a Fazenda Sucupira, um importante centro de pesquisas agrárias, as Granjas Modelo do Ipê, do Riacho Fundo e de Águas Claras, as primeiras Colônias Agrícolas e os Combinados Agro-Urbanos – CAUBs I e II, já nas décadas de 1970 e 80. Mantendo o ritmo de ocupação, a cidade de Águas Claras não para de se adensar, assim como as Colônias Agrícolas Vicente Pires, Águas Claras, Governador, Bernardo Sayão, Arniqueira, Santa Cruz e parte do Setor de Mansões Park Way, adensados e transformados em parcelamentos, tipicamente urbanos (Cardoso e Netto, 2001).

Ao longo de seu curso, o Riacho Fundo sofre influência de mais de dez áreas urbanas: Guará, Park Way, Setor de Mansões, Núcleo Bandeirante, Vila Metropolitana, Candangolândia, Setor de Indústrias e Abastecimento, Taguatinga, Estrutural Riacho Fundo II e Riacho Fundo II, sendo que suas nascentes estão envoltas pelas últimas duas cidades (Batista, 2004 *apud* Salles e Caldas, 2006).

Primeiro Anjos (2005) e posteriormente Salles e Bredeweg (2009) trabalharam modelos qualitativos relativos à micro-bacia do Riacho Fundo e seus problemas ambientais.

Salles e Caldas (2006), relatam que um grupo de atores iniciou em 2000 os trabalhos para criação do Comitê de Gestão da Bacia do Lago Paranoá, e identificaram os seguintes problemas como os mais relevantes para a bacia do Lago Paranoá e a área do Riacho Fundo:

1. Ocupação desordenada da terra, modificando áreas naturais e rurais em áreas urbanas;
2. Problemas com saneamento básico
3. Desflorestamento e destruição da vegetação natural, incluindo florestas ripárias
4. Práticas não sustentáveis de manejo em áreas rurais (desflorestamento por fogo, poluição por pesticidas e fertilizantes, etc.)
5. Práticas não sustentáveis utilizadas pelo setor Industrial
6. Ações governamentais inexistentes ou inadequadas
7. Carência de colaboração e participação das comunidades

Fonseca e Netto (2001) ressaltaram a problemática da ocupação irregular no Riacho Fundo destacando a existência de aproximadamente 30 parcelamentos irregulares na micro-bacia (a maior entre todos os contribuintes do Lago Paranoá). Eles afirmam ainda que a preocupação é grande, sobretudo porque o Riacho Fundo sempre apresentou a pior situação de todas as áreas do Lago Paranoá, seja a propósito da qualidade das águas, seja com relação ao processo de assoreamento, seja quanto a presença de fósforo, elemento limitante do processo de eutrofização.

Para Salles e Bredeweg (2009) a ocupação irregular promove uma série de impactos negativos no meio ambiente: perda de biodiversidade e erosão estão entre os mais importantes.

Em função da pequena dimensão da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) do Santuário do Riacho Fundo, e acompanhada do péssimo resultado da Reserva Ecológica do Guará, onde o destaque negativo está nos usos incompatíveis e da inexistência de áreas significativas de proteção integral, o braço do Riacho Fundo, cuja micro-bacia apresenta os usos mais agressivos, representa o braço com pior qualidade das águas afluentes do Lago Paranoá (Cardoso *et al.*, 2001).

Entretanto existem forças contrárias à degradação da micro-bacia do Riacho Fundo, mostradas por Cardoso *et al.* (2001). Segundo esses autores, alguns agricultores presentes ali, pressionados pelo aumento da exigência por qualidade no mercado consumidor, têm iniciado cultivos orgânicos, dispensando o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos. O incremento dessas práticas agrícolas de menor impacto sobre o meio ambiente, aliado às

mudanças de culturas exploradas na região, permite vislumbrar, no presente e para o futuro, menor risco de aporte de resíduos da atividade (principalmente nitrogênio, fósforo e agroquímicos) nos mananciais da bacia.

2.5.4 A micro-bacia do Ribeirão do Gama

O Ribeirão do Gama nasce na área conhecida como Mata do Catetinho, na parte Sul da Bacia do Paranoá, tendo como principais afluentes, na margem esquerda, os córregos Mato Seco e Cedro, e, na margem direita, os córregos Capetinga e Taquara. O Ribeirão deságua diretamente no Lago Paranoá, com uma vazão média de 1,85 m³/s (Cardoso *et al.*, 2001). Uma detalhada descrição da micro-bacia é dada por Veríssimo *et al.* (2003); o Ribeirão do Gama possui extensão de 20,76 km e sua bacia ocupa uma área de 144,24 km², com perímetro de 58,2 km.

Veríssimo *et al.* (2003) caracterizam as águas do Ribeirão do Gama como pobres em nutrientes, baixa condutividade e concentração de oxigênio dissolvido entre 7 e 10mg/L, que considera não muito baixa. Dizem esses autores que os córregos da bacia, em geral apresentam-se cobertos por densa mata de galeria que impede a penetração de raios solares, ocasionando as baixas temperaturas da água, que não ultrapassam 27 °C no verão, e no inverno podem ser inferiores a 10° C.

Mas essas condições típicas, segundo o autor, estão restritas àquelas drenagens protegidas pelas Unidades de Conservação, basicamente os tributários da margem direita. Encontram-se nessas condições as nascentes do Ribeirão do Gama (APM Catetinho), os Córregos Capetinga e Taquara (ARIE Capetinga-Taquara, Reserva Ecológica do IBGE e Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília), bem como pequenos contribuintes, como os Córregos Macacos, Grito e Cacherê.

A margem esquerda da bacia de drenagem do Ribeirão do Gama sofre pressão antrópica proveniente da urbanização (setor de Mansões Park Way - MSPW, SHIS QI 17 e QI 15 do Lago Sul e Mansões Urbanas Dom Bosco – SMUDB), da agricultura (Núcleo Hortícola Vargem Bonita e Fazenda Água Limpa da UnB) e de outras atividades tais como: áreas de lazer (Country Club de Brasília e Clubes da Base Aérea); parte do Aeroporto e Base Aérea; e estrada de ferro. As nascentes do Ribeirão do Gama são ainda aproveitadas para abastecimento público do Núcleo Bandeirante (SMPW) e Lago Sul, através de três barragens de nível (captações do Catetinho I, II e III) (Veríssimo *et al.*, 2003).

Aos tributários sob forte influência agrícola, Veríssimo *et al.* (2003) associa concentrações expressivas de matéria orgânica e de nitrogênio, proveniente de fertilizantes utilizados no Núcleo Rural Vargem Bonita. Aqueles sob influência urbana, além da carga elevada de nutrientes (nitrogênio e fósforo), apresentam contaminação bacteriana expressiva, indicando contaminação por esgotos domésticos acondicionados em fossas.

As espécies exóticas da bacia do Gama parecem restritas aos córregos, não constituindo ameaça direta ao Pirá-Brasília. Schenkel e Brummer (2003) relatam a existência de tilápias (*Oreochromus niloticus*), barrigudinhos guppies (*Poecilia reticulata*) e espadas e (*Xiphophorus helleri*) podem ter invadido a bacia, a partir do Lago Paranoá ou de pequenos açudes de piscicultura na área de drenagem. As duas primeiras espécies parecem ter estabelecido populações em diferentes pontos dos Córregos Cedro e Mato Seco e no Ribeirão do Gama, e ao menos a Tilápia possui grande abundância na represa de Vargem Bonita.

2.5.5 Os biótopos do Pirá-Brasília

Desde a descrição do Pirá-Brasília, poucos trabalhos foram publicados sobre essa espécie, e apenas Shibatta (2005) apresentou uma descrição mais detalhada do habitat da espécie. Costa (2002; 2007) descreveu o habitat da espécie como poças temporárias em campos úmidos e estreitas matas de galeria em áreas de relevo acidentado, o que, de acordo com Costa (2002), seriam ambientes atípicos quando comparados aos de espécie anuais de outras regiões, geralmente associados a amplas áreas de várzeas.

Shibatta (2005) foi bem mais detalhista e descreveu o ambiente natural encontrado na RECOR como sendo duas poças de água interligadas, com aproximadamente quatro metros de extensão cada, rasas, com profundidades máximas variando entre 18 e 25 cm, que na época da cheia se ramificavam em direção ao Ribeirão Taquara. Ele também observou uma densa quantidade da turfa *Sphagnum* sp., *Mayaca sellowiana* Kunth, 1843, algas filamentosas, além de folhas e galhos. Entre 1986 e 1987, ele observou que as poças permaneceram cheias por cerca de 8 meses.

As poças da RECOR localizam-se em um campo gramíneo úmido natural, que, segundo Shibatta (2005), difere ligeiramente do brejo de “*ludwigia*” mais comum no Distrito Federal, segundo Eiten, (1978), por estar em área de transição entre vereda e a mata ciliar. Esse ambiente possui vegetação que pertence aos dois tipos de fisionomia, isto é, plantas das famílias Poaceae e Cyperaceae, além de buritis em área de vereda, e arbustos e árvores da

mata ciliar. Conforme a descrição dada por Shibatta, a faixa que compreende esse ambiente varia de alguns metros até algumas dezenas de metros de largura em vales diferentes.

Ainda segundo Shibatta (2005), o brejo era circundado por vegetação representada por Pteridófitas, Briófitas, Eriocaulaceae, Alismataceae e *Drosera*, além do buriti – *Mauritia vinifera*. Mais acima, onde medravam as águas que mantinham o brejo cheio, havia um campo úmido rico em Cyperaceae e Poaceae.

A água das poças onde o Pirá-Brasília foi coletado por Shibatta (2005) apresentou pouca variação de pH, que se manteve em torno de 5. O autor também observou baixa condutividade (menor que 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e concentração de oxigênio dissolvido (2,60 a 4,25 ppm). A temperatura média de 23°C se manteve constante, e foi verificada baixa correlação entre esta e a concentração de oxigênio dissolvido. A transparência foi total.

Tanto Carvalho (1964 *apud* Shibatta, 2005) quanto Shibatta (2005) relatam a ocorrência de uma espécie de *Rivulus* e uma de *Astyanax* em simpatria com o Pirá-Brasília. Shibatta classificou essas espécies como *Rivulus pictus* e *Astyanax scabrippinis*. Nenhuma dessas espécies foi observada por Gilberto Brasil (em comunicação pessoal, 2007).

2.6 Processos ecológicos associados a ambientes aquáticos temporários

Para entender o funcionamento desses sistemas e assim desenvolver medidas confiáveis de conservação é importante compreender as relações entre os três principais conjuntos de características do ecossistema: Composição e diversidade das comunidades biológicas, características físico-químicas do ambiente (e.g. nutrientes, pH, condutividade) e hidro-morfometria do habitat (e.g. hidroperíodo, área superficial, profundidade) (Roeck, 2008). Essas relações podem ser diretas ou indiretas, por meio de efeitos em cascata em outro conjunto de características.

Pelas características biológicas peculiares do Pirá-Brasília e dos biótopos onde vive, acredita-se que os mesmos podem ser influenciados diretamente por diferentes processos ecológicos ou antropogênicos. O diagrama da figura 4 dá uma visão geral das diferentes pressões às quais a espécie está sujeita em diferentes estágios de vida.

A seguir será apresentado um rápido levantamento bibliográfico sobre os três conjuntos de características citadas por Roeck anteriormente, acrescidos de um quarto conjunto: Os fatores externos, com destaque para fatores climáticos e alterações antrópicas.

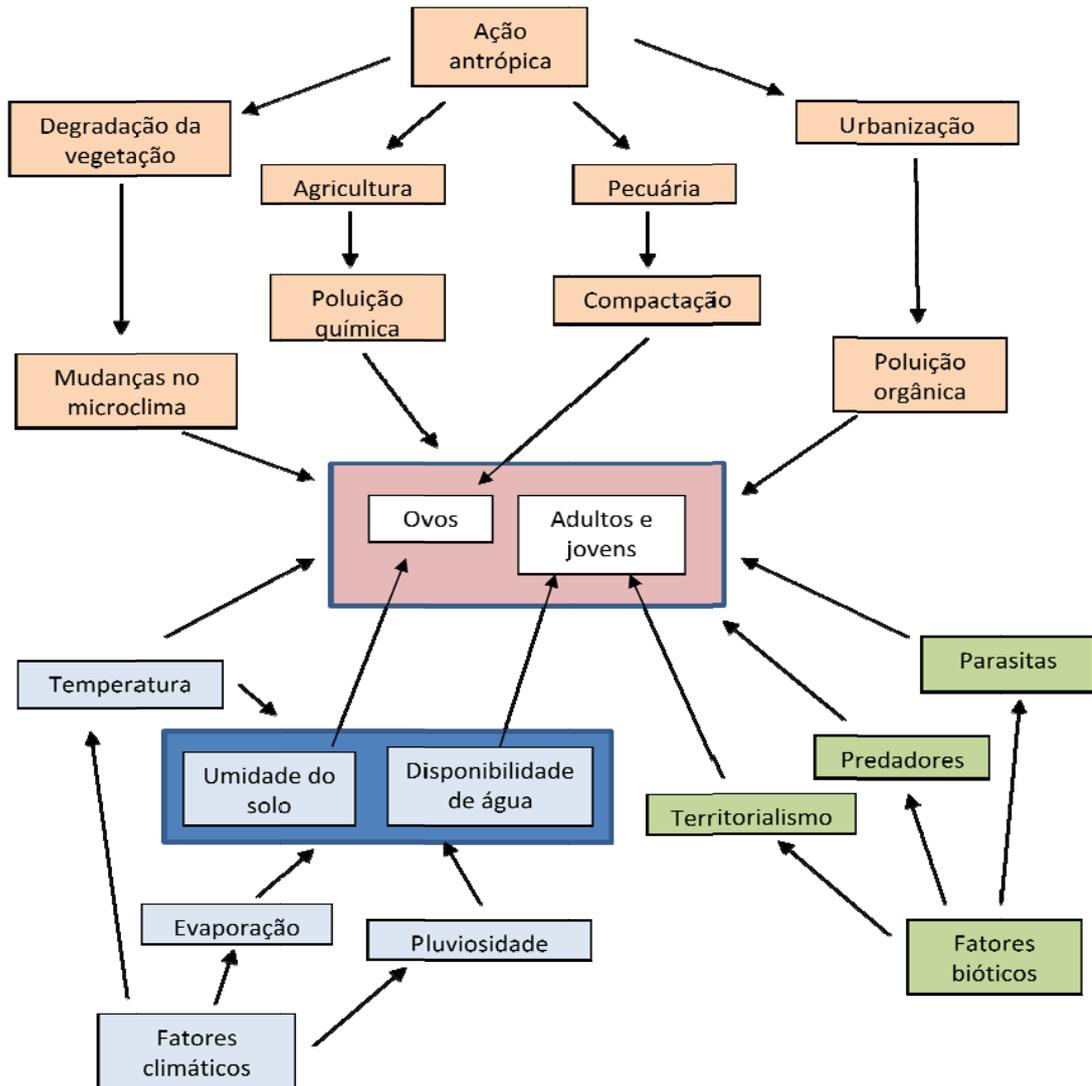


Figura 4: Diagrama com fatores que influenciam a sobrevivência do Pirá-Brasília

2.6.1 Fatores hidrológicos

De acordo com Williams (2006), a duração exata da fase aquática de um ambiente aquático temporário é o hidroperíodo, ao passo que as variações no hidroperíodo, sua frequência e periodicidade, conforme Hulsmans *et al.* (2008), englobam o hidrorregime.

Esse mesmo autor descreve diversas formas de entrada de água no sistema (precipitação, escoamento superficial, afloramento do lençol freático, etc.) e de saídas (transbordo, absorção do solo ou por plantas, evaporação, etc..) – Corpos d’água onde a entrada e a saída de água varia muito, frequentemente são temporários.

A precipitação é a principal fonte de água para ambientes aquáticos temporários, mas parte dela não chega ao solo, aprisionada pela cobertura vegetal. A água que chega ao solo é absorvida por infiltração, e a taxa a que isso acontece varia de acordo com o tipo e o

grau de agregação do solo. Se a taxa de precipitação é maior que a capacidade de infiltração, e se o substrato da poça se encontra encharcado, a água começa a se acumular seu nível a subir (Williams, 2006). Os vários componentes desse ciclo podem ser observados na figura 5.

Segundo Brooks (2004 *apud* Roeck, 2008) precipitação e evapotranspiração explicam 40 a 70% das mudanças semanais no nível da água em áreas úmidas em New England, com a precipitação tendo a maior influência.

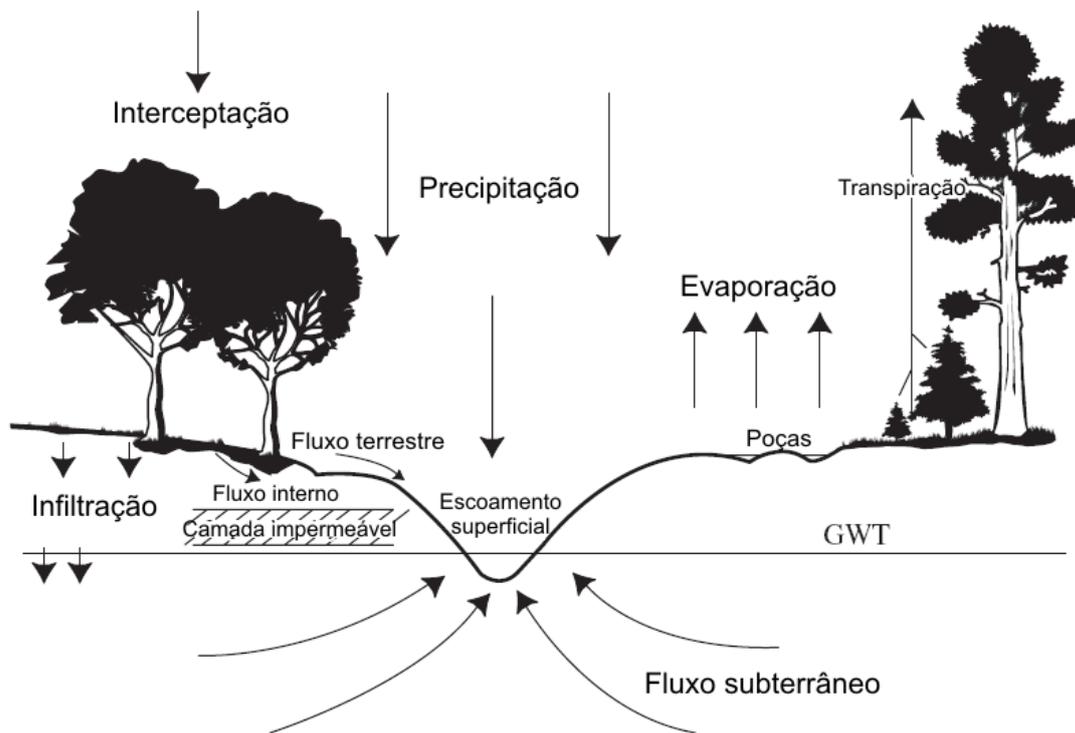


Figura 5: Componentes básicos do ciclo de escoamento que contribui para a formação de ambientes aquáticos temporários (Williams, 2006)

No entanto, as características hidrológicas variam em diferentes regiões do globo de acordo com o clima local, a geomorfologia superficial do solo, vegetação e uso do solo, entre outros. Para Williams (2006), na região tropical-úmida, os solos tendem a estar saturados grande parte do ano, e a duração do corpo d'água está diretamente ligada à taxa de evaporação.

Comunidades de áreas úmidas com hidroperíodo curto são determinadas principalmente por fatores físico-químicos, como secagem do ecossistema ou anóxia. Com o aumento do hidroperíodo e a maior estabilidade do ambiente, a importância de interações como predação e competição se torna maior (Schneider e Frost, 1996; Williams, 2006; Roeck, 2008).

Em consonância com a Teoria da Biogeografia de Ilhas (Macarthur e Wilson, 1963), March e Bass (1995 *apud* Roeck, 2008) encontraram uma relação positiva entre a área superficial, a disponibilidade de nichos e micro-habitats, a taxa de colonização por dispersores ativos e o tamanho das populações.

2.6.2 Características físicas e químicas da água

Mudanças nas características físicas e químicas da água em ambientes aquáticos temporários podem estar relacionadas à composição do solo e a eventos ambientais, sejam flutuações diárias de temperatura e luminosidade ou eventos climáticos periódicos.

A concentração de substâncias dissolvidas em ambientes aquáticos temporários, de acordo com Williams (2006), pode variar mais que em permanentes devido, geralmente, a 3 processos básicos aos quais as temporárias podem estar sujeitas: secagem, enchimento e congelamento.

Segundo Boven (2008), as mudanças no pH estão geralmente mais relacionadas à composição química do solo, que muitas vezes pode tamponar maiores alterações, e ao consumo de CO₂ pelas algas e pela vegetação. O oxigênio dissolvido e os valores de pH também podem variar muito entre as poças e ao longo do dia. O oxigênio dissolvido tende a ter seus picos ao meio-dia, enquanto o pH segue o mesmo padrão da temperatura (Podrabsky 1998).

Tipicamente, a mineralização de matéria vegetal morta, acumulada durante o período seco, gera um lançamento inicial de nutrientes durante a cheia (Williams 2006). Se um solo tem matéria orgânica prontamente disponível para metabolização por micro-organismos e tem concentrações de oxigênio suficientes para permitir respiração celular, quando este é alagado tende a acontecer uma sequência característica de reações químicas, que Sposito (2008) apresenta da seguinte forma: No início o nitrato tende a desaparecer, seguido do surgimento de Mn(II) e/ou Fe(II) enquanto o sulfato solúvel é exaurido. A acumulação de metano aumenta exponencialmente no solo apenas depois que o sulfato se torna indetectável e os níveis de Mn(II) e Fe(II) se estabilizam. Isso pode variar um pouco de acordo com o tipo e composição do solo. De acordo com Jr. e Tusneem (1972), cerca de 1% do nitrogênio perdido sai na forma de amônio gasoso.

Segundo Sposito (2008), durante um período de cerca de 40 dias de inundação, o pH do solo tende a aumentar um pouco e o ácido acético e o hidrogênio gasoso se formam. Esses dois últimos compostos são metabólitos comuns da fermentação, que ocorre quando os

níveis de oxigênio já estão muito baixos em razão da degradação do húmus em compostos orgânicos mais simples, especialmente ácidos orgânicos, juntamente com a produção de hidrogênio de dióxido de carbono. Ainda segundo o mesmo autor, os produtos da fermentação tendem a diminuir com o aumento do Mn(II) e Fe(II), assim como do metano, o que sugere que possam ser consumidos pelos micro-organismos.

O ar dissolvido no solo, em geral, tende a ter a mesma composição do ar atmosférico. Devido à atividade biológica, entretanto, a concentração dos elementos pode variar. De acordo com Sposito (2008), a concentração de oxigênio no solo é sempre um pouco mais baixa, e a diferença tende a ficar mais significativa com a profundidade ou em solos encharcados; o efeito inverso pode ser observado para a concentração de gás carbônico. Já os solos inundados estão essencialmente impedidos de realizar trocas gasosas com a atmosfera, o que resulta na exaustão de oxigênio e subsequente acumulação de gás carbônico devido a processos metabólicos oriundos de atividade biológica. Em solos alagados, geralmente, o oxigênio tende a esgotar nos primeiros milímetros de profundidade do substrato.

Conforme Williams (2006), o oxigênio e o gás carbônico dissolvido também podem variar diariamente, de acordo com a respiração e atividade fotossintética. À noite, invariavelmente o oxigênio chega a níveis críticos. Em várias poças temporárias o oxigênio é esgotado rapidamente após o enchimento devido à atividade microbiológica.

De acordo com Podrabsky *et al.* (1998), o oxigênio dissolvido pode ser o elemento de maior influência na fisiologia dos peixes anuais; seus níveis não apenas mudam drasticamente ao longo de um dia, mas tendem a ser relativamente baixos mesmo nos períodos de maior luminosidade. Pela natureza dos sedimentos, os ovos podem ser expostos a anóxia frequentemente.

Apesar disso, Nico e Taphorn (1984) observaram que os peixes anuais aparentam sobreviver à temporada de chuvas com pouco ou nenhum stress por oxigênio. Ainda segundo eles, a respiração na superfície em situações de hipóxia é uma estratégia aparentemente comum entre muitos peixes, e os ciprinodontiformes se mostram particularmente bem adaptados a esse tipo de comportamento. Além disso, a presença de macrófitas também pode manter os níveis de oxigênio mais constantes.

Conforme Williams (2006), Os nutrientes iniciais liberados pela mineralização da matéria orgânica durante a fase seca tendem a se acumular na superfície do substrato. Em poças temporárias isso pode ser seguido, à medida que os nutrientes circulam na coluna d'água, do aumento do fitoplancton.

McLachlan *et al.* (1972 *apud* Williams, 2006) acompanhou o enchimento de um lago na África Central após quase um ano de período de seca. À medida que o lago se enchia houve uma rápida diluição dos sais dissolvidos. À medida que a água evapora, segundo Boven (2008) os íons se concentram e a condutividade torna a subir, conforme observados em ambientes temporários e semi-temporários em diversos lugares do mundo.

Para Williams (2006), fatores abióticos, como concentração de nutrientes, temperatura, pH, condutividade e oxigênio podem afetar largamente a biota em ambientes temporários, provavelmente pelos diferentes limites fisiológicos de tolerância de cada espécie, ou pela capacidade de responder a sinais ambientais durante estágios de dormência (Herbst 2001, Vandekerkhove *et al.* 2005 *apud* Roeck, 2008, pg. 16)

Nos levantamentos de Roeck (2008), as variáveis físicas e químicas, especialmente condutividade e temperatura, foram significantes quando relacionadas às comunidades de macroinvertebrados. O modelo de Roeck sugere que a hidro-morfologia de áreas úmidas afeta de maneira direta a físico-química do ambiente e as comunidades de macroinvertebrados, enquanto a física e química influencia as comunidades de macroinvertebrados. A intensidade da influencia de alguns fatores físico-químicos isolados varia de acordo com o organismo alvo.

Roeck (2008) não encontrou indícios de que a composição da comunidade de macroinvertebrados afetou as características físicas e químicas (por excreções ou redução da biomassa) das áreas úmidas estudadas. Ele também observou que a hidro-morfometria e as características físicas e químicas dos ambientes estudados são igualmente importantes na estruturação das comunidades de invertebrados, e por isso ambos os aspectos devem ser considerados no desenvolvimento de medidas de conservação.

2.6.3 Processos biológicos

Para Williams (2006), um dos principais problemas em se estudar a dinâmica de populações e comunidades que vivem em ambientes aquáticos temporários é obter números suficientes de organismos e amostras replicáveis, que permitam analisar os dados estatisticamente sem amostrar destrutivamente o habitat.

Exceto por aquelas espécies mais comuns e oportunistas, ambientes aquáticos temporários abrigam uma fauna específica e especializada que não pode ser encontrada em outros habitat, ou tem suas maiores populações restritas aos ambientes temporários, conforme Williams (1997). As muitas espécies raras e endêmicas ilustram a importância ecológica

desses ecossistemas (King *et al.* 1996, Nicolet *et al.* 2004, Deil 2005 *apud* Williams, 2006; Roeck, 2008).

Adaptações à seca, como ilustrado por Roeck (2008), incluem ciclos de vida flexíveis, desenvolvimento ligado à temperatura, tolerância fisiológica, produção de ovos resistentes que passam por dormência e alta capacidade de dispersão. Táxons como Branchiopoda, Turbellaria e alguns coleópteros sobrevivem aos períodos de seca com estágios de vida de dormência tolerantes à seca, juvenis ou adultos. Anfíbios e várias espécies de insetos dependem da água para desovar, e deixam as poças assim que secam.

Felton *et al.* (1967 *apud* Williams 2006) encontrou nove grupos fisiológicos de bactérias em poças temporárias em Louisiana, Estados Unidos; Bactérias oxidantes de sulfatos, nitratos e amônia foram ausências notáveis. O que se sente é que bactérias não seriam os principais contribuintes como produtores primários nesses ecossistemas. No entanto as bactérias fixadoras de nitrogênio aparecem em grandes quantidades, apontando para grande importância no ciclo do nitrogênio.

No caso das algas, segundo Williams (2006), a sobrevivência em períodos prolongados de seca, tipicamente se dá por meio de células vegetativas modificadas com finas barreiras, envoltórios gelatinosos e acumulação de óleos. Muitas espécies em poças temporárias parecem ser oportunistas, outras passam por um previsível ciclo de vida, com o máximo da germinação dos zigosporos ocorrendo durante o auge da cheia. Em alguns casos, observou-se a formação de estruturas especializadas que liberam células amebóides capazes de se mover para áreas onde exista mais água.

Williams (2006) também fala sobre o zooplâncton, para quem a quantidade é controlada por fatores como a biomassa de fitoplâncton, regime de temperatura da água, amplitude e severidade da seca, disponibilidade de oxigênio, turbidez e quantidade de vegetação.

Ainda segundo Williams, insetos e crustáceos são a fauna dominante em ambientes aquáticos temporários. Os últimos estão bem representados por micro e macro-organismos, pertencentes principalmente as ordens Branchiopoda, Ostracoda, Copepoda, Decapoda e Peracarida. Entre os insetos, os melhores representados são as ordens Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera, e Chironomidae (Díptera). Dentre os vertebrados, muitas espécies de peixes migram entre ambientes temporários, ainda que tipicamente ausentes. Vários tipos de anfíbios vivem nessas mesmas áreas, alguns deles extremamente raros, e áreas alagadas podem ser importantes pontos de alimentação para aves migratórias.

Para Nilson e Svensson (1994 *apud* Williams, 2006), fatores biológicos são pouco estudados especificamente em águas temporárias. Algumas fortes características biológicas observadas nesses ambientes incluem a sucessão de espécies tão característica do ambiente, a entrada sazonal de colonizadores e as mudanças temporais na cadeia alimentar – a medida que os nutrientes da fase seca são exauridos, fungos e outros decompositores da fase alagada continuam a processar material alóctone e o fito e zooplâncton se tornam estáveis.

Segundo Suberkropp e Klug (1976 *apud* Williams, 2006), o processo de degradação da matéria orgânica em águas temporárias pode ser inferido usando áreas de alagamento em rios como modelo. As folhas e outros materiais são inicialmente fragmentados por ação dos ciclos de chuva-seca e pelo vento. A medida que a água começa a subir os fungos e outros micro-organismos começam a agir no material. Nesse estágio, compostos orgânicos solúveis, como açúcares, polifenóis e aminoácidos, são lixiviados na água ao redor. A liberação desses compostos e outros nutrientes favorece o aumento das populações de algas bentônicas e planctônicas, que suportam o aumento das populações de zooplâncton. O estado das folhas estimula o crescimento de comunidades bentônicas de invertebrados. A medida que consomem e processam fragmentos de folhas, produzem matéria orgânica particulada e dejetos fecais que são novamente processados na cadeia alimentar, geralmente por recolonização por fungos e bactérias, para consumo por outros. Além disso, folhas inteiras e seus fragmentos servem de abrigo e microhabitats para diversas espécies nas poças.

Exceto pelas atividades microbianas, para Williams (2006) existe uma grande carência de informação sobre outros processos biológicos presumivelmente presentes no solo durante a fase alagada, conduzidos por outros grupos de organismos vivos e sabidamente importantes no processamento da matéria orgânica, como é o caso de fungos e minhocas.

Voltando-se mais diretamente para o caso do Pirá-Brasília, tanto Carvalho (1964 *apud* Shibatta, 2005) quanto Shibatta (2005) relatam a ocorrência de uma espécie de *Rivulus* e uma de *Astyanax* em simpatria com o Pirá-Brasília. Shibatta identificou essas espécies como *Rivulus pictus* e *Astyanax scabrippinis*. Nenhuma dessas espécies foi observada no biótopo visitado no Riacho Fundo.

Para que ocorra a convivência das três espécies, de acordo com Shibatta (2005) existe uma diferença quanto à ocupação espacial na coluna d'água, sendo o Pirá-Brasília encontrado nos estratos inferiores, *Astyanax* à meia profundidade e *Rivulus* mais à superfície (Shibatta e Bennemann, 2003). Como essas espécies não pertencem ao grupo dos peixes anuais, sua presença no brejo deve-se aos seus deslocamentos através dos filetes de água que conectam as poças ao Ribeirão Taquara.

2.6.4 Fatores externos

Os fatores externos de influência sobre os ambientes temporários levantados foram aqueles vinculados ao clima ou à modificações geradas por ações humanas.

Dentro do contexto dos fatores climáticos, o primeiro a ser considerado foi o fotoperíodo. De acordo com Williams (2006), essa é uma peça chave para a sobrevivência de diversas espécies em ambientes temporários, a medida que provê sinais de regulação para o ciclo de vida desses organismos, como entrada e saída de diapausa.

Ainda sobre os fatores climáticos, a temperatura se destaca na bibliografia. Para Podrabsky *et al.* (1998) essa é uma variável importante não apenas sazonalmente, pois pode flutuar de maneira diária ou mesmo horária. Devido a, geralmente, serem rasos, corpos d'água temporários são suscetíveis a rápidos eventos de aquecimento ou resfriamento da água. Williams (2006) ressalta que em um dia a temperatura absoluta pode variar mais que a temperatura média ao longo de todo um ano. Ela aumenta ao longo do dia até o fim do entardecer, quando começa a reduzir. A amplitude de variação muda de acordo com o tamanho da poça, e pode haver estratificação na coluna d'água,

A inversão térmica, assim como a energia cinética transferida pelo vento para a coluna d'água gera movimentação nesta, podendo revirar material do substrato no processo. Williams (2006) aponta que, nesses casos, a turbidez pode estar ligada diretamente à temperatura, e que esta tende a ser mais uniforme na coluna d'água em poças menos túrbidas, e mais estratificada em poças túrbidas.

Passando para o enfoque nas ações antrópicas, Walter *et al.* (2008) sustentam que em todo o mundo, as áreas de savana têm sido amplamente utilizadas para atividades agropecuárias e demais formas de ocupação humana. Savanas estão diretamente ligadas à evolução da espécie humana, e desde então ela sempre utilizou savanas como áreas preferenciais para sua sobrevivência, partindo delas para desbravar e ocupar outras formas de vegetação. Tanto no Brasil quanto em outras partes do globo, domínios de vegetação não florestais, destacando-se aí as savanas, ainda não sensibilizam suficientemente o público leigo.

Apesar de as áreas úmidas prestarem importantes serviços ambientais, elas estão ameaçadas globalmente. Segundo Finlayson e Spiers (1999 *apud* Roeck, 2008) cerca de 50% delas desapareceu ou foi degradada ao longo dos últimos 100 anos. Ambientes aquáticos

temporários são particularmente vulneráveis na medida em que são relativamente menores e mais rasos (Grant 2005 *apud* Nicolet *et al.*, 2004; Roeck, 2008).

A construção civil e a expansão agropecuária colocam em constante risco a preservação das áreas de várzea, veredas, planícies alagáveis e pequenos cursos d'água à medida que drenam ou aterram essas áreas, ou mesmo induzem alterações mais sutis como a retirada de vegetação, que pode, por exemplo, expor essas lagoas a uma maior incidência de luz e calor, resultando na secagem precoce do ambiente, encurtando o período de vida dos indivíduos (Williams, 2006; Boven, 2008; Roeck, 2008).

Para Costa (2002), atividades de pecuária também tendem a reduzir a cobertura arbórea ao redor dos biótopos, acelerando o processo de secagem e introduzindo animais que consomem grandes quantidades de água e compactam o solo, fatores que reduzem a área propícia para a desova. Modificações na composição química do solo, contaminação por poluentes químicos e orgânicos e modificações diretas nos biótopos, também constituem fatores que influenciam a qualidade ambiental de um biótopo.

Sobre a expansão urbana, Costa (2002) a relaciona com o aterramento de grandes áreas alagadas e nascentes, a pavimentação, a impermeabilização do solo, a canalização dos rios e a poluição. Para ele, isso tudo pode gerar modificações no ciclo de seca – inundação ou mesmo a destruição dos biótopos.

No oeste europeu, drenagens particulares e agricultura intensiva tiveram um forte impacto negativo nesse tipo de ambiente (Mura 1993, Hödl and Eder 1996, Williams *et al.* 1998 *apud* Boven, 2008)

A importância da vegetação marginal, de acordo com Williams (2006), é pouco estudada para áreas alagadas, a não ser pelo efeito de sombreamento que prove abrigo a alguns invertebrados. Conforme esse autor, práticas florestais podem influenciar a estrutura de ambientes aquáticos temporários pela alteração no sombreamento. Por exemplo, poças em áreas densamente florestadas são extremamente sombreadas, tem pouca vegetação emergente e a maior parte da energia entra no sistema por meio da queda de folhas - comunidades que se desenvolveram nessas condições são baseadas em organismos detritívoros. O corte de árvores removeria a cobertura, possibilitaria a entrada de luz solar, reduziria a entrada de material alóctone e promoveria uma mudança para comunidades baseadas em algas e herbívoros.

Segundo Anjos (2005), as matas ciliares e de galeria, além da evidente função de conservação da biodiversidade e manutenção microclimática, exercem fundamental papel na conservação da matéria orgânica no solo, nas características edáficas e pedológicas nas margens dos cursos de água, além da proteção das nascentes e do lençol de água de maneira

geral. A sua remoção leva à perda de matéria orgânica, que geralmente é carregada para os cursos de água. A água precipitada pelas chuvas deixa de se infiltrar, sendo escorrida e levando a um quadro de alta possibilidade de erosão

Em consonância com o autor anterior, para Cardoso e Netto (2001), as principais causas do assoreamento de rios, ribeirões e córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos. A exposição dos solos para práticas agrícolas, exploração agropecuária, mineração ou para ocupações urbanas, em geral acompanhadas de movimentação de terra e da impermeabilização do solo, abrem caminho para os processos erosivos e para o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos, que são drenados até o depósito final nos leitos dos cursos d'água e dos lagos.

Para ambientes aquáticos temporários em Ohio, Carrino-Kyker e Swanson (2007) encontraram uma relação positiva entre a área ocupada nos arredores pela agricultura foi e a condutividade, enquanto a área ocupada por área urbana foi negativamente associada com a profundidade.

Além das ameaças mais claras, existem outras que vem crescendo em importância. Boulton (2005 *apud* Roeck, 2008), por exemplo, cita a exploração de água subterrânea, que segundo ele vem aumentando intensivamente em muitas partes do mundo, para Serrano e Serrano (1996), isso pode reduzir os níveis de água em ambientes aquáticos temporários e degradar os habitats.

Também as mudanças climáticas podem afetar a hidrologia de ambientes aquáticos temporários, como é bem lembrado por Pyke e Fisher (2005 *apud* Roeck, 2008).

A Tabela 2, extraída de Cardoso *et al.* (2001), traz uma série de alterações ambientais e possíveis consequências sobre os recursos hídricos de uma determinada região.

Tabela 2: Alterações ambientais e possíveis consequências em bacias hidrográficas.

Efeitos hidrológicos – sequência de mudanças	
Mudanças no uso da terra e da água	Possíveis efeitos hidrológicos
Estágios iniciais de urbanização	
Remoção de vegetação, construção de algumas casas de alvenaria com estrutura de saneamento básico deficiente	Decréscimo da transpiração e acréscimo do escoamento de água e sedimentos para corpos d'água.
Perfuração de poços	Rebaixamento do nível do lençol freático

Construção de fossas sépticas e drenos sanitários	Alguns acréscimos da umidade do solo e talvez uma subida no nível do lençol; Provável encharcamento e contaminação de poços vizinhos ou corpos hídricos
Estágio avançados de urbanização	
Terraplenagem para construção e remoção dos horizontes superiores do solo.	Erosão do terreno e sedimentação dos corpos d'água acelerados, com aumento das cheias.
Construção massificada de casas, pavimentação de ruas. Despejo de esgotos sem tratamento adequado em corpos receptores.	Infiltração decrescente resultando no aumento dos fluxos de cheia e rebaixamento do nível de água subterrânea. Poluição das águas, poços, rios, etc. Mortandade de peixes e da vida aquática Comprometimento da qualidade da água disponível para abastecimento e recreação.

Fonte: Inventário Hidrológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do DF, IEMA/SEMATEC-1998

2.7 Status de conservação

Em 21 de maio de 2004, o Ministério do Meio Ambiente publicou a Instrução Normativa MMA nº 05 de 2004 e oficializou a primeira lista de invertebrados aquáticos e peixes ameaçados de extinção no Brasil.

Essa Instrução Normativa reconheceu como ameaçadas de extinção 238 espécies de 68 famílias. Destacaram-se nesse conjunto o grupo dos peixes anuais, todos pertencentes à família Rivulidae, que somam 52 espécies. É o grupo mais numeroso dentre as espécies ameaçadas de extinção, representando 21% das espécies listadas. Entre elas está o Pirá-Brasília.

De acordo com Costa (2002), o Pirá-Brasília se encontra ameaçado de extinção devido à drenagem, ao desmatamento e à poluição de seu ambiente natural, sendo sua conservação dependente da manutenção de áreas de proteção ambiental. Para Shibatta (2005), em função dessas ações deletérias, provavelmente a espécie se encontra extinta em sua localidade-tipo, na região do atual Jardim Zoológico de Brasília.

Pouco se sabe sobre a sensibilidade das espécies de peixes anuais à alterações da qualidade da água ou à perda da cobertura vegetal original circundante, e para agravar a situação, a grande maioria possui reduzidíssima área de distribuição (Costa, 2002).

Segundo uma matéria publicada pelo Correio Brasiliense de 28 de junho de 2002 (Messerschmidt), na década de 1980, por causa da poluição que atingiu as veredas próximas ao Riacho Fundo, o peixe desapareceu por uns tempos, chegando a se pensar que estava extinto. Posição semelhante é defendida por Veríssimo *et al.* (2003).

Conforme a proposta de divisão de ecorregiões para o bioma cerrado, feita por Arruda *et al.* (2008), as micro-bacias do Ribeirão do Gama e do Riacho Fundo estão na ecorregião do Planalto Central Goiano. Essa ecorregião engloba 7,84% da área do bioma, e apresentou o 5º maior índice de diversidade florística entre as 22 ecorregiões definidas (o que o autor acredita poder estar associado à maior amostragem na área). Apenas 1,9% da área dessa ecorregião se encontra protegida por unidades de conservação de proteção integral, e 0,1% por unidades de conservação de uso sustentável.

Santos *et al.*, (1996 *apud* Schenkel e Brummer, 2003) demonstraram que, em 1992, apenas 5% das veredas e 17% das matas originais do Ribeirão do Gama permaneciam em seu estado natural, enquanto 67% da bacia era antropizada.

A micro-bacia do Riacho Fundo foi uma das áreas mais agredidas entre as drenagens do Lago Paranoá, desde o início da construção de Brasília (Cardoso e Netto, 2001). Para Veríssimo *et al.* (2003) condições naturais estão restritas às cabeceiras do Riacho Fundo e ao Córrego Ipê, onde a ARIE Santuário de Vida Silvestre do Riacho Fundo possibilita a manutenção de águas com boa qualidade. Mais a jusante, a qualidade da água apresenta um comprometimento progressivo, agravado pelas contribuições urbanas provenientes dos Córregos Vicente Pires e Guará, o pior afluente. A foz do Riacho Fundo, inserida na APA Gama-Cabeça de Veado, apresenta as águas de qualidade comprometida, que refletem o mosaico de usos e ocupações de montante.

Cardoso *et al.* (2001) traz a informação de que 45,74% da área do Distrito Federal e 67,45% da área da bacia do Lago Paranoá estão legalmente protegidos na forma de diversas categorias de UCs, mas a situação é um tanto diferente para a Bacia do Riacho Fundo.

Localizam-se na área da micro-bacia do Riacho Fundo a ARIE do Santuário do Riacho Fundo, a Reserva Ecológica do Guará, o Parque ecológico do Guará (Ezechias Heringer), o Parque Ecológico e Vivencial do Riacho Fundo, o Parque das Aves, o Parque Ecológico Areal, o Parque Ecológico Águas Claras, a APA Gama-Cabeça de Veado, a Parque

Ecológico e Vivencial da Candangolândia e o Parque Ecológico e Vivencial Bosque dos Eucaliptos (Cardoso *et al.*, 2001; Semarh, 2006).

Em teoria, cerca de 10% da micro-bacia do Riacho Fundo estariam protegidos por algum tipo de unidade conservação, mas apenas 3% da área estão incluídas em algum tipo de unidade de conservação de proteção integral (que no caso do Distrito Federal incluem as ARIEs). Mesmo nesse universo (que não parece tão ruim frente à realidade nacional) ainda são observados problemas de implantação dessas unidades.

No levantamento realizado por Cardoso *et al.* (2001) quanto ao estado de implantação das unidades de conservação da bacia do Lago Paranoá, apenas o Parque Vivencial do Riacho Fundo apresentou menos de 10% da área degradada, e apenas o Parque Ecológico Águas Claras não tinha ocupações incondizentes com as finalidades do Parque. Ressalta-se que a Lei nº265/99 do Distrito Federal define os Parques Ecológicos e de Uso Múltiplo do DF como Unidades de Uso Sustentável, e alguns deles não tem qualquer vocação verdadeiramente ambiental, a exemplo do Parque D. Sarah Kubitschek (Parque da Cidade).

A única unidade de conservação de proteção integral com razoável nível de implantação na bacia (80% de acordo com Cardoso *et al.* (2001)), seria a ARIE do Santuário do Riacho Fundo, que conta com a disponibilidade de recursos oriundos principalmente do Jardim Zoológico de Brasília. A Reserva Ecológica e o Parque Ecológico do Guará, algumas das poucas unidades de conservação registradas em cartório na época de sua criação, atualmente se encontram tomadas por chácaras e barracos (Cardoso e Netto, 2001)

Diferente do Riacho Fundo, a micro-bacia do Ribeirão do Gama está completamente inserida dentro da APA do Gama – Cabeça de Veado, unidade de conservação de uso sustentável, e tem mais de 20% de sua área dentro de unidades de conservação de proteção integral. Entre essas unidades estão a Reserva Ecológica do IBGE e a Estação Ecológica da UnB, inserida dentro da ARIE Capetinga-Taquara, e estão entre as mais unidades de conservação mais avançadas quanto a sua implementação dentre todas aquelas presentes na bacia do Lago Paranoá (Cardoso *et al.*, 2001).

Estão presentes na micro-bacia do Riacho do Gama a ARIE Capetinga-Taquara (que engloba a Estação Ecológica da UnB), a Área de Proteção de Manancial Catetinho, a Reserva Ecológica do IBGE, a estação Ecológica do Jardim Botânico, o Parque Ecológico Garça Branca e a APA Gama-Cabeça de Veado (Cardoso *et al.*, 2001).

A micro-bacia do Ribeirão do Gama apresenta duas áreas distintas, no que se refere ao uso e à ocupação do solo. A primeira é caracterizada por áreas preservadas, com os seus tributários, o Córrego Roncador, o Córrego Taquara e o Córrego Capetinga correndo no

Jardim Botânico, na Reserva Ecológica do IBGE e na Fazenda Experimental da UnB, respectivamente. A segunda é mais ocupada, com os córregos Mato Seco e Cedro drenando o Núcleo Rural Vargem Bonita, áreas rurais e o SMPW. Em consequência das ocupações, as águas do Ribeirão do Gama, dreno principal vertendo ao Sul do Lago, apresenta teores de fosfato e nitrogênio maiores do que o Córrego Cabeça de Veado, bem como níveis mais significativos de assoreamento (Cardoso e Netto, 2001).

Além da degradação ambiental nítida que envolve sua área de distribuição existe uma grande deficiência de informação quanto ao status genético da população. As duas populações da micro-bacia do Ribeirão do Gama se encontram, muito certamente, isoladas da população da micro-bacia do Riacho Fundo. Segundo Costa (2002), pelas características biológicas e pelo ambiente peculiar onde vivem, peixes anuais, de forma geral, têm uma capacidade de dispersão muito baixa, apresentando alto índice de especiação.

Nesse sentido, foi observado que tanto a foto publicada na reportagem do *Correio Brasiliense* por Messerschmidt (2002) quanto a ilustração constante na capa do livro “Subsídios ao zoneamento da APA Gama Cabeça-de-Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado” (Schenkel e Brummer, 2003), geradas à partir de exemplares oriundos das populações da Reserva Ecológica do IBGE, mostram animais com grandes manchas negras na nadadeira dorsal, que constitui uma característica diferente daquelas observadas nas populações oriundas da região do Riacho-Fundo.

Criadores alemães possuem em cativeiro uma variedade diferente de Pirá-Brasília, que eles chamam de "Muervienna", cuja diferença básica é o padrão de manchas da nadadeira dorsal. É possível que a diferença seja fruto de endogamia nos peixes, já que muitos deles estão se reproduzindo fora do país a mais de 20 anos. Mas na matéria publicada por Messerschmidt (2002) é possível observar que o peixe fotografado possuía o mesmo padrão de manchas, assim como a ilustração de Schenkel e Brummer (2003). Isso pode ser visualizado nas figuras 6, 7 e 8.

Segundo o Prof. Dr. Wilson J. E. M. Costa, em comunicação pessoal, aparentemente a variedade “muervienna” foi obtida pelo aquarista americano Rosario Lacorte quando esteve no Brasil no início dos anos 1980 (ou final dos 1970) através de coletores brasileiros, sendo em seguida distribuída entre aquaristas alemães. Ainda, segundo o Prof., por duas vezes ele teve exemplares coletados na Reserva Ecológica do IBGE, e nenhum deles possuía as manchas negras na nadadeira dorsal. Complementou, ainda, que a foto de um dos exemplares da segunda coleta (um macho adulto) foi publicada em seu livro (Costa, 2002).

Quanto aos exemplares citados, Costa levanta duas possibilidades: (1) A existência de polimorfismo na população da poça da reserva do IBGE, que considera possível, mas pouco provável, já que não é comum ter uma variação deste tipo em espécies do gênero *Simpsonichthys*; (2) Os peixes ilustrados foram oriundos de outra localidade.

Finalmente, em comunicação recentemente, o Prof. Dr. Oscar A. Shibatta, informou que, entre os exemplares coletados nos estudos que fez da espécie (Shibatta e Bennemann, 2003; Shibatta, 2005; 2006), alguns machos apresentavam as tais manchas, mas não todos – o que estaria de acordo com a primeira hipótese levantada pelo Prof. Wilson Costa e aumentaria a importância de se trabalhar a conservação da espécie nas duas micro-bacias.



Figura 6: Exemplar da reportagem de Messerschmidt (2002)

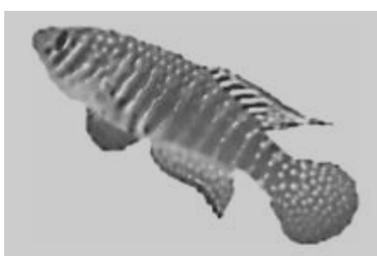


Figura 7: Exemplar ilustrado de Schenkel e Brummer (2003)



Figura 8: Exemplar de um aquarista alemão (Lettner, 2007)

2.8 Criadores e Aquarismo

Os peixes anuais estão certamente entre os mais belos animais da nossa fauna. A diversidade de cores, elegantemente distribuídas entre os membros do grupo, assim como o pequeno porte, frequentemente os torna populares entre os aquariófilos (Costa 2002).

Em todo o mundo existem colecionadores especializados em peixes anuais (usa-se o termo Killifishes, que envolve também espécies não anuais das mesmas famílias). Em países como E.U.A, Alemanha e Japão existem associações dedicadas exclusivamente à criação desse grupo de peixes. Algumas delas realizam eventos anuais que chegam a reunir mais de 2000 pessoas.

No Brasil também existem colecionadores, mas o público é relativamente restrito. Um fórum nacional de discussão na internet dedicado ao assunto, o KillifishBrasil, possuía, em fevereiro de 2010, mais de 920 usuários inscritos.

O mesmo grupo envolvido na organização do Fórum de discussões mantém um periódico eletrônico sobre o tema, abordando questões técnicas, ambientais e orientações

diversas. Esse periódico já teve 11 edições, a primeira delas publicada em meados do ano de 2003.

É interessante observar nesses periódicos algumas matérias que demonstram relevante consciência ambiental por parte dos colecionadores. Como exemplo, podemos citar: “Opinião: Reintrodução de killifishes” na edição nº 1, “Estado de conservação”, “Disseminação, comercialização e extinção” e “*Simpsonichthys bookermani* – Conhecendo o biótopo” na edição nº 2, “Uma visão sobre os peixes anuais do Cerrado” na edição nº 6, “Viagem ao cerrado mineiro” na edição nº 7 e “Além do Horizonte – uma viagem pelo Rio Negro” na edição nº 8. Em todas as outras matérias específicas sobre cada espécie existem sempre considerações sobre o status de preservação dos biótopos, e os editoriais frequentemente fazem menção às questões ambientais.

Uma grande parte das ações de conscientização ambiental relacionadas aos peixes anuais (que são muito poucas) têm se originado exclusivamente desses colecionadores e de alguns pesquisadores. Várias das espécies conhecidas foram descobertas por hobbystas e levam, inclusive, seus nomes.

Entretanto é possível também encontrar uma dezena de relatos envolvendo criadores preocupados única e exclusivamente em ganhar dinheiro com os peixes. Sabe-se do envio de ovos e peixes para o exterior e de convites para pessoas de fora, para que venham coletar no país. Em março de 1998 três holandeses foram presos tentando sair do país pelo aeroporto de Brasília com 335 espécies de peixes anuais (Processos IBAMA nº 02001.000853/98, 02001.000863/98 e 02001.000864/98). Relatos dessa época especulam que os mesmos tiveram apoio de criadores brasileiros, entretanto os denunciadores que permitiram a prisão em flagrante dos traficantes também eram hobbystas.

Carvalho (1959) relatou problemas com aquaristas colecionadores de peixes anuais já em 1957, relativos à coleta e descrição amadorística de peixes-anuais brasileiros na Europa.

Uma expedição de coleta em busca do Pirá-Brasília realizada em 1973 é ricamente detalhada em um artigo da época por Semeit (1973). Nessa expedição o autor teria conversado com funcionários do zoológico que lhe informaram que a área onde a espécie fora descoberta já estava destruída, e que não sabiam de outro lugar onde a mesma ainda ocorresse. Nesse artigo ele relata sua busca pela espécie, e é interessante o comentário de que, na ocasião, o dono de uma loja afirmou conhecer quatro localidades de coleta da espécie, e que uma delas havia sido anteriormente devastada por um alemão. Outras informações

interessantes que traz esse artigo são a busca infrutífera do aquarista por áreas próximas ao lago Paranoá e Taguatinga.

Expedições semelhantes foram feitas por aquaristas brasileiros, embora não se tenham tantos detalhes. Mas é certo que os criadores são um dos pontos mais delicados a se tratar quanto a preservação dos peixes anuais. Qualquer projeto de conservação do Pirá-Brasília deve promover a educação ambiental entre esses colecionadores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos do presente projeto, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico sobre os parâmetros biológicos do Pirá-Brasília, incluindo características reprodutivas (tamanho/idade de maturação, tipo de desova, quantidade de ovócitos, comportamento de reprodução) e ecológicas (caracterização do nicho, relações intra e interespecíficas, tolerância à mudanças físico-químicas da água), com vistas a elaborar um modelo qualitativo que permitisse a análise do ciclo de vida da espécie e dos fatores que afetam os biótopos onde são encontrados.

Nesse sentido, muitas das informações desejadas sobre o Pirá-Brasília não foram encontradas na literatura disponível. Entretanto, segundo Wourms (1972c), todos os grupos de peixes anuais apresentam o mesmo padrão de desenvolvimento embrionário, e parecem ser influenciados pelos mesmos fatores ambientais. Dessa forma, o levantamento bibliográfico foi estendido às outras espécies de peixes anuais da ordem Cyprinodontiformes. O levantamento bibliográfico também se direcionou às informações gerais sobre ambientes aquáticos temporários, e específicas sobre as bacias de ocorrência da espécie.

3.1 Saídas de campo

Para obter mais informações que pudessem ser comparadas com os dados da literatura, foram realizadas saídas de campo para visitar áreas identificadas como potenciais locais de ocorrência do Pirá-Brasília e avaliar o estado de conservação dos possíveis biótopos. Dessa forma esperava-se realizar comparações quanto às condições ambientais nas áreas onde a espécie estaria presente e onde não fosse encontrada.

Tendo em vista a área ocupada pelas drenagens não ser muito grande, imaginou-se que seria possível realizar expedições a determinados pontos onde imagens aéreas disponibilizadas pelo software GoogleEarth® permitissem a distinção de solos úmidos próximos às drenagens do Riacho Fundo ou do Ribeirão do Gama. Foi escolhida a micro-bacia do Riacho Fundo para realizar essas incursões, primeiro por ser a área da qual o peixe foi descrito, e depois por ser esta a mais degradada das duas bacias.

De posse da localização exata dos biótopos conhecidos para a espécie, foram visitadas as áreas que, nas imagens disponibilizadas, apresentavam semelhanças visuais com aquelas já conhecidas. Ao todo foram realizadas 6 saídas de campo entre os meses de janeiro e junho de 2009. Durante as visitas, esperava-se observar os seguintes parâmetros:

- a) Levantamento da ictiofauna do biótopo;
- b) pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido e transparência da água, de acordo com a metodologia utilizada em Shibatta (2005);
- c) Caracterização da vegetação circundante;
- d) Presença de resíduos sólidos ou de efluentes líquidos;
- e) Conectividade com cursos d'água perenes;
- f) Extensão e profundidade das poças onde o Pira-Brasília fosse encontrado.

De posse das informações obtidas na literatura e nas visitas de campo, foi realizada a adequação das mesmas ao ambiente de modelagem do simulador qualitativo Garp3, para criação dos modelos e análise quanto a aplicabilidade da ferramenta para os estudos propostos.

3.2 Modelagem Qualitativa

Frequentemente, métodos quantitativos são utilizados para se chegar a predições ou decisões qualitativas. Quando um método quantitativo é inadequado ou ausente, estimativas, predições e decisões devem, ainda assim, ser feitas, tanto em situações de pesquisa quanto de gestão (Rykiel, 1989).

De fato, muito do conhecimento ecológico é qualitativo ou vago, expressado de forma verbal ou diagramática. Falta aos ecólogos ferramentas efetivas para utilizar esse vasto conhecimento de forma mais significativa. Muitas vezes os ecólogos tem uma quantidade considerável de informações em suas cabeças, mas poucas formas de tornar esse conhecimento explícito, organizado e processável por computadores. (Rykiel, 1989).

Raciocínio Qualitativo – RQ – é uma abordagem da Inteligência Artificial que fornece meios de expressar conhecimento conceitual, como a estrutura de sistemas físicos, casualidade, o começo e o fim de processos, os pressupostos e condições em que um fato será verdadeiro (Bredeweg *et al.*, 2009). O RQ cria descrições não numéricas da estrutura e comportamento de sistemas, preservando suas propriedades importantes e as distinções qualitativas de comportamento (Bredeweg e Salles, 2009).

O aspecto mais estudado em modelos qualitativos é a predição do comportamento de sistemas físicos, com base na representação da estrutura dos sistemas de interesse.

Diferentes abordagens de RQ oferecem um rico vocabulário para a descrição de objetos, situações, relações, mecanismos de mudança, além de representações qualitativas para diversos aspectos do raciocínio matemático (cf. Weld e de Kleer, 1990, para

reimpressões dos trabalhos mais relevantes da área, e o número especial do periódico *AI Magazine*, volume 24, 2003, para uma revisão do estado da arte do RQ).

A maior parte dos modelos é construída com propósitos acadêmicos, mas vêm crescendo as demandas para uso em prognósticos e com propósito de manejo (Rykiel, 1996). Existe um interesse crescente de ecólogos em criar modelos qualitativos de fenômenos para os quais a informação numérica é esparsa ou inexistente (Bredeweg *et al.*, 2009).

De acordo com Grimm (1994), de todas as possíveis categorias de modelos matemáticos, apenas os modelos conceituais podem ser de ajuda na compreensão de sistemas e processos ecológicos. Modelos complexos de sistemas ecológicos são, via de regra, incompreensíveis, no sentido de que o comportamento do modelo não pode ser totalmente explorado, o que geralmente não deixa claro quais as partes do modelo determinam os resultados encontrados (Mollison, 1986 *apud* Grimm, 1994). Ainda segundo Grimm (1994), se um modelo conceitual é uma ferramenta para nos auxiliar a compreender, então essa ferramenta por si só deve ser compreensível. Deve ser possível a completa exploração dos comportamentos do modelo pela manipulação das variáveis e parâmetros empregados. Os modelos qualitativos apresentam essas características.

Salles (1997) investigou diferentes abordagens disponíveis em Raciocínio Qualitativo para representar problemas relacionados com a dinâmica de populações e comunidades, e concluiu que, embora a abordagem centrada em restrições (Kuipers, 1986), que se baseia em versões qualitativas de todos os elementos que constituem as equações diferenciais, ofereça grande flexibilidade na representação de sistemas físicos e biológicos, a abordagem centrada em processos (Forbus, 1984) dispõe de apenas dois elementos para representar classes de funções matemáticas, porém possui mais elementos para criar vocabulário adequado e descrever situações tipicamente encontradas em sistemas ecológicos, principalmente por permitir uma clara visualização da causalidade nos processos representados, o que não acontece na abordagem centrada em restrições. Esta abordagem será detalhada na seção seguinte.

3.2.1 A Teoria Qualitativa dos Processos

Com base, principalmente, nessa investigação conduzida por Salles (1997), a principal abordagem de modelagem adotada no presente trabalho é a Teoria Qualitativa dos Processos - TQP (Forbus, 1984), uma das ontologias mais usadas em Raciocínio Qualitativo. De acordo com essa abordagem, processos são definidos como mecanismos que provocam

mudanças no sistema de interesse, cujos efeitos podem ser seguidos ao longo do tempo. Nesse contexto, é fundamental compreender como operam as relações de causalidade no sistema.

Essa Teoria adota, entre outros, os seguintes princípios: (a) processos são a causa primária de mudanças no sistema; (b) alterações causadas por processos em determinadas propriedades podem se propagar para outras propriedades do sistema; e (c) a origem das mudanças e a propagação dos efeitos das mesmas são representados por diferentes elementos da linguagem de modelagem.

Segundo Forbus (1984), processos podem afetar objetos de diferentes formas. Muitos desses efeitos podem ser modelados por alterações nas propriedades de um objeto, sendo estas propriedades mensuráveis, porém cujos valores podem ser delimitados dentro em um espaço contínuo de valores. A representação de uma propriedade de um objeto é chamada *quantidade*, e envolve tanto propriedades contáveis (ex.: o número de bananas) ou não contáveis (ex.: a massa de certo número de bananas). Uma linguagem deve ter definidos seus primitivos (seus elementos básicos, a partir dos quais pode-se construir a semântica), suas formas de combinar esses primitivos e seus meios de abstração, que permitam que novas entidades sejam definidas (Forbus, 1984).

Na TQP, a causalidade é representada por meio de dois primitivos de modelagem: influências diretas e proporcionalidades qualitativas. As primeiras modelam os efeitos dos processos (influências diretas), enquanto as proporcionalidades mostram como se propagam os efeitos dos processos para outras quantidades (influências indiretas). Em RQ, as quantidades que descrevem as características dinâmicas de um sistema tipicamente envolvem informações qualitativas sobre a magnitude e direção da mudança, usando uma escala de intervalos, que consiste de um conjunto ordenado de classificações, ex: {zero, baixo, médio, alto}. Esse conjunto de classificações é chamado de espaço quantitativo (Forbus, 1984; Bredeweg *et al.*, 2009).

Tanto influências diretas como proporcionalidades qualitativas representam funções matemáticas e relações de causalidade. De acordo com Forbus e de Kleer (1993), a combinação de influências diretas e proporcionalidades permite expressar qualquer equação diferencial ordinária em que o tempo seja a variável independente.

Por exemplo, a relação $I+$ é definida da seguinte forma: Seja $I+(Q1, Q2)$ a expressão que modela os efeitos diretos de um processo. Nessa expressão, $Q1$ é uma variável cujo valor em determinado momento define o estado do sistema naquele momento (variável de estado), e $Q2$ é uma taxa, isto é, a medida da variação dessa variável de estado em certo intervalo de tempo. A leitura que se faz dessa expressão é, portanto, (a) passado aquele

intervalo de tempo, o valor de Q2 será adicionado ao valor de Q1. Caso $Q2 > zero$, o valor de Q1 aumentará (isto é, sua derivada tem valor positivo); se $Q2 < zero$, o valor de Q1 diminuirá (derivada negativa); e se $Q2 = zero$, Q1 permanece estável; e (b) se $Q2 \neq zero$, essa quantidade causa mudança em Q1.

Desse modo, I+(Q1, Q2) corresponde à expressão matemática abaixo, em que Q2 pode aparecer entre outros elementos:

$$dQ1 / dt = \dots + Q2 \dots$$

De modo similar, I-(Q1, Q3) corresponde à expressão qualitativa de

$$dQ1 / dt = \dots - Q3 \dots$$

Juntas, essas duas equações resultam na expressão

$$dQ1 / dt = \dots + Q2 - Q3 \dots$$

A operação em que se calcula o novo valor de Q1 sob a influência de todas as taxas corresponde à operação matemática de integração.

Por exemplo, suponha uma situação em que dois processos, nascimento e mortalidade de peixes, estejam ativos e determinem o valor da quantidade de peixes em um lago. Nesse caso, o modelo

I+ (*quantidade de peixes, taxa de nascimento*)

I- (*quantidade de peixes, taxa de mortalidade*)

seria a representação qualitativa da equação diferencial:

$$d \text{ quantidade de peixes} / dt = \text{taxa de nascimento} - \text{taxa de mortalidade}$$

As proporcionalidades qualitativas (P) representam funções matemáticas monotônicas e também expressam relações de causalidade, mas contêm muito menos informação do que as influências diretas. Por exemplo, P+(Q4, Q1) indica que Q4 é ligada a Q1 por meio de uma função monotônica tal que quando Q1 estiver variando, Q4 também variará na mesma direção, isto é, a derivada de Q4 terá o mesmo sinal que a derivada de Q1. Por exemplo, se Q1 estiver aumentando, Q4 também aumentará. Essa relação também significa que Q1 causa mudanças em Q4 (e não o contrário). De modo similar, P-(Q5, Q1) significa que quando Q1 estiver variando, Q5 varia na direção oposta.

A combinação de influências diretas e proporcionalidades qualitativas permite montar cadeias de causalidade, em que os efeitos de processos se propagam para outras quantidades. Por exemplo, continuando com o exemplo citado acima, suponhamos que o aumento da quantidade de peixes no lago tenha como efeitos o aumento das pescarias e a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água. Nesse caso, a cadeia de causalidade teria o aspecto mostrado no esquema abaixo:

I+ (*quantidade de peixes, taxa de nascimento*)

I- (*quantidade de peixes, taxa de mortalidade*)

P+ (*quantidade de pescado, quantidade de peixes*)

P- (*oxigênio dissolvido, quantidade de peixes*)

Tanto as influências diretas quanto as proporcionalidades qualitativas são unidirecionais.

A modelagem qualitativa segundo a TQP inclui outros primitivos de modelagem, que serão discutidos abaixo, quando forem apresentadas as etapas da construção dos modelos realizada durante o trabalho aqui descrito.

3.2.2 Construção do modelo

Para a modelagem do ciclo de vida do Pirá-Brasília e de fatores ambientais relevantes a este, optou-se pela construção de dois modelos: o primeiro abarcando as várias fases do ciclo de vida do Pirá-Brasília e suas interações com o ambiente; e o segundo com foco na degradação e na destruição de biótopos dentro de uma bacia. Dessa forma, espera-se diminuir a complexidade das simulações e facilitar o entendimento dos comportamentos do sistema observados durante as simulações.

Noble *et al.* (2009) tiveram dificuldades semelhantes ao trabalhar com simulações envolvendo ciclos de vida completos de peixes, nos estudos de caso sobre a reabilitação dos Rios Trent e Great Ouse, na Inglaterra.

O simulador qualitativo Garp3, utilizado para construção dos modelos nesse trabalho, é um software desenvolvido na Universidade de Amsterdam disponível gratuitamente na internet para uso acadêmico e educacional (www.garp3.org). Esse software reúne, em um único programa, ambiente de modelagem, simulador e ferramenta para a inspeção dos resultados da simulação (Bredeweg *et al.*, 2009).

O simulador adota a técnica da modelagem composicional (Falkenhainer e Forbus, 1991), na qual durante o processo de modelagem, constroem-se fragmentos de modelo, pedaços de modelo quase independentes que são combinados durante a simulação pelo simulador qualitativo. A metodologia de modelagem adotada neste projeto é aquela descrita em Bredeweg *et al.* (2008).

Nas representações em modelos qualitativos de Salles e Bredeweg (2006) e Salles *et al.* (2006b) as populações foram tratadas como uma única entidade. Já no trabalho de Noble *et al.* (2009) foi utilizada mais de uma entidade para englobar toda a população, uma

abordagem baseada no conceito de uma população estruturada em diferentes estágios de vida. Essa abordagem é comumente utilizada quando se considera dinâmica de populações e história de vida dentro da ecologia da conservação ou da gestão de recursos pesqueiros (Noble *et al.*, 2009), e será aplicada nesse trabalho.

A apresentação dos dois modelos produzidos se dará no capítulo 5, e será dividida em duas partes. Primeiramente será apresentada a definição dos usuários, item comum aos dois modelos. Em seguida serão discutidos separadamente os seguintes itens para cada um dos modelos:

1. **Modelo verbal:** Nesse primeiro item é feita uma descrição geral dos principais conceitos em uso e apresentado um resumo geral dos processos descritos no modelo. Os modelos verbais contêm uma descrição sucinta da estrutura do sistema (entidades e configurações), das quantidades mais importantes e da dinâmica do sistema.

2. **Pressupostos utilizados:** Esse item traz os pressupostos assumidos durante o processo de modelagem, de forma a assegurar o entendimento e a adequação do modelo às situações em que se quer focar. São apresentados nesse item tanto os pressupostos específicos, incluídos no Garp3 como primitivos de modelagem, quanto pressupostos implícitos e não representados diretamente no modelo, mas que devem ser do conhecimento do usuário.

Os pressupostos, incluídos no Garp3 como primitivos de modelagem são rótulos utilizados para indicar que certas condições são presumivelmente verdadeiras. Eles são frequentemente utilizados para restringir o comportamento gerado pelo modelo. Pode ser associado a aspectos estruturais ou comportamentais do mesmo (Bredeweg *et al.*, 2009).

3. **Entidades, Agentes e Configurações:** As entidades e agentes se relacionam por meio de configurações ou relações estruturais. Configurações modelam como as entidades e agentes estão estruturalmente relacionadas (Bredeweg *et al.*, 2009). Tanto os agentes quanto as entidades são organizadas em árvores hierárquicas.

Nesse item são apresentadas as entidades e agentes externos constantes nos modelos, assim como a forma pela qual eles se estruturam dentro do sistema.

4. **Quantidades e espaços quantitativos:** Quantidades representam as propriedades variáveis das entidades e agentes. Tipicamente, nelas se pode visualizar o comportamento do sistema. São representadas por seus valores qualitativos, que consistem da magnitude (quantidade ou amplitude de variação) e da derivada (direção da mudança) (Bredeweg *et al.*, 2009).

Os espaços quantitativos especificam a amplitude de valores possíveis que uma quantidade pode ter.

Idealmente, a definição do espaço quantitativo a ser utilizado deve considerar três coisas: a representação acurada dos valores possíveis da quantidade; o nível de complexidade que será adicionado às simulações em termos de números de possíveis estados; e o uso potencial do espaço quantitativo em certas abordagens de modelagem, como por exemplo cálculos (Noble *et al.*, 2009).

Nesse item serão apresentadas as quantidades e espaços quantitativos, acompanhados do significado atribuído aos mesmos no processo de modelagem. Dessa forma espera-se reduzir a ocorrência de dúvidas decorrentes do caráter qualitativo de uma quantidade.

5. Fragmentos de modelo: De maneira geral, os fragmentos de modelo descrevem parte de uma estrutura ou comportamento do modelo. São partes de modelos, compostos por múltiplos ingredientes. Eles têm o formato de “regras”, o que significa que alguns ingredientes que constituem o fragmento de modelo são incorporados como condições, e outros, como consequências (Bredeweg *et al.*, 2009).

Nesse ponto serão apresentados os principais fragmentos de modelo utilizados, e os conceitos porque dão suporte teórico à construção desses fragmentos. Todos os fragmentos que constituem os dois modelos produzidos neste trabalho serão apresentados nos anexos I e II.

Fragmentos de modelo também são organizados em árvores hierárquicas. A sua construção tem forte componente visual pelo uso de ícones e cores. Isso facilita a leitura e entendimento posterior dos mesmos. Nessa linguagem visual, os ingredientes em vermelho representam condições para que elementos específicos sejam incluídos nas simulações, ou para que eventos aconteçam. Os ingredientes em azul representam novos elementos ou eventos que serão incluídos na simulação (consequências), se as condições forem atendidas. Ainda existem os componentes em verde, indicando elementos que foram representados em fragmento de modelo localizado em nível hierarquicamente superior da árvore de fragmentos, e os componentes em preto, que indicam um fragmento de modelo importado como condição para que aquele fragmento que está sendo trabalhado venha a ser ativado.

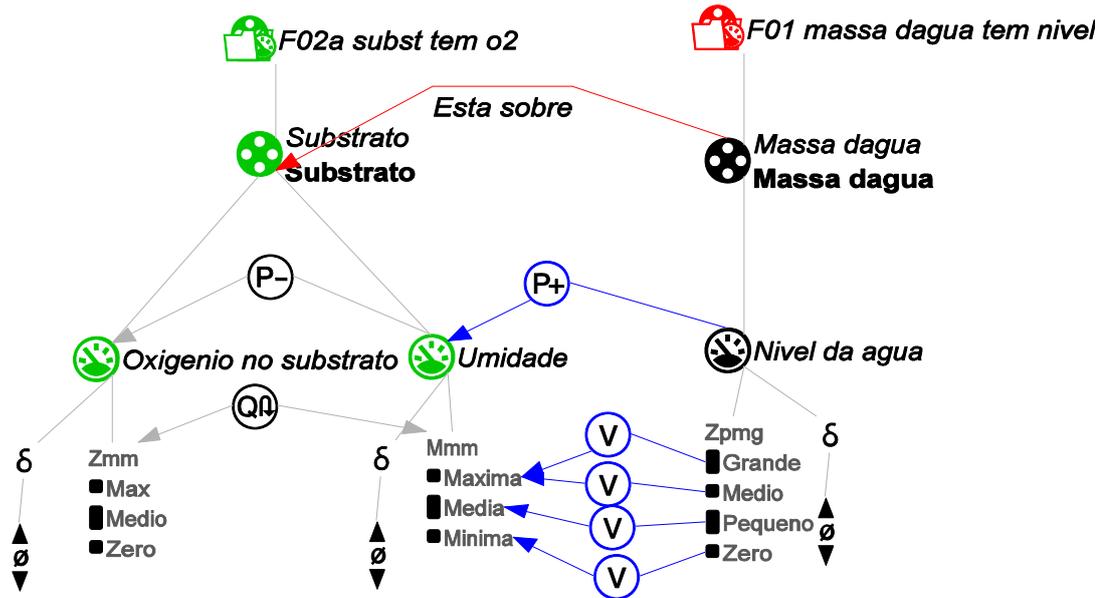


Figura 9: Exemplo de fragmento de modelo

No exemplo da figura 9, a julgar pelas cores, verifica-se que este fragmento de modelo contém um “filhote” do fragmento F02a, em verde, e o fragmento F01, em preto, importado como condição (veja o nome e o ícone em vermelho), e as entidades Massa d’água e Substrato unidas por uma configuração (*Está sobre*) em vermelho. O fragmento poderia ser lido da seguinte forma: Se os fragmentos *F02a* e *F01* estiverem ativos, e se no cenário inicial de uma simulação existir a configuração mostrada neste fragmento de modelo (*Massa d’água* está sobre *Substrato*) [como condições], então serão introduzidas na simulação do modelo uma proporcionalidade positiva (P+) entre o *Nível da água* e a *Umidade* e os valores grande e médio de *Nível da água* corresponderão aos valor máximo de *Umidade*; pequeno corresponde a médio; e zero corresponde a mínimo [consequências].

3.2.3 Cenários e Simulações

Cumprida a etapa de criação dos fragmentos e demais ingredientes dos modelos, os resultados são observados nas simulações criadas pelos modelos. Cenários descrevem o estado inicial do sistema a partir do qual se desdobram as simulações qualitativas, e incluem as entidades e configurações que descrevem a estrutura do sistema que vai ser simulado, além de quantidades relevantes com seus valores iniciais, pressupostos e relações de igualdade e desigualdade. O simulador interpreta as condições descritas no cenário para gerar um ou mais estados iniciais. Um estado do sistema é uma descrição da situação – caracterizada pelo conjunto de valores de todas as variáveis, em que se encontra o sistema, durante algum tempo.

A partir do(s) estado(s) inicial(is) serão gerados todos os estados que representam os desdobramentos dos estados iniciais, terminando por produzir o restante do grafo de estados que representa todos os comportamentos do sistema mostrados na simulação (Bredeweg *et al.*, 2009).

O grafo de estados representa séries contínuas de mudanças pelas quais o sistema passa desde o cenário inicial até o(s) estado(s) final(is), resultando em todos os estados possíveis em que o sistema pode ser encontrado, dadas as condições iniciais estabelecidas no cenário, e o conhecimento capturado nos fragmentos de modelo. resultante dos efeitos do fluxo de causalidade decorrente das condições descritas no cenário inicial. Descrever as situações e comportamentos típicos diz respeito a especificar os resultados esperados da simulação. Dessa forma, os resultados esperados de uma simulação devem refletir, de certo modo, os objetivos do modelo.

Segundo Bredeweg *et al.* (2008) ao ser efetuada uma simulação, os cenários podem desencadear processos e incluem ações deliberadas, de forma que o sistema especificado em um cenário pode se alterar, gerando um grafo de estados. Os grafos de estados são séries contínuas de mudanças pelas quais o sistema passa resultante dos efeitos do fluxo de causalidade decorrente das condições descritas no cenário inicial. Descrever as situações e comportamentos típicos diz respeito a especificar os resultados esperados da simulação. Dessa forma, os resultados esperados de uma simulação devem refletir, de certo modo, os objetivos do modelo.

Simulações podem resultar em grafos de estado muito grandes e assim causar dois problemas. Primeiro, porque a quantidade de informação pode se tornar opressiva, à medida que a imagem global do comportamento do sistema se torna difícil de ser percebida, e segundo porque grandes simulações podem ser dispendiosas do ponto de vista computacional. O Garp3 tem uma opção chamada “fastest path heuristic” (ou caminho heurístico mais rápido) que pode ajudar em muitos desses casos (Bredeweg *et al.*, 2009).

No grafo de estados resultante de uma simulação, frequentemente existem vários caminhos para um único estado final (trajetórias de comportamento). Em muitos casos esses caminhos são distintos, ainda que praticamente idênticos no comportamento que representam: o mesmo conjunto de mudanças vai ocorrer, apenas a ordem em que essas mudanças ocorrem varia. A opção do caminho heurístico mais rápido explora esse fato (Bredeweg *et al.*, 2009).

3.2.4 Validação do modelo

A avaliação dos modelos qualitativos a serem produzidos neste trabalho foi feita por meio de algumas das técnicas discutidas em Rykiel (1996) e Sargent (2005). Estas incluem procedimentos a serem desenvolvidos durante o trabalho de modelagem (por exemplo, a criação de cenários de simulação onde se possa visualizar o comportamento de partes isoladas do modelo, de forma a comparar os resultados com o comportamento esperado para essas simulações, facilitando a localização de eventuais erros no desenvolvimento do modelo), verificação da implementação das ideias especificadas na fase de planejamento e validação conceitual e operacional do modelo junto a especialistas e possíveis usuários do modelo.

Os procedimentos utilizados para validação nesse trabalho foram semelhantes aos utilizados por Zitek (2009). Primeiramente foi feita uma apresentação de cerca de uma hora, sobre o raciocínio qualitativo e os modelos criados, para quatro analistas ambientais da área de ordenamento e gestão de recursos pesqueiros do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, que, após a exposição responderam um questionário geral sobre o assunto. Todos têm experiência aplicada na gestão de recursos aquáticos, sendo esta variável entre 1 e 25 anos de atuação.

Além dessa avaliação mais geral, o modelo foi apresentado também a um ictiólogo com conhecimentos prévios, tanto da espécie quanto do tipo de modelagem, e que, na qualidade de especialista, respondeu a um questionário diferenciado; além das perguntas presentes no primeiro, também foram feitas perguntas direcionadas às questões específicas da espécie e de outros peixes anuais. Os dois questionários podem ser encontrados nos anexos III e IV deste trabalho.

4. RESULTADOS

4.1 Saídas de campo

As saídas de campo foram mais problemáticas do que fora inicialmente previsto. Na área do Riacho Fundo, boa parte das margens é ocupada por chácaras, clubes, lotes e outras propriedades, regulares ou não, que frequentemente impossibilitavam o acesso ao Rio ou suas margens. Quando em áreas menos ocupadas onde o acesso era possível à partir de uma ponte ou estrada marginal fui surpreendido por matas ciliares ou de galeria extremamente fechadas, que rapidamente impediam a continuidade das caminhadas. Essa situação foi mais frequente ao longo do Córrego do Guará e do Riacho Fundo, antes de ARIE do Santuário da Vida Silvestre do Riacho Fundo.

No trecho entre as nascentes e a ARIE do Santuário, o Riacho Fundo corre mais encaixado, as margens são mais inclinadas e não foram observados brejos ou poças temporárias onde se pudesse apontar para a existência dos peixes (Figura 10). As áreas de preservação permanente se encontravam ocupadas em vários trechos, e em alguns casos as matas ciliares ou de galeria se encontravam completamente suprimidas. Anjos (2005) também visitou essas áreas e, de forma semelhante, observou que a Área de Preservação Permanente não era respeitada nesse trecho médio do rio, e a faixa de vegetação ripária era, em alguns casos, inexistente. Ele também observou que havia despejo de esgotos *in natura* na área média do Riacho Fundo. A situação não é melhor nos subsidiários do Riacho Fundo; no Córrego do Guará é possível observar uma grande quantidade de áreas invadidas e, em uma delas, foi possível observar a existência de valas de drenagem (Figura 11).

Na região da ARIE do Santuário do Riacho Fundo até a foz do Riacho no Lago Paranoá as margens são dominadas por uma extensa área de brejos (Figura 12). Diferente das poças temporárias onde são encontrados os Pirás-Brasília esses brejos estão mais próximos das áreas úmidas mais comuns no cerrado do Planalto central, descritas por Eiten (1978) como uma faixa de campo úmido com gramíneas entre os campos mais altos e a mata de galeria, que podem variar de alguns poucos a dezenas de metros de largura. Nesses campos, segundo Eiten, a lâmina d'água chega à superfície parte do ano ou escorre pelo campo após brotar na parte inferior do declive, o que parece ser o caso dos brejos da ARIE do Santuário do Riacho Fundo. Todos os peixes encontrados nessas áreas eram de espécies não anuais (Figura 13).

É bem provável que a formação do Lago Paranoá tenha influenciado diretamente na profundidade e nas variações sazonais do lençol freático nas áreas mais próximas da foz do Riacho Fundo. Somada à impermeabilização da área urbana no entorno, é esperado que nessa área o lençol freático esteja mais alto e as variações sejam menores – o que possivelmente se refletiria na intensidade e na sazonalidade dos alagamentos na área.

O único biótopo encontrado na micro-bacia do Riacho Fundo foi aquele citado por Costa e Brasil (2006) próximo à localidade-tipo da espécie. Em nenhuma outra área visitada foram encontrados vestígios de um novo biótopo, ainda que degradado.

A localização deste biótopo não será divulgada aqui por razões de segurança à espécie, já que é recorrente a busca pela espécie por parte de criadores amadores de peixes anuais. Pelo mesmo motivo serão dados maiores detalhes sobre as outras áreas visitadas na bacia em busca de biótopos.

A visita ao novo biótopo se deu em 15 de fevereiro de 2009. O pH observado foi de 6,34, a condutividade era de 27,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a transparência da água era total. Shibatta (2005), em suas medições, alertara para a existência de baixa relação entre o oxigênio dissolvido e a temperatura, além da possibilidade de grandes mudanças nessas variáveis ao longo do dia e da noite. O mesmo foi abordado por Nico *et al.* (1989), principalmente para o oxigênio dissolvido. Por essa razão, a temperatura e o oxigênio dissolvido não foram medidos.

A maior parte do biótopo estava em campo aberto, mas um pequeno trecho adentrava a mata ciliar. A parte aberta é completamente tomada por Ciperáceas, que emergem camuflando a água, que só pode ser vista quando se chega a menos de 5 metros de distância da poça (efeito que pode ser visualizado na Figura 14). Não observamos *Sphagnun* nesse biótopo, mas uma variedade significativa de plantas submersas e algas puderam ser observadas, com destaque para *Eriocaulon* sp. (essa espécie não foi encontrada em nenhum outro ponto da bacia), *Bacopa* sp. (Figura 15), *Sagitaria* sp. e *Mayaca sellowiana*. Uma informação interessante aqui é que parecia haver certo zoneamento entre as plantas submersas: *Sagitaria* sp. e *Mayaca sellowiana* ocorreram mais próximas da mata ciliar, a primeira na parte mais funda e a segunda na parte mais rasa. *Eriocaulon* sp. e *Bacopa* sp. podiam ser vistas nas áreas mais abertas da poça, a primeira bem dispersa, enquanto a segunda se concentrava nas partes mais rasas.



Figura 10: Nascentes do Riacho Fundo



Figura 11: Drenagem de água encontrada nas áreas invadidas do córrego do Guará



Figura 12: Brejo de nascentes na região da ARIE Santuário do Riacho Fundo

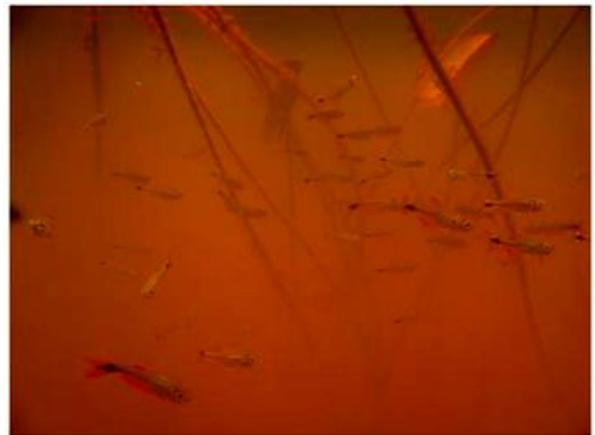


Figura 13: *Hasemanía hanseni* em um poço nos brejos da ARIE Santuário do Riacho Fundo

A profundidade em média não passava de 30 a 40cm, mas em alguns pontos dentro da mata de galeria chegou a quase um metro. Não foi observada nenhuma conexão entre o biótopo e outros corpos d'água, embora pudesse ocorrer algum tipo de conexão na área situada dentro da mata ciliar, que não pôde ser contornada devido à densidade da vegetação, nenhum outro peixe foi encontrado em simpatria com o Pirá-Brasília, o que leva a crer que não havia nenhuma conexão com o rio. Foram coletados, além do Pirá-Brasília, vários exemplares de girinos (Figura 16), odonatas e hirudíneos (Figura 17). Aparentemente

os Pirás se concentravam na área central da poça e os hirudíneos próximos da área sombreada pela mata ciliar, ao passo que os girinos se distribuíram mais aleatoriamente.

A poça tem 30m de comprimento por 10 de largura, com a borda bem definida, ainda que o solo úmido se estenda por centenas de metros ao redor. O contorno é tomado por Poaceae e *Eleocharis* sp., sendo que a primeira serviria, indiretamente, para apontar os limites da área alagada, ao passo que *Eleocharis* adentrava um pouco a área alagada. O contorno do biótopo é facilmente observado em fotos de satélite com boa resolução (Figura 18), e as medidas foram tomadas com o auxílio de ferramentas do Google Earth®.

A poça dista 225m em linha reta de uma movimentada rodovia, o que torna o acesso relativamente fácil para qualquer um que tenha conhecimento da mesma. No trajeto observou-se duas pilhas de entulhos de construção, completamente tomadas pelo mato. Além disso, quase metade do caminho até a poça apresentava uma fina camada de poeira cinza misturado ao solo, que foi associada a resíduos de cimento.

Se comparadas às medidas observadas por Shibatta nas duas poças da RECOR, o biótopo visitado apresenta medidas mais altas tanto de pH quanto de condutividade. Como não foi realizado um acompanhamento pretérito não há como ter certeza, mas existe a possibilidade de haver nesse segundo biótopo a influência dos resíduos de cimento encontrado nos arredores na química da água da poça.

Também foi visitada a área onde o biólogo da UnB Pedro de Podestá coletou em 2007 dois exemplares jovens de Pirá-Brasília, na Fazenda Água Limpa. Trata-se de uma mata fechada de galeria, que na época em que foi realizada a coleta estava totalmente alagada segundo informações do biólogo. A área destoa completamente do biótopo visitado anteriormente e daquele descrito por Shibatta (2005) e, até pela baixa quantidade de animais coletados, eu diria se tratar de uma área utilizada para deslocamento e busca de novos habitats.



Figura 14: Vista parcial do biótopo adentrando a mata ciliar



Figura 15: Bacopa sp. observada na área aberta da poça

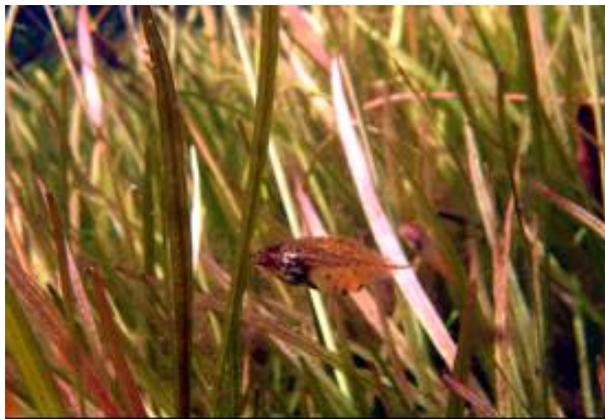


Figura 16: Girino simpátrico ao Pirá-Brasília



Figura 17: Hirudinea encontrada na poça



Figura 18: Foto do biótopo em escala 1: 700

4.2 Usuários e objetivos do modelo

Diferentes usuários tem diferentes necessidades quanto a um modelo. Definir os usuários é, portanto, essencial para a construção do modelo.

Os dois modelos desenvolvidos nesse trabalho têm como público-alvo os gestores ambientais envolvidos na análise de projetos e propostas de preservação do Pirá-Brasília ou outros peixes anuais sul-americanos. A proposta é mostrar a esse público-alvo como as espécies do grupo se relacionam com o meio, a dependência da natureza cíclica e a fragilidade dos biótopos diante do avanço do homem sobre essas áreas. Pode ser usado também subsidiariamente em programas de educação para a conservação de espécies ameaçadas de peixes anuais.

4.3 Modelo 1: O Ciclo de vida do Pirá-Brasília

4.3.1 Modelo verbal

O clima influencia o sistema por meio das estações do ano e das variações esperadas no fotoperíodo e no balanço entre precipitação e evaporação ao longo das estações. As espécies invasoras também podem influenciar o ciclo do Pirá-Brasília.

Os objetos centrais do sistema de interesse são o biótopo, dividido entre massa d'água e substrato, e os peixes, trabalhados em diferentes estágios de vida: o de embrião, que inclui as fases de diapausa I, II e III e está associado ao substrato do biótopo, e o de peixes propriamente ditos, que agrupam tanto alevinos quanto adultos, e estão associados à existência de massa d'água.

O clima influencia o biótopo através do balanço entre precipitação e evaporação, que dita as variações no nível da massa d'água e na umidade do solo. O aumento na umidade do solo, por ação microbiológica, desencadeia a redução do oxigênio dissolvido nesse ambiente e a eclosão dos embriões em diapausa III, com a consequente diminuição na quantidade de embriões e o aumento na quantidade de peixes.

Caso o biótopo não seque antes de os peixes atingirem a maturidade, eles passam a desovar no substrato enquanto existirem condições adequadas. Os ovos depositados contêm embriões que podem ou não entrar em quiescência, sendo o oxigênio dissolvido no solo o fator determinante nesse caso. Em ambiente natural, espera-se a condição de ausência de oxigênio no solo durante a desova e que todos os ovos passem por diapausa I.

O início do período seco e a gradativa perda de água pelo biótopo aumentam a quantidade de oxigênio no solo induzindo a continuidade no desenvolvimento embrionário até a diapausa II onde, em geral, o desenvolvimento para até que ocorra um aumento do fotoperíodo luminoso, que restabelece o mesmo. Os ovos voltam então a diapausa III, na qual permanecem até que o ciclo recomece.

Nos ciclos em que a massa d'água chega a níveis altos, pode haver contato do biótopo com outros corpos d'água da região permitindo a entrada de espécies não anuais no biótopo. Estas tendem a predar ou competir fortemente com as espécies anuais, que podem vir a ser expulsas do biótopo. Ainda assim, a natureza prolífica da espécie parece ser suficiente para garantir a prole seguinte.

4.3.2 Pressupostos utilizados

Para construção do modelo, foi assumido o pressuposto geral de que todos os embriões, aqui, se comportariam de maneira semelhante. Como pode ser verificado no capítulo 2, pode haver embriões que não eclodem na primeira vez em que as chuvas voltam, e outros que não passam por nenhum dos períodos de diapausa. A explicação para isso pode ter fundo ambiental ou genético, mas neste modelo optou-se por focar no que seria o comportamento esperado como normal nos embriões.

Entre os primitivos de modelagem, apresentados na tabela 3, três pressupostos foram utilizados em algum momento para restringir a atividade de certos fragmentos de modelo a certos cenários e simulações específicas. Todos dizem respeito ao nível máximo da massa d'água, associando-o ao volume de chuvas. Isso se faz necessário para diferenciar situações em que a chuva não foi suficiente para permitir que os peixes crescessem e desovassem, ou foi intensa ao ponto de gerar conexões com outros corpos d'água e permitir a invasão de outras espécies. Dessa forma, independentemente do fator tempo ou da profundidade da poça, pode ser visualizado o comportamento do sistema conforme eventos biológicos.

Outros três pressupostos foram utilizados para controlar acontecimentos e limitar a cadeia de acontecimentos em alguns testes em cenários preliminares. Esses pressupostos determinam a ativação do processo de mortalidade e de desova dos peixes.

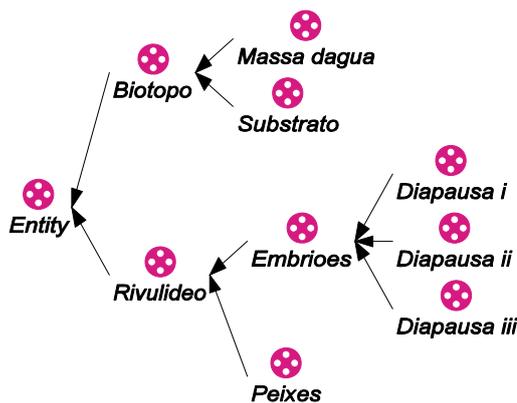
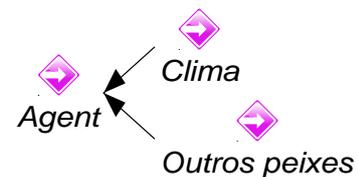
Tabela 3: Pressupostos utilizados no modelo

Pressuposto	Comentários
Período de chuvas fracas	Massa d'água não ultrapassa o nível “baixo” – Vai ser utilizada para simular situações em que a eclosão ocorre, mas a desova não.
Período chuvoso intenso	Massa d'água atinge seu nível máximo permitindo conexão com outros corpos d'água
Chuvas dentro da média	Massa d'água não ultrapassa o nível “médio” – Representa um ciclo de chuvas dentro das médias esperadas.
Ocorre mortalidade	Determina a inclusão dos fragmentos relativos ao processo de mortalidade dos peixes.
Ocorre desova	Determina a inclusão dos fragmentos relativos ao processo de desova dos peixes.

4.3.3 Entidades, Agentes e Configurações

As nove entidades utilizadas nesse primeiro modelo foram definidas com base nas fases de vida dos peixes e as porções dos biótopos com as quais elas interagem. A árvore de entidades para o presente modelo foi gerada pela plataforma GARP3 e pode ser organizada conforme a figura 20.

Apenas dois agentes foram utilizados no modelo. A árvore de agentes gerada pela plataforma GARP3 está representada na forma da figura 21. A figura 22 mostra a estrutura completa de Entidades e Configurações no modelo.

**Figura 19: Arvore de entidades****Figura 20: Arvore de agentes**

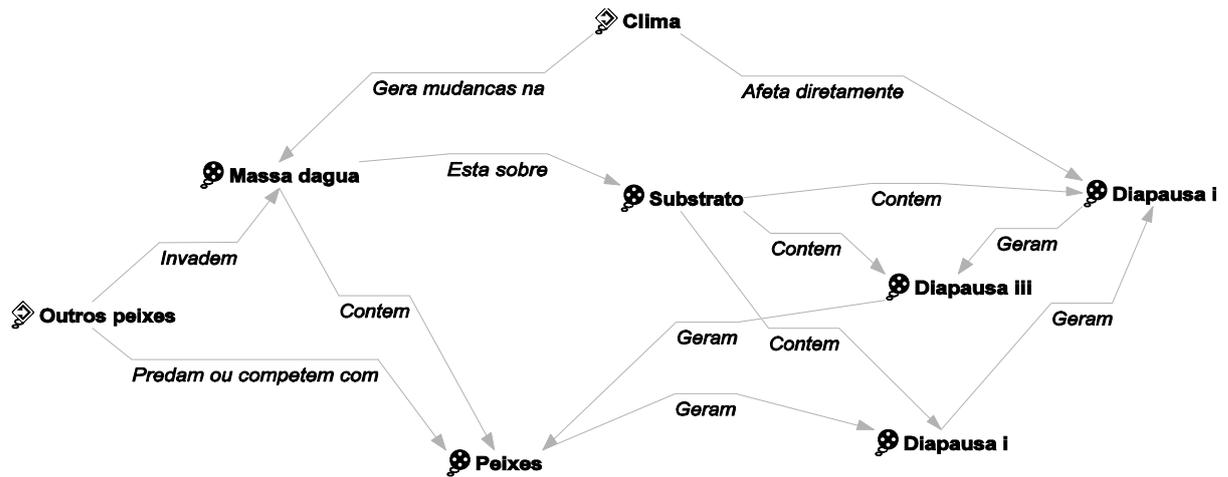


Figura 21: Entidades, Agentes e configurações no modelo

4.3.4 Quantidades e espaços quantitativos

O modelo ciclo de vida do Pirá-Brasília contém 14 quantidades que utilizaram 7 espaços quantitativos diferentes. A tabela 4 dispõe as quantidades utilizadas e os espaços quantitativos e entidades relacionadas às mesmas

Tabela 4: Quantidades utilizadas no modelo

Entidade/Agente	Quantidade	Espaço Quantitativo	Observações
TAXAS DE PROCESSOS			
CLIMA	Balço de evap precip	Mzp	Representa o saldo entre a precipitaço e a evaporaço da água
EMBRIÕES	Taxa de embriogenese	Zp	Representa o desenvolvimento dos embriões entre os estgios de diapausa, incluindo a eclso – no caso da diapausa III
OUTROS PEIXES	Taxa de invaso	Zp	Representa a entrada de peixes de outras espccies, no anuais, no sistema.
OUTROS PEIXES	Taxa de mortalidade	Zp	Representa a mortalidade dos peixes e reduz sua quantidade
PEIXES – RIVULIDEO	Taxa de desova	Zp	Representa a desova efetuada por peixes maduros que gera embriões em diapausa I
PEIXES – RIVULIDEO	Taxa de mortalidade	Zp	Representa a mortalidade dos peixes e reduz sua quantidade
OUTRAS QUANTIDADES			
CLIMA	Estao do ano	SPC	Representa a variao cclica entre perodos de seca e chuva

CLIMA	Fotoperíodo	Bma	Representa as variações relativas ao período diário de incidência de luz
MASSA D'ÁGUA	Nível da água	Zpmg	Representa a altura da massa d'água no biótopo
MASSA D'ÁGUA	Área alagada	Zpmg	Representa a área alagada pelo biótopo
OUTROS PEIXES	Quantidade	Zpmg	Representa a população de outros peixes no biótopo
RIVULIDEO	Quantidade	Zpmg	Representa a população de rivulídeos – tanto para ovos quanto para peixes
SUBSTRATO	Oxigênio no substrato	Zmm	Representa quantidade de oxigênio dissolvido no substrato
SUBSTRATO	Umidade	Mmm	Representa umidade média no solo do biótopo

zp={zero, positivo}; mzp={minus, zero, plus}; zpmg={zero, pequeno, médio e grande}; mmm={mínima, média, máxima}; spc={secas, períodos intermed, chuvas}; zmm={zero, médio, Maximo}; bma={baixa, média, alta}

4.3.5 Fragmentos de modelo

O modelo do ciclo de vida do Pirá-Brasília é constituído por 73 fragmentos de modelo, dos quais 50 são fragmentos estáticos, cuja função é descrever a estrutura do sistema e especificar conceitos utilizados. Outros 9 descrevem processos como a eclosão dos ovos, a mortalidade e a embriogênese. Os últimos 14 fragmentos de modelo envolvem a influência de agentes externos ao modelo, como o clima e espécies de peixes invasores.

Um resumo do que foi trabalhado para cada entidade ou agente externo, e os fragmentos de modelo mais importantes, será apresentado a seguir. A totalidade dos fragmentos do modelo do ciclo de vida do Pirá-Brasília está disposta para consulta no anexo I desse trabalho.

4.3.5.1. O Biótopo

De maneira simplificada, o biótopo foi dividido entre o substrato e a massa d'água. Inicialmente foram tentadas configurações mais complexas, envolvendo produtividade primária, zooplâncton e quantidade de matéria orgânica. Mas devido à grande quantidade de estados gerados nas simulações após a adição desses outros componentes, optou-se por tornar a abordagem do biótopo o mais simplificada possível.

A composição básica da massa d'água foi apresentada em dois fragmentos de modelo (F01 e F01a – ver anexo I do trabalho). O primeiro apresenta a definição básica de

que a massa d'água possui *nível da água*, enquanto o segundo introduz a quantidade *área alagada*, que varia de forma positivamente proporcional ao *nível da água*.

A composição do substrato, assim como sua relação com a massa d'água, é apresentada em três fragmentos (F02, F02a e F02b). O primeiro atribui ao substrato a quantidade *umidade*, enquanto o segundo traz uma influência inversamente proporcional da *umidade* sobre o *oxigênio no substrato*.

O último desses fragmentos, ilustrado na figura 22, associa positivamente o *nível da água* à *umidade* do substrato e faz as correspondências condizentes: o substrato como um todo fica completamente encharcado nos níveis mais altos da massa d'água.

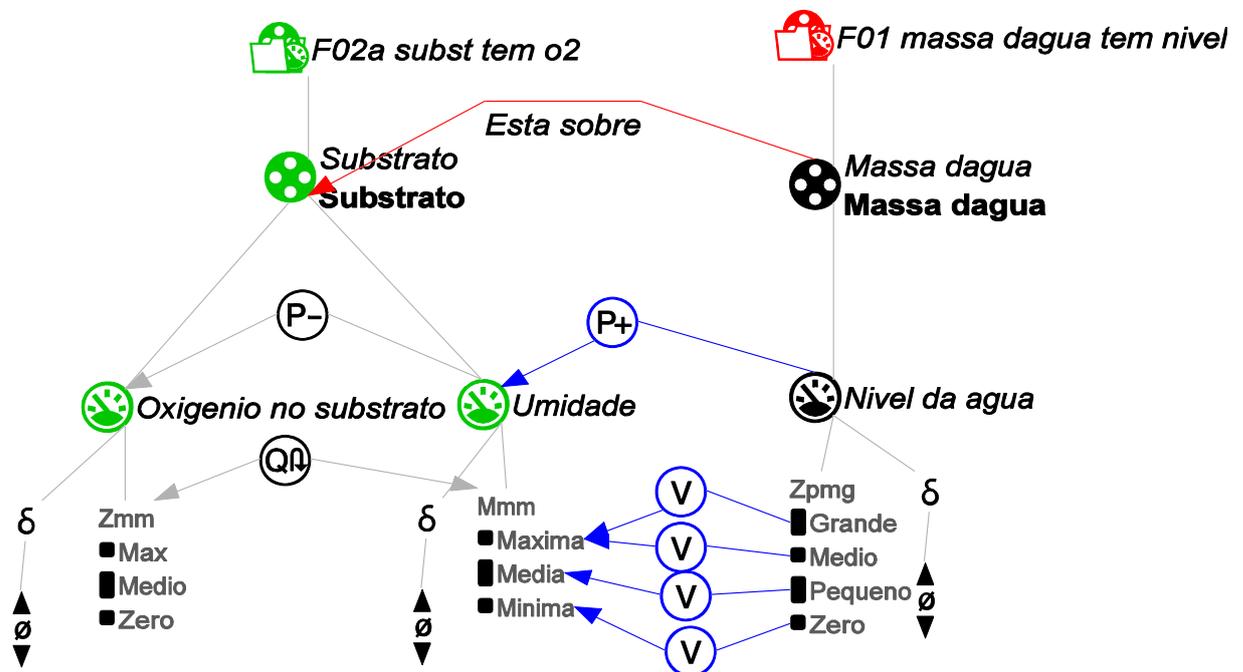


Figura 22: F02b Massa d'água influencia umidade do substrato

4.3.5.2. O Clima

Por razões semelhantes ao que foi citado para o biótopo, o clima também foi trabalhado de maneira simplificada. As quantidades escolhidas para serem incluídas no modelo foram: *Estações climáticas*, *Fotoperíodo* e *Balanço entre precipitação e evaporação*. A configuração básica e as relações de proporcionalidade entre as *Estações climáticas*, o *Fotoperíodo* e o *Balanço entre evaporação e precipitação* foram descritas em dois diferentes fragmentos de modelo (F03 e F03a). O fragmento F03a, que apresenta as proporcionalidades citadas, é apresentado na Figura 23.

Corpos de água lânticos tendem a apresentar flutuações em seus níveis de acordo com as taxas de evaporação e precipitação na região. A relação entre o clima e o biótopo é descrita em um único fragmento de modelo (F04), e é de influência direta do *Balanço entre evaporação e precipitação* sobre o *Nível da água*.

Envolvendo essa relação ainda foram criados outros cinco fragmentos (F01b, F01c, F01d, F01e E F01f) com a função de descrever o comportamento do nível da água em diferentes situações. Um deles descreve o comportamento do sistema durante chuvas rápidas, fora de época, quando o biótopo torna a secar sem que o *Nível da água* jamais ultrapasse o mínimo. Outros três apresentam a descrição do comportamento esperado durante períodos de chuvas normais, nos quais a chuva persiste por tempo suficiente para encher o biótopo, mas não para transbordá-lo, e o *Nível da água* nunca é maior que médio. Finalmente, o último destes fragmentos estabelece que, quando existe o pressuposto de período chuvoso intenso a poça apresentará os maiores níveis de alagamento. Isso significa dizer que, se o *Nível da água* é maior que zero e o *Balanço entre precipitação e evaporação* é zero (fim do período chuvoso), o nível da massa d'água será alto.

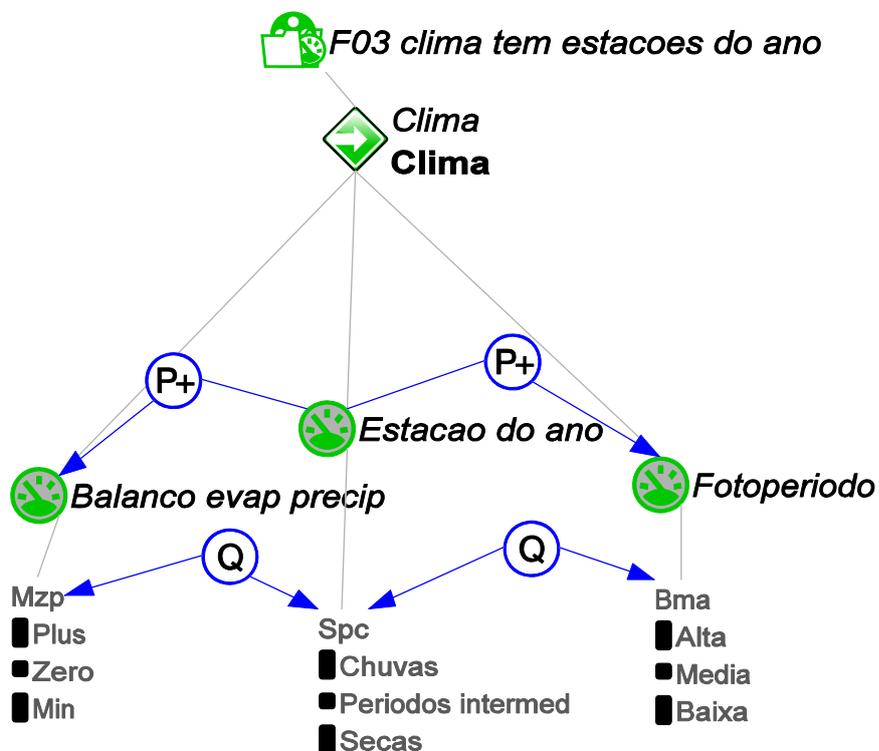


Figura 23: F03a Estações alteram precipitação e fotoperíodo

4.3.5.3. Embriões em Diapausa III

O primeiro estágio de vida do Pirá-Brasília a ser trabalhado foi o de embriões em diapausa III, ou pré-eclosão, que apresenta as variáveis *Quantidade* e *Taxa de embriogênese*.

A Figura 24 traz o fragmento de modelo F05d, que apresenta uma das regras de comportamento relacionada ao final da diapausa III e início do processo de eclosão dos ovos, catalisado pelo aumento da umidade no substrato.

Ao todo, são nove fragmentos de modelo relacionados aos embriões em diapausa III, descrevendo o comportamento e a estrutura do sistema nessa fase (F05, F05a, F05b, F05c, F05d, F05e, F05f, F05g e F06). Tais comportamentos mudam de acordo com a presença ou ausência de água e a tendência da quantidade de embriões.

4.3.5.4. Peixes – Juvenis e adultos

Tomando por base a sequência lógica de desenvolvimento dos peixes, os trabalhos se seguiram com as fases juvenil e adulta, tratadas aqui como uma única entidade: Peixes. Essa entidade também possui *Quantidade*, que aumenta por influência direta da *Taxa de embriogênese* dos embriões em *Diapausa III*, ao mesmo tempo em que a inibe. Esse mecanismo de feedback está descrito no fragmento de modelo F07a, ilustrado na Figura 25. Ao todo, três fragmentos de modelo envolvem a caracterização dos peixes e o processo de nascimento (F06a, F07 e F07a).

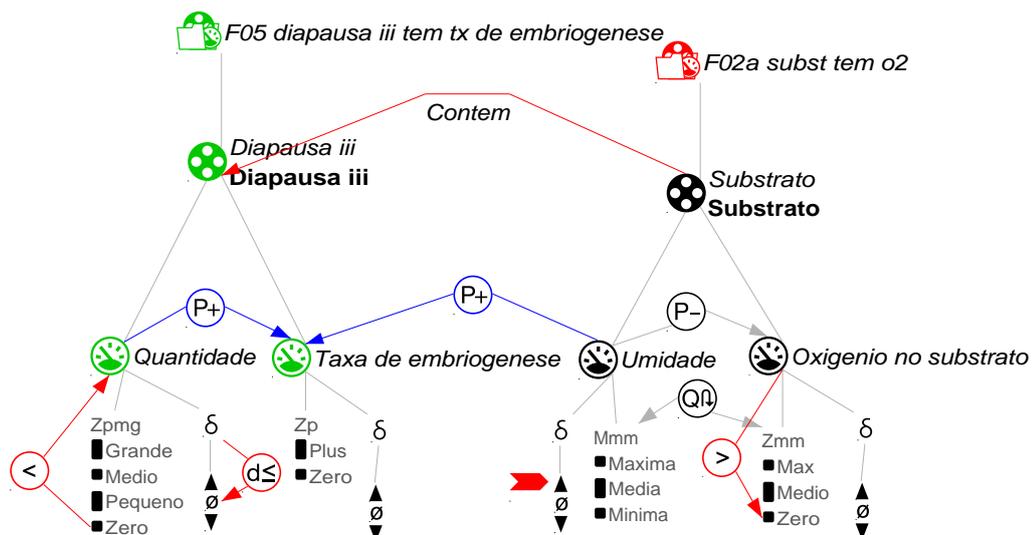


Figura 24: F05d Quantidade de embriões em diapausa III constante ou diminuindo e umidade influenciam a taxa de embriogênese.

Um grupo de nove fragmentos (F07b, F07c, F07d, F07e, F07f, F07g, F07h, F07i e F09) está associado à adição do pressuposto *Ocorre mortalidade*, que associa a *Taxa de*

mortalidade à entidade *Peixes*. Esta taxa é diretamente proporcional à *Quantidade* de peixes, e inversamente proporcional pela *Área alagada* da *Massa d'água* que contém os peixes, tal qual descrito no fragmento de modelo F07d, mostrado na Figura 26. Apesar da possibilidade de que as influências anteriores sejam opostas, existem limites nessa influência, o que reduz de maneira significativa a quantidade de estados redundantes nas simulações. Sempre que a *Quantidade* de *Peixes* ou o *Nível da Massa d'água* for zero, a *Taxa de mortalidade* é zero, ao passo de que se a *Quantidade* de *Peixes* for positiva, a *Taxa de mortalidade* também será. A *taxa de mortalidade* influencia negativa e diretamente a *Quantidade* de *Peixes*.

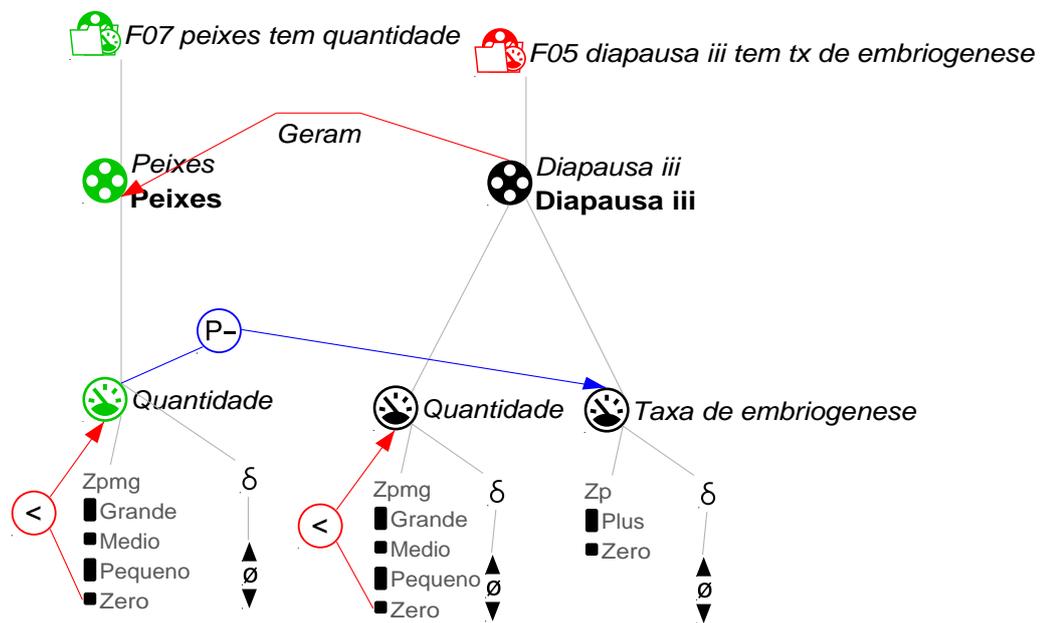


Figura 25: F07a Peixes inibem natalidade de embriões em Diapausa III

Um segundo grupo de oito fragmentos de modelo (F08, F08a, F08b, F08c, F08d, F08e, F08f e F08g) envolve a adição do pressuposto *Ocorre desova* que adiciona a *Taxa de desova* à entidade *Peixes*. Eles descrevem o comportamento do sistema quando esse pressuposto é ativo, mostrando a influência positiva da *Quantidade* de *Peixes* sobre a *Taxa de desova*, e a influência negativa da *Área alagada* sobre a mesma taxa. A influência negativa da área alagada está relacionada com a maior dificuldade em se encontrar parceiros quando a área aumenta, mas também foi pensada para representar o tempo necessário para amadurecimento dos filhotes no início das chuvas.

Entra nessa parte do modelo a principal função do pressuposto de chuvas rápidas, que representam aquelas chuvas em que o período de cheia é insuficiente para maturação dos adultos, impedindo que a *Taxa de desova* fique maior que zero.

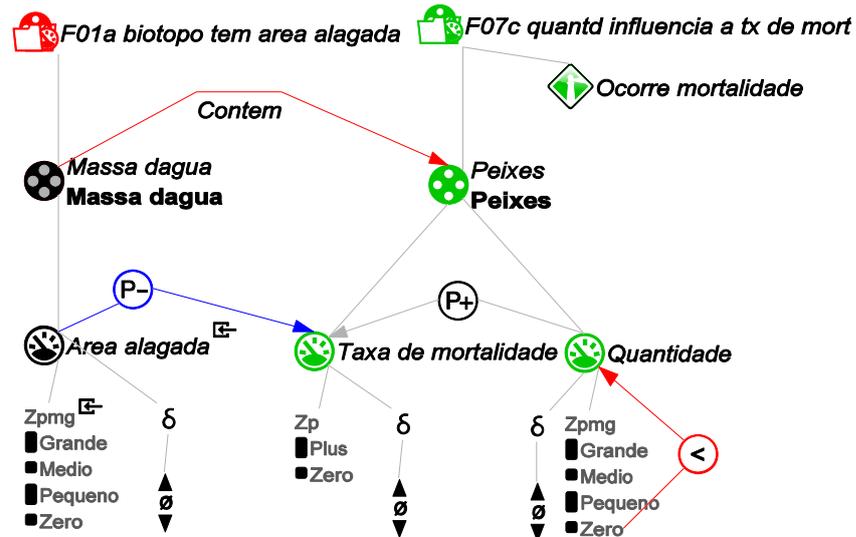


Figura 26: F07d Área alagada influi na taxa de mortalidade de peixes

4.3.5.5. Embriões em Diapausa I

A *Taxa de desova* dos *Peixes* gera aumento na *Quantidade* de embriões em *Diapausa I*, e por isso é essa a próxima entidade a ser apresentada. A terceira entidade associada ao ciclo de vida do Pirá-Brasília é apresentada em oito novos fragmentos de modelo (F10, F11, F11a, F11b, F11c, F11d, F11e e F12).

A entidade *Diapausa I* possui as propriedades *Quantidade* e *Taxa de embriogênese*. Os embriões nessa fase não passam por uma diapausa verdadeira, mas por uma quiescência. Isso significa que, se houver oxigênio no substrato, a embriogênese pode continuar normalmente. Dessa forma, o aumento da *Quantidade* pode gerar aumento da embriogênese, mas em ambiente natural o substrato aparenta ser, via de regra, pobre em oxigênio durante a fase alagada. Assim, os embriões entram em quiescência, da qual só sairão quando houver o aumento na quantidade de oxigênio dissolvido no substrato, o que influencia positivamente o aumento na *Taxa de embriogênese*, conforme descrito no fragmento de modelo F11d, mostrado na Figura 27. Enquanto o oxigênio no substrato estiver diminuindo ou constante, a quiescência deve persistir.

A *Taxa de embriogênese* induz diretamente a redução da *Quantidade* de embriões em *Diapausa I*, e enquanto a *Quantidade* de embriões em *Diapausa I* for constante ou estiver se reduzindo ela influi positivamente a *Taxa de embriogênese*. Se não houver embriões, a *Taxa de embriogênese* é obrigatoriamente zero.

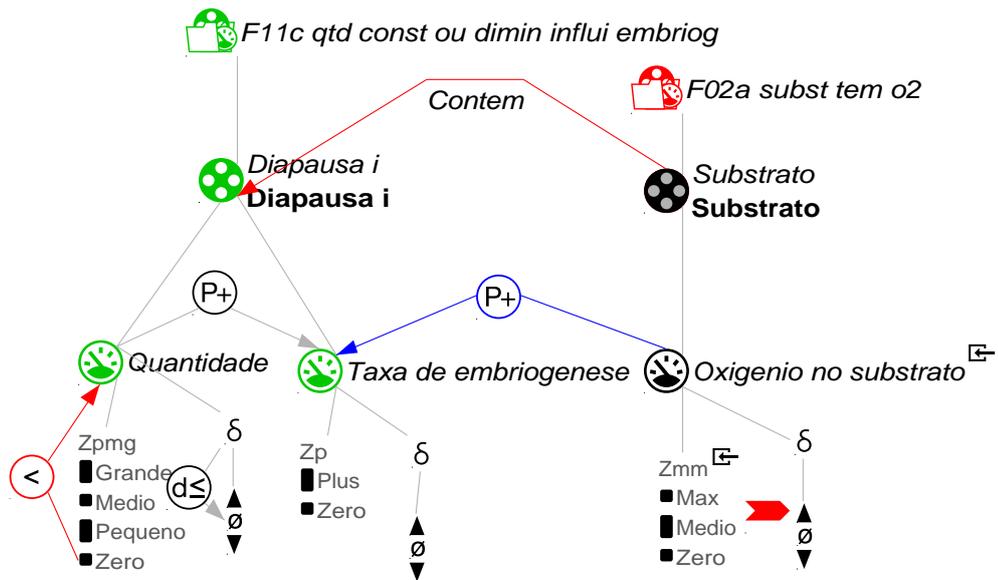


Figura 27: F11d Oxigênio no substrato influi na *Taxa de Embriogênese* se estiver aumento

4.3.5.6. Embriões em Diapausa II

A *Taxa de embriogênese* da Diapausa I aumenta a quantidade de embriões em *Diapausa II*, a última entidade a ser trabalhada. As propriedades dessa nova entidade são *Quantidade* e *Taxa de embriogênese*, e o comportamento dessas quantidades no sistema é descrito em nove fragmentos de modelo (F12a, F13, F13a, F13b, F13c, F13d, F13e, F14 e F14a).

Os embriões em Diapausa II passam por uma diapausa obrigatória. Dessa forma, o aumento da *Quantidade* de embriões, por si só, não gera nenhuma influência na taxa de embriogênese. O aumento da *Taxa de embriogênese* para essa entidade se dará somente por influência direta do clima, por meio do aumento do *Fotoperíodo*, conforme descrito no fragmento F13a, mostrado na Figura 28. A diapausa, propriamente dita, perduraria enquanto o *Fotoperíodo* estivesse constante ou diminuindo.

A *taxa de embriogênese* da *Diapausa II* induz diretamente a redução da quantidade de embriões em diapausa II, e quando a quantidade de embriões em diapausa II está constante ou reduzindo ela influi positivamente sobre a taxa de embriogênese. Se não houver embriões a taxa de embriogênese é obrigatoriamente zero. Essa mesma taxa de embriogênese, vai gerar o aumento da quantidade de embriões em diapausa III, fechando o ciclo de vida dos peixes aqui tratados.

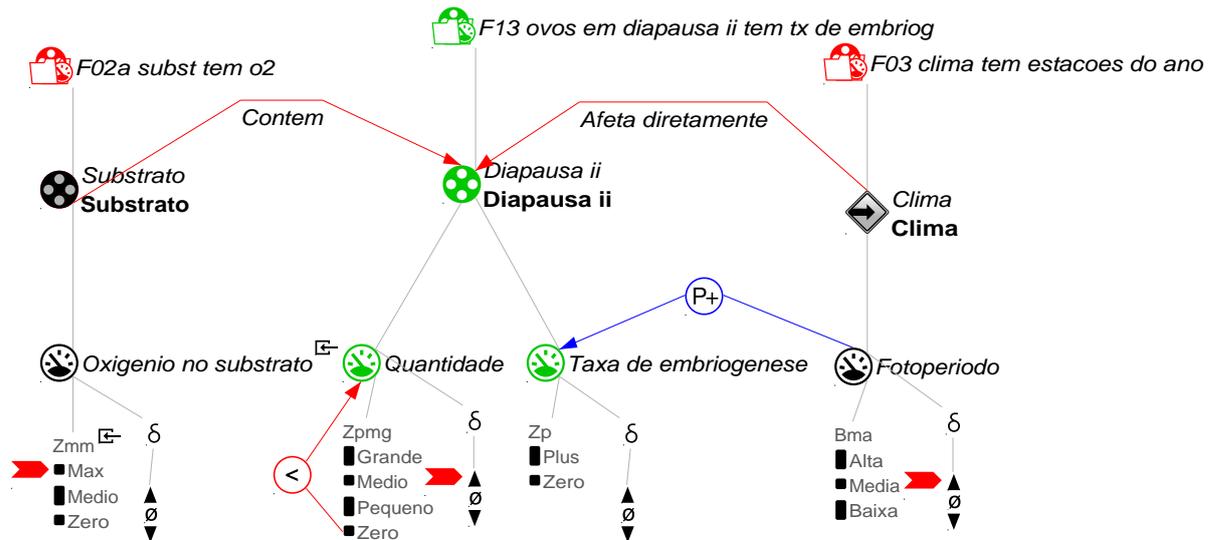


Figura 28: F13a *Quantidade* de embriões em Diapausa II maior que zero e aumentado, *Fotoperíodo* aumentando e *Oxigênio no substrato* são condições para que o fotoperíodo influencie a taxa de embriogênese

4.3.5.7. Peixes não-anuais invasores

O último elemento a ser acrescentado ao modelo foi o agente externo *Outros peixes*, associado primariamente à propriedade *Quantidade*. Este agente externo, como a entidade Peixes, possui dois grupos distintos de fragmentos.

O primeiro diz respeito à invasão da *Massa d'água* por *Outros peixes*. A *Taxa de invasão* sofre influência positiva do *Nível da água* quando este fica acima do valor médio. Essa taxa aumenta a *Quantidade* de *Outros Peixes* que, por sua vez, competem ou predam Peixes-anuais, levando a um aumento na *Taxa de mortalidade* dessa entidade, conforme o fragmento F07j, mostrado na Figura 29.

O processo de invasão cessa com a diminuição das águas. Esses comportamentos estão descritos em sete fragmentos de modelo dedicados a esse agente externo (F15, F15a, F15b, F15c, F15d, F07j e F07k).

Um segundo grupo com outros sete fragmentos de modelo (F15e, F15f, F15g, F15h, F15i, F15j e F15k) introduz a propriedade *Taxa de mortalidade* ao agente externo espécies invasoras, que se assemelha ao que ocorre nos peixes. Esta taxa sofre influência positiva pela *Quantidade* de *Outros peixes*, e negativa pela *área alagada* da *Massa d'água*. Apesar da possibilidade de que as influências anteriores sejam opostas, existem limites nessa influência, reduzindo de maneira significativa a quantidade de estados redundantes nas simulações.

Os problemas ambientais considerados mais significantes nas micro-bacias do Riacho Fundo e do Ribeirão do Gama podem ser usados para o esforço de modelagem. Entre aqueles que influenciam a qualidade ambiental dos biótopos, destacam-se o carreamento de lixo pelas enxurradas, o desmatamento das áreas de proteção permanente e a erosão do solo. Entre as intervenções humanas que geram destruição completa dos habitats, incluem-se o represamento dos rios para abastecimento de água ou geração de energia, a ocupação de áreas de proteção permanente para habitação em área urbana e a drenagem de áreas úmidas para uso agropecuário em áreas rurais.

O carreamento de lixo pela enxurrada afeta a qualidade ambiental do substrato e da massa d'água de um biótopo, pois tende a induzir alterações físico-químicas tanto na água quanto no solo, que podem prejudicar os peixes-anais direta (ex: elevando o pH da água a níveis intoleráveis) ou indiretamente (matando a flora aquática e reduzindo a quantidade de refúgios).

O desmatamento da Área de Preservação Permanente, seja a vegetação do entorno ou aquela constante no próprio biótopo, reduz a qualidade ambiental da massa d'água através de alterações no micro-clima, redução na quantidade e qualidade de nichos ecológicos, entre outros efeitos indiretos como o aumento da turbidez da água.

A erosão do solo tende a gerar perda de matéria orgânica no mesmo, que pode acarretar menor capacidade de retenção de umidade ou menor aeração durante o período seco, comprometendo a qualidade ambiental do substrato dos biótopos.

O aumento da densidade populacional, e conseqüentemente da pressão antrópica, tende a aumentar todos os problemas citados acima através de um elemento comum: a destruição da vegetação em áreas de proteção permanente, que podem atuar tanto como áreas de drenagem para a água da chuva quanto como elementos fixadores do solo, reduzindo o processo de erosão.

Essa mesma pressão antrópica gera demanda por água, energia e áreas para habitação e produção agropecuária. A demanda por água e energia induz aumento na taxa de construção de represas e reservatórios de água, que alagam grandes áreas e alteram o pulso de inundação tanto à montante quanto jusante.

A ocupação humana em áreas de várzea geralmente está associada ao aterramento das áreas úmidas, destruindo os biótopos que possam ali existir. Da mesma forma acontece na drenagem de áreas úmidas para uso pela agropecuária.

As poças temporárias, como outros ambientes aquáticos do gênero, tendem a abrigar uma grande quantidade de espécies raras e endêmicas (King *et al.* 1996, Nicolet *et al.*

2004, Deil 2005 *apud* Williams, 1997; 2006; Roeck, 2008), contribuindo diretamente para diversidade biológica regional. De uma maneira simplificada, considerou-se o entendimento de que, quanto maior a quantidade de biótopos, maior a conectividade entre eles e, de acordo com a Teoria da Biogeografia de Ilhas, quanto maior a conectividade entre os biótopos maior a diversidade biológica.

4.4.2 Pressupostos utilizados

O principal pressuposto nesse segundo modelo é de que os problemas ambientais descritos são os principais fatores determinando a diminuição da qualidade dos biótopos e da quantidade dos mesmos nas micro-bacias do Riacho Fundo e do Ribeirão do Gama.

No contexto dos primitivos de modelagem, o modelo sobre os problemas ambientais utilizou oito pressupostos diferentes para restringir a atividade de certos fragmentos de modelo a cenários e simulações específicas, apresentados na tabela 5. Quatro pressupostos dizem respeito ao tipo de impacto ambiental para o qual aquele fragmento de modelo será ativado, dois condicionam o fragmento à existência de apenas um tipo de impacto, e os outros dois tratam de situações diversas relativas a drenagem da água.

Tabela 5: Pressupostos utilizados no modelo

PRESSUPOSTO	COMENTÁRIOS
Drenagem natural apenas	Considera que a maior parte da drenagem de água da chuva é realizada pela vegetação, principalmente de Áreas de Preservação Permanente
Drenagem natural e artificial	Considera que a drenagem artificial, feita através de ações e construções humanas, tem papel relevante na drenagem da água da chuva.
Não ocorrem outros impactos na massa d'água	Considera que apenas um tipo de impacto sobre a massa d'água estará sendo avaliado.
Não ocorrem outros impactos no substrato	Considera que apenas um tipo de impacto sobre o substrato estará sendo avaliado.
Ocorre desmatamento	Considera que naquele fragmento de modelo ou simulação estará ocorrendo desmatamento de APPs.
Ocorre destruição de habitats	Considera que naquele fragmento ou simulação estará ocorrendo destruição de habitats.
Ocorre erosão	Considera que naquele fragmento ou simulação estará ocorrendo erosão.
Ocorre poluição por lixo	Considera que naquele fragmento ou simulação estará ocorrendo poluição por lixo carreado.

4.4.3 Entidades, Agentes e Configurações

Nove entidades foram utilizadas na estruturação desse modelo, definidas com base na composição dos biótopos e nos diferentes usos e áreas de uma bacia. A árvore de entidades para o presente modelo foi gerada pela plataforma GARP3 e pode ser organizada conforme a figura 1.

Apenas dois agentes foram utilizados no modelo. A árvore de agentes gerada pela plataforma GARP3 pode ser organizada na forma da figura 2.

As entidades e agentes se relacionam por meio de configurações ou relações estruturais. Configurações modelam como as entidades e agentes estão estruturalmente relacionadas (Bredeweg *et al.*, 2009). A figura 32 mostra a estrutura completa de Entidades e Configurações no modelo de conservação de biótopos.

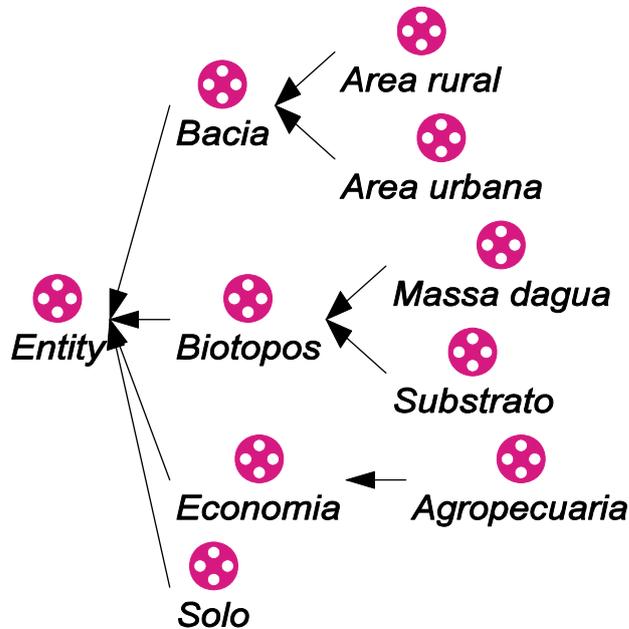


Figura 30: Arvore de entidades



Figura 31: Arvore de agentes

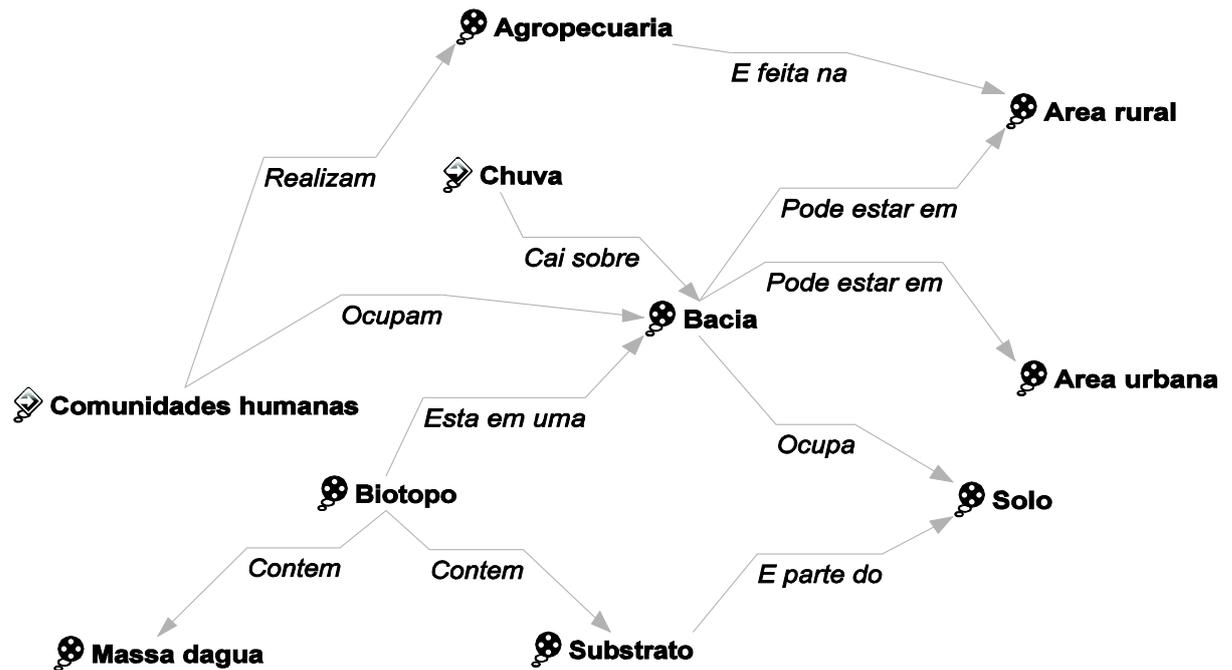


Figura 32: Entidades, Agentes e configurações no modelo

4.4.4 Quantidades e espaços quantitativos

A tabela 6 apresenta as quantidades e espaços quantitativos utilizados no modelo de conservação de biótopos:

Tabela 6: Quantidades utilizadas no modelo

Entidade	Quantidade	Espaço Quantitativo	Observações
TAXAS DE PROCESSOS			
BACIAS	Fluxo descontrolado	Mzp	Representa a diferença entre a água da chuva escoada e a água drenada dentro de uma bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Taxa de construção de lagos e represas	Zp	Representa a intensidade com que uma comunidade constrói lagos e represas para se abastecer de água e energia
COMUNIDADES HUMANAS	Taxa de crescimento	Mzp	Representa a intensidade com que uma comunidade aumenta ou diminui sua densidade populacional
COMUNIDADES HUMANAS	Taxa de desmatamento	Mzp	Representa o balanço entre desmatamento e regeneração da vegetação nas áreas de preservação permanente de uma bacia
AGROPECUARIA	Taxa de supressão	Zp	Representa a intensidade com que é

	de áreas úmidas		drenada a água das áreas úmidas de uma bacia
SOLO	Taxa de erosão	Mzp	Representa a intensidade com que se perde ou se recompõe o solo perdido no processo de erosão
AREA URBANA	Taxa de ocupação de APPs	Mzp	Representa a intensidade com que se ocupa ou desocupa áreas de preservação permanente, realizando a completa alteração da área ocupada
OUTRAS QUANTIDADES			
BACIA	Água descontrolada	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva que não foi efetivamente drenada
BACIA	Água drenada	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva drenada
BACIA	APP preservada	Zbma	Representa o percentual de espaço preservado da Área de Preservação Permanente daquela bacia
BACIA	Área permanentemente alagada	Zpmg	Representa a quantidade de área permanentemente alagada por ação humana dentro da bacia
BACIA	Áreas úmidas suprimidas	Zpmg	Representa a quantidade de área úmida drenada ou aterrada por ação humana dentro da bacia
BACIA	Biodiversidade	Pmg	Representa a diversidade biológica regional encontrada naquela bacia
MASSA D'ÁGUA e SUBSTRATO	Características físico-químicas	Zrrb	Representa as variações nas características físico-químicas geradas por ação humana em relação às características originais do substrato ou da massa d'água.
CLIMA	Chuva	Zbma	Representa a intensidade das chuvas naquele determinado momento.
BIOTOPOS	Conectividade entre biótopos	Zbma	Representa a conectividade entre os biótopos de uma bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Demanda por água e energia	Zbma	Representa a pressão de uma comunidade por empreendimentos geradores de água e energia
COMUNIDADES HUMANAS	Demanda por áreas de produção	Zbma	Representa a pressão de uma comunidade por áreas para uso pela agropecuária
COMUNIDADES HUMANAS	Densidade populacional	Zbma	Representa a quantidade de pessoas em uma área determinada

BACIAS	Drenagens humanas	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva drenada por obras de intervenção humana
BACIAS	Escoamento de água	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva escoada pela bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Investimento em educação e tecnologias alternativas	Zpmg	Representa o volume de investimentos de uma comunidade em educação ambiental e desenvolvimento de tecnologias alternativas para produção de energia e disponibilização de água
BACIA	Lixo transportado	Zbma	Representa a quantidade de lixo transportado pela enxurrada em uma bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Manejo e Conservação	Zbma	Representa o volume de investimentos em manejo de Áreas de Preservação Permanente e de medidas de conservação diversas, como criação de áreas protegidas, fiscalização, etc.
COMUNIDADES HUMANAS	Pressão de ocupação das APPs	Zbma	Representa a pressão exercida pela população para converter áreas de preservação permanente em áreas habitáveis
SUBSTRATO	Quantidade de matéria orgânica	Zbma	Representa a quantidade relativa de matéria orgânica no substrato de um biótopo
MASSA D'ÁGUA e SUBSTRATO	Qualidade ambiental	Zbma	Representa a qualidade ambiental em relação às características originais do substrato ou da Massa d'água.
MASSA D'ÁGUA	Qualidade e quantidade de refúgios	Zbma	Representa a qualidade e a quantidade de refúgios e nichos ecológicos da massa d'água em relação às características originais da mesma.
BIOTOPOS	Quantidade de biótopos	Zbma	Representa a quantidade de biótopos em uma determinada bacia
SOLO	Solo removido	Zbma	Representa a quantidade de solo removido de uma bacia pela erosão

zp={zero, positivo}; mzp={minus, zero, plus}; zpmg={zero, pequeno, médio e grande}; pmg={zero, pequeno, médio, grande}; zbma={zero, baixa, média, alta}; zrrb={zero, ruim, razoável, boa}

4.4.5 Fragmentos de modelo

O modelo de conservação de biótopos foi construído com 65 fragmentos de modelo, sendo que 44 são fragmentos de modelo estáticos, para descrever a estrutura do sistema e especificar conceitos utilizados. Outros sete descrevem processos como a erosão, o desmatamento ou a drenagem de biótopos. Os últimos 14 fragmentos de modelo envolvem a influência de agentes externos ao modelo, como o clima e as comunidades humanas.

4.4.5.1. O biótopo

Da mesma maneira que no primeiro modelo, sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília, o biótopo aqui é composto por substrato e massa d'água e foi caracterizado em 5 diferentes fragmentos (F05, F06, F13, F13e, F13f). Entretanto, neste segundo modelo algumas quantidades são próprias do biótopo como um todo, enquanto outras são diferenciadas para cada parte que o compõe.

Nas situações em que o cenário estiver lidando com ações que degradam os biótopos, tanto a massa d'água quanto o substrato serão associados à quantidade *Qualidade ambiental*.

Quando o cenário estiver relacionado a ações que destroem o biótopo, essa entidade será composta por *Quantidade de biótopos* e *Conectividade entre biótopos*, em que a última é diretamente proporcional à primeira. Da mesma forma, a *Conectividade entre os biótopos* exerce influência sobre a *Biodiversidade* da bacia que contém os biótopos, tal como está exposto no fragmento de modelo F13f, apresentado na Figura 33.

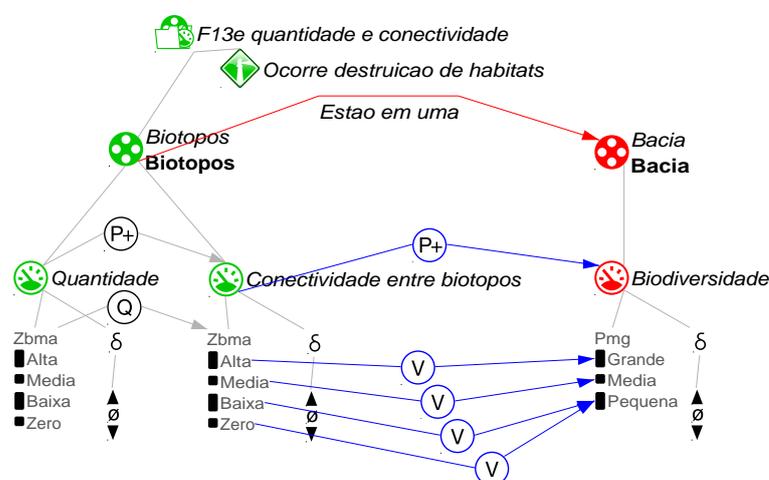


Figura 33: F13f Conectividade entre biótopos e biodiversidade na bacia hidrográfica

4.4.5.2. O clima e comunidades humanas

Também no modelo de conservação o clima foi trabalhado de maneira simplificada, e nesse caso apenas a quantidade *Chuva* foi associada a esse agente externo. A chuva vai ser determinante nos cenários em que estiver em foco a poluição pelo carreamento de lixo, e está ligada à quantidade de água escoada em uma bacia, que é diretamente proporcional à chuva. Para descrição desse comportamento foram utilizados dois fragmentos de modelo.

As comunidades humanas foram caracterizadas em um fragmento (F10), com a quantidade *Taxa de crescimento* influenciando diretamente a *Densidade populacional*, mas respondendo a essa influência por meio de uma proporcionalidade negativa. Dessa forma, quanto maior a *Densidade populacional* menor a *Taxa de crescimento*.

4.4.5.3. O carreamento de lixo pela água

O primeiro problema ambiental trabalhado foi o carreamento de lixo pela água da chuva. Esse problema, tratado de maneira genérica, foi caracterizado junto à entidade Bacia, composta pelas quantidades *Escoamento de água*, *Água drenada* e *Água descontrolada*. Essa última quantidade representa efetivamente as enxurradas, comuns principalmente em meio urbano. No total foram utilizados dez fragmentos de modelo na descrição desse evento (F01, F02, F04, F04a, F04b, F04c, F05a, F05b, F06a e F06b).

A diferença entre o *Escoamento de água* e a *Água drenada* resulta na quantidade *Fluxo descontrolado*, que influencia diretamente a *Água descontrolada*. Esse processo é descrito no fragmento de modelo F02, apresentado na figura 34. A *Água descontrolada* está ligada a outra quantidade associada à bacia, o *Lixo transportado*, que varia de maneira diretamente proporcional à primeira.

O lixo afeta as *Características físico-químicas* tanto da massa d'água quanto o substrato dos biótopos, de forma inversamente proporcional. Uma diferença importante deve ser notada aqui: a redução do carreamento de lixo pode gerar restabelecimento das características físico-químicas da massa d'água, já que a água circula com os pulsos de inundação. No substrato, entretanto, o material tende a ficar depositado até que seja totalmente degradado ou ativamente retirado.

As *Características físico-químicas* estão relacionadas à *Qualidade ambiental* da Massa d'água e do Substrato, respectivamente.

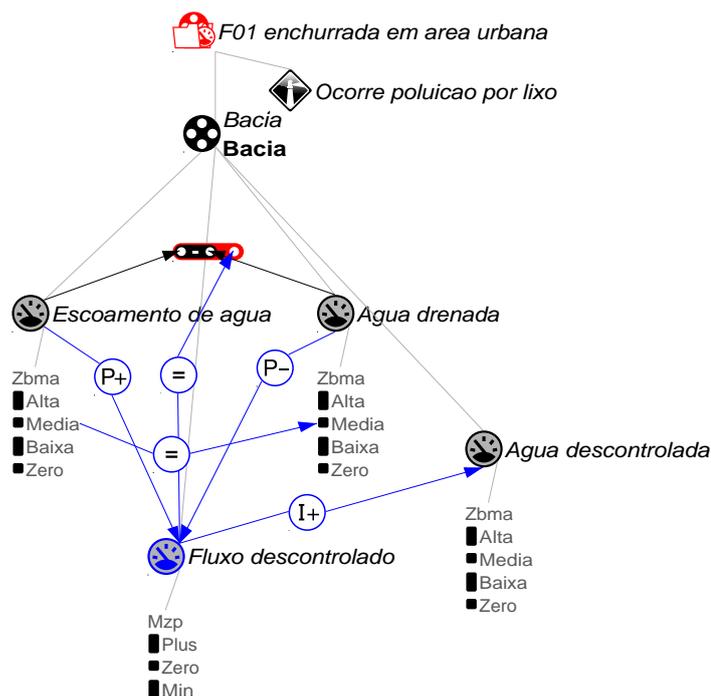


Figura 34: F02 Processo de escoamento da água e formação da enchurrada

4.4.5.4. Desmatamento de Área de Preservação Permanente (APP)

O segundo problema trabalhado foi o desmatamento de APPs. O fragmento de modelo central nessa seção coloca a condição de que a bacia deve possuir a quantidade *APP preservada*. Para descrição desse evento, foram utilizados 9 fragmentos de modelo (F05c, F05d, F07, F7a, F07b, F07c, F08, F09 e F10a)

A quantidade *Taxa de desmatamento*, vinculada às Comunidades humanas, está condicionada ao pressuposto de modelo *Ocorre desmatamento* e à quantidade *APP preservada* ser maior que zero. Nessa situação seu valor será a diferença entre a pressão de ocupação e o manejo e conservação pelas Comunidades humanas. A *Taxa de desmatamento* também apresenta uma proporcionalidade positiva em relação à *APP preservada*, e quando a segunda chega a zero a primeira obrigatoriamente também terá o mesmo valor. Isso se deve ao fato de não haver mais área a ser desmatada, ou remanescentes que pudessem se recuperar. É exatamente essa configuração que pode ser visualizada na figura 35.

A *Taxa de desmatamento* influencia direta e negativamente os valores da *APP preservada*, que induz mudanças diretamente proporcionais sobre a *Quantidade e qualidade de refúgios* da massa d'água dos biótopos.

A *Qualidade ambiental* da massa d'água é diretamente proporcional à *Quantidade e qualidade de refúgios*, e equivalente a mesma se estiver ativo o pressuposto de não existirem outras influências ambientais.

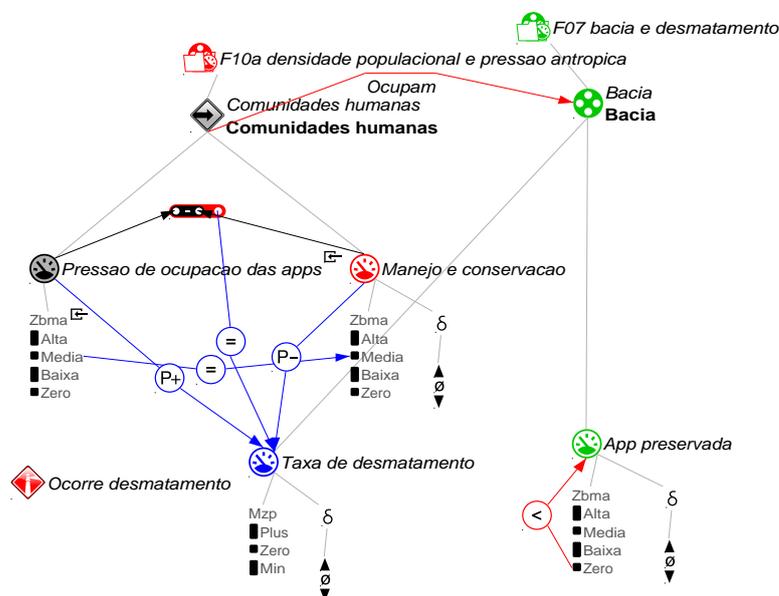


Figura 35: F07a Cálculo da Taxa de Desmatamento em APP

4.4.5.5. Erosão

O terceiro problema trabalhado e o último relativo à qualidade ambiental dos biótopos foi a erosão dos solos, para o qual se utilizou cinco fragmentos de modelo (F06c, F06d, F11, F11a e F12). Os solos foram caracterizados com a quantidade *Taxa de erosão* que influencia diretamente o *Solo removido*. Sem entrar no mérito da topografia do terreno, a *Taxa de erosão* é descrita como a diferença entre a *Água descontrolada* e a *APP preservada*, como está descrito no fragmento de modelo F12, na figura 49.

O substrato, sendo parte do solo, possui *Quantidade de matéria orgânica*, que é inversamente proporcional à quantidade *Solo removido*.

A *Qualidade ambiental* do substrato é diretamente proporcional à *Quantidade de matéria orgânica*, e equivalente a mesma se estiver ativo o pressuposto de não existirem outras influências ambientais.

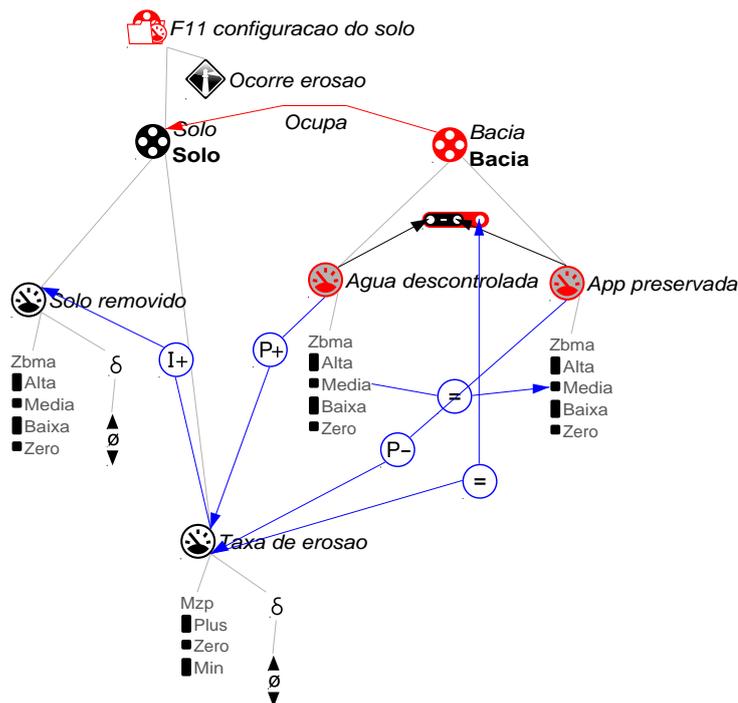


Figura 36: F12 Processo de erosão em APP

4.4.5.6. Múltiplos fatores sobre a qualidade ambiental

Podem haver fatores diversos atuando sobre a qualidade ambiental do biótopo, e essa possibilidade foi trabalhada em oito fragmentos específicos (F05e, F05f, F05g, F05h, F07.d, F07e, F07f e F07g).

Caso estejam acontecendo simultaneamente o transporte de lixo e o desmatamento, a *Qualidade ambiental* da massa d'água será equivalente e proporcional à quantidade que se apresentar menor entre as *Características físico-químicas* e a *Quantidade e qualidade de refúgios*.

A drenagem da água pode ser realizada de maneira natural (pelas APPs) ou artificial (intervenção humana direta), o que representa um forte link entre as enxurradas que carregam o lixo e o desmatamento. Caso se assuma o pressuposto de existir apenas a drenagem natural, a *Água drenada* é proporcional e equivalente à *APP preservada*, conforme F07d. Caso também exista drenagem artificial, a *Água drenada* é resultado da soma da *Drenagem natural* com *Drenagens humanas*. Caso qualquer uma das duas quantidades apresente seus níveis máximos, a *Água drenada* também o fará. No caso de uma delas ser zero, a *Água drenada* será equivalente à outra qualidade. O fragmento base envolvido nessa soma de drenagens é o F07e, apresentado na figura 37.

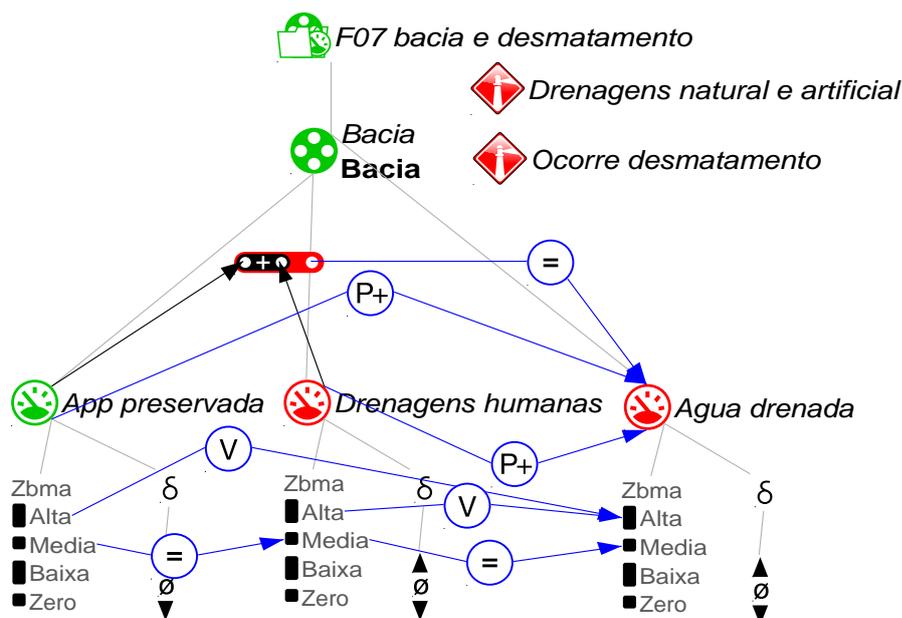


Figura 37: F07e Cálculo da água drenada na bacia

O processo de erosão já foi vinculado aos demais problemas anteriormente quando a *Taxa de erosão* foi colocada como a diferença entre a *Água descontrolada* e a *APP preservada*.

4.4.5.7. Ocupação de APPs e destruição de habitats

Esse é o primeiro problema trabalhado que deixa de focar na redução da qualidade dos biótopos para se voltar à destruição propriamente dita, com diminuição da quantidade de biótopos.

Esse problema é focado na área urbana da bacia, que contém a quantidade *APP preservada* e é ocupada pelas comunidades humanas. A *Pressão de ocupação de APPs* exercida pelas comunidades humanas é qualitativamente proporcional à densidade populacional das mesmas, e a *Taxa de ocupação de APPs* da bacia é calculada pela diferença entre a *Pressão de ocupação de APPs* e o *Manejo e conservação* das comunidades, enquanto a *APP preservada* da bacia for maior que zero.

A *Taxa de ocupação de APPs* em uma área urbana influencia direta e negativamente a *APP preservada*, assim como sofrem influencia inversamente proporcional das mesma *APP preservada*. Quando esta chega a zero, a primeira não pode assumir valor positivo.

4.4.5.9. Alagamento permanente de biótopos

O último problema modelado foi o alagamento permanente de áreas de várzea pelo represamento de rios para fornecimento de água e geração de energia, e foi tratado envolvendo a bacia como um todo. Ainda nesse contexto, foi assumido que a importação e exportação de energia na bacia não são significantes.

As comunidades humanas apresentam *Demanda por água e energia* diretamente proporcional à densidade populacional. Possuem também a *Taxa de construção de lagos e represas*, que será proporcional ao que for maior entre a *Demanda por água e energia* ou o *Investimento em educação e tecnologias alternativas* pelas comunidades humanas.

A *Taxa de construção de lagos e represas* por uma comunidade humana influencia direta e positivamente as *Áreas alagadas* da bacia que essa comunidade ocupa, assim como sofrem influencia negativa das mesmas *Áreas alagadas*, gerando um efeito de feedback no comportamento dessas quantidades. A quantidade *Áreas alagadas* induz de forma inversamente proporcional a *quantidade* de biótopos que estejam na área rural.

4.5 Principais simulações

De maneira similar ao que foi apresentado para os fragmentos de modelo, algumas simulações serão apresentadas, acompanhadas geralmente do grafo de comportamento e do modelo causal obtido em algum estado da simulação, além do diagrama da história dos valores das quantidades para uma trajetória de comportamento escolhida como a mais relevante.

Ao todo, foram criados 27 cenários de simulação para o primeiro modelo, sobre o ciclo de vida, e 45 para o segundo, sobre problemas ambientais. A maior parte deles foi criada para se demonstrar o comportamento das entidades isoladamente ou em conjunto, assim como diante de diferentes pressupostos.

Serão apresentados os dez cenários mais relevantes dentro dos modelos e os resultados das respectivas simulações que, nos casos mais complexos, foi realizada utilizando-se a opção do caminho heurístico mais rápido. Os primeiros quatro cenários dizem respeito ao primeiro modelo, que explora o ciclo de vida do Pirá-Brasília. O segundo modelo, sobre os problemas ambientais, é o foco nos outros seis cenários de simulação.

4.5.1 O ciclo de chuvas e o biótopo

O cenário mais básico do modelo é o C01a, que envolve apenas as entidades Massa d'água e Substrato, os componentes do biótopo (Figura 39) e a influência do Clima sobre estas entidades. A proposta desse cenário é visualizar o comportamento do biótopo conforme as estações do ano, que está sob influência exógena (externa e independente do sistema modelado) e apresenta comportamento sinusoidal, ao passo que o nível inicial da água é zero.

A simulação obtida com o cenário 'C01a Biótopo com clima submetido à variação sinusoidal' que não utilizou a opção do caminho heurístico mais rápido é apresentada na Tabela 7.

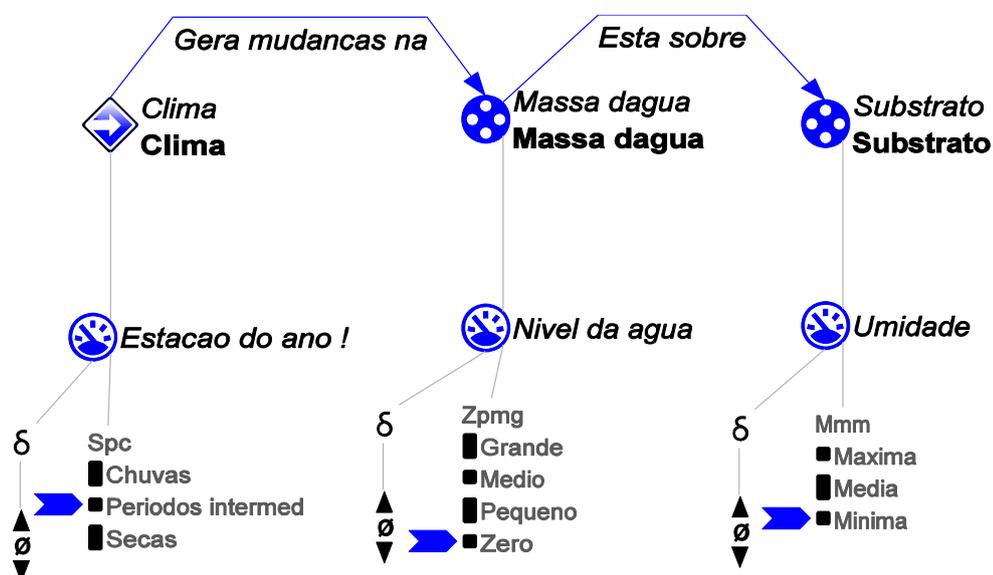


Figura 39: Cenário inicial para 'C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal'

Tabela 7: Resumo da simulação do cenário 'C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal'

Nome do cenário	Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal
Simulação completa	30 estados
Estados iniciais	[1, 2]
Estados finais	Nenhum
Caminho relevante	[2, 3, 6, 7, 14, 15, 20, 21, 19, 18, 4, 5, 10, 2]
Descrição do comportamento	Conforme esperado, todas as quantidades envolvidas, tanto do biótopo como do clima se comportaram de maneira cíclica; Tanto o <i>Balanço evap transp</i> quanto o <i>Fotoperiodo</i> variaram conforme a <i>Estação do ano</i> . O <i>Nível da água</i> subiu e desceu em resposta ao

Balanço evap transp, assim como a *Área alagada* e a *Umidade* do substrato. A medida que a *Umidade* do Substrato aumenta o *Oxigênio dissolvido* diminui. O grafo de comportamento, o modelo causal para o estado [6] e o diagrama da história podem ser vistos nas figuras 40, 41 e 42, respectivamente.

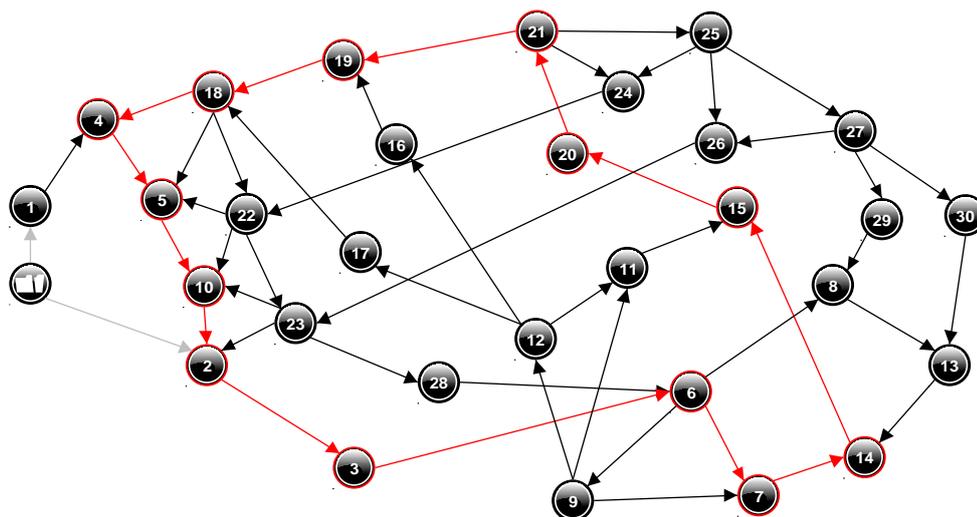


Figura 40: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário 'C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal'

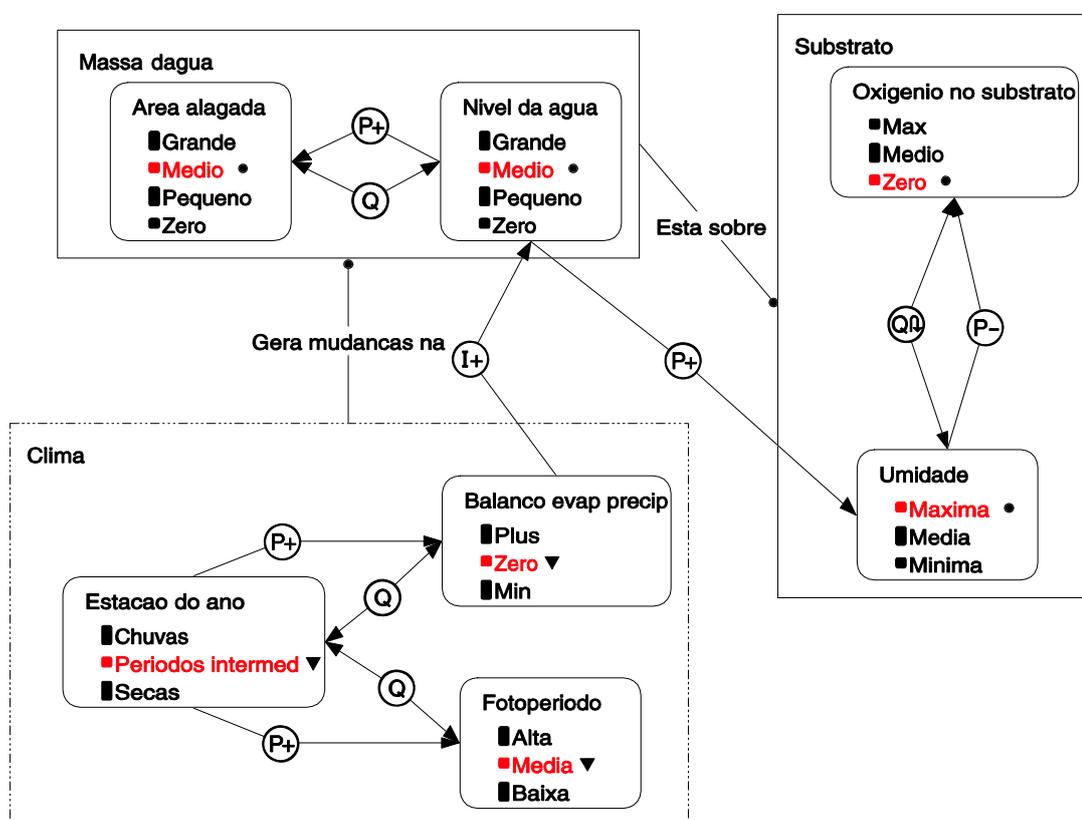


Figura 41: Modelo causal para o estado [6] da simulação de 'C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal'

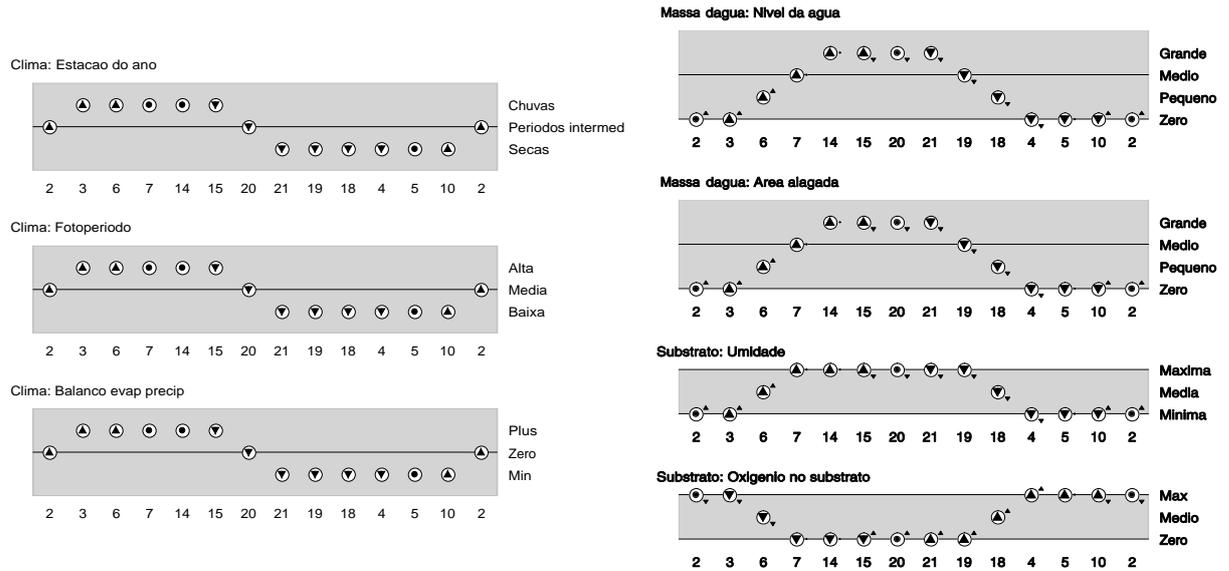


Figura 42: Diagrama da história de valores das quantidades, obtidos na simulação do cenário ‘C01a Biótopo com clima submetido a variação sinusoidal’

4.5.2 Eclosão durante chuvas rápidas

O pressuposto de ‘Período de chuvas fracas’, adotado no modelo sobre o ciclo de vida, foi pensado com a finalidade de simular as situações em que a massa d’água seque antes que os peixes cheguem à maturidade e possam desovar. Esse cenário, apresentado na Figura 43, tem o intuito de possibilitar a visualização desse processo.

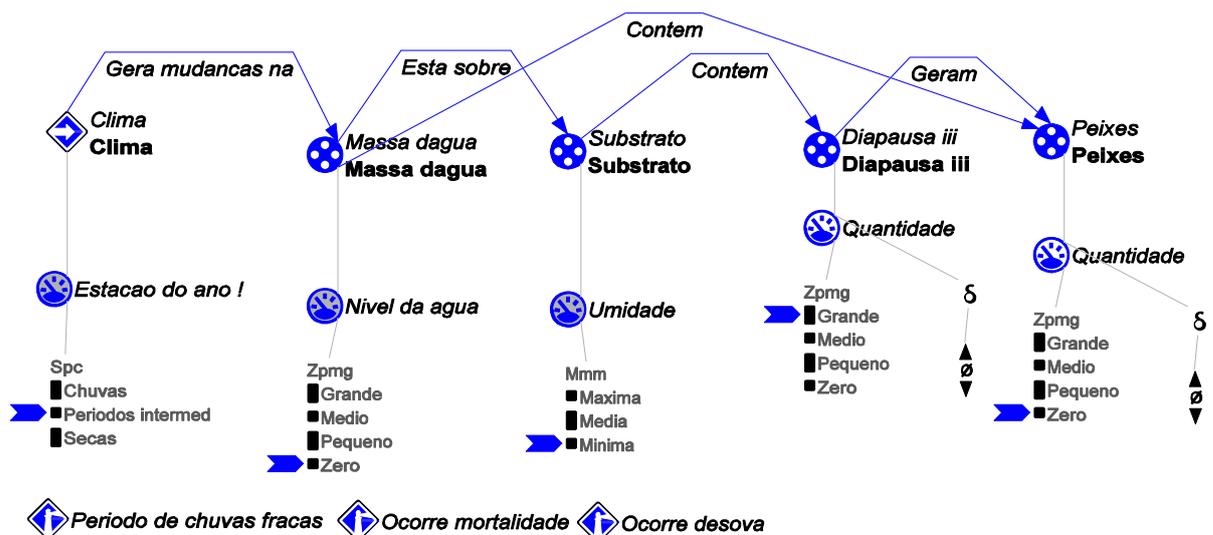


Figura 43: Cenário inicial para ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’

Foram incluídas aqui as entidades básicas do biótopo e do clima, presentes no cenário anterior, os embriões em *Diapausa III*, em grande quantidade no final da seca, e os

peixes ainda em quantidade zero. A quantidade *Estações do ano*, associada ao clima, foi colocada sob influência exógena e apresenta comportamento em parábola positiva, simulando o início meio e fim de uma estação chuvosa.

A simulação obtida com o cenário ‘C04b eclosão durante chuvas rápidas’ está sintetizada na tabela 8.

Tabela 8: Resumo da simulação do cenário ‘C04b eclosão durante chuvas baixas’

Nome do cenário	Eclosão durante chuvas rápidas’
Simulação completa	55 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[5, 8, 17, 18, 19, 20, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 43, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 55]
Caminho relevante	[1, 2, 3, 6, 11, 23, 28, 40, 41, 47, 53, 55]
Descrição do comportamento	As quantidades relativas ao clima e ao biótopo se comportaram da mesma forma que descrito no cenário anterior. O aumento na <i>Umidade</i> gerou o aumento na <i>Taxa de eclosão</i> , que reduziu a <i>Quantidade</i> de embriões em <i>Diapausa III</i> e aumentou a <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> . O aumento da <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> induziu aumento na <i>Taxa de mortalidade</i> que passou então a reduzir a <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> . A <i>Taxa de desova</i> permaneceu zero, inibida pelo aumento da <i>Área alagada</i> e pela redução da <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> . Embora existam vários caminhos possíveis, o único estado final válido é o [55]; os demais estados finais foram gerados em caminhos interrompidos por entrar em conflito com conceitos e regras inseridos nos fragmentos de modelo, como por exemplo, o de que não existe <i>Taxa de embriogênese</i> se a <i>Quantidade</i> de embriões for zero. O grafo de comportamento, o modelo causal para o estado [23] e o diagrama da história de valores podem ser vistos nas figuras 44, 45 e 46, respectivamente.

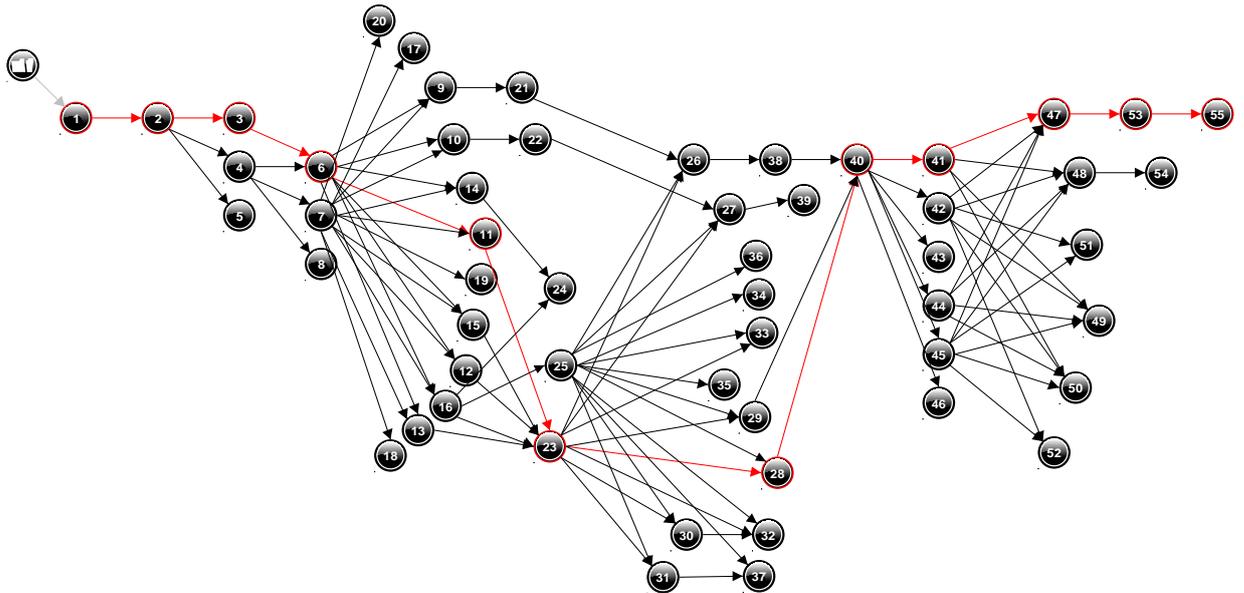


Figura 44: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C04b eclusão durante chuvas rápidas’

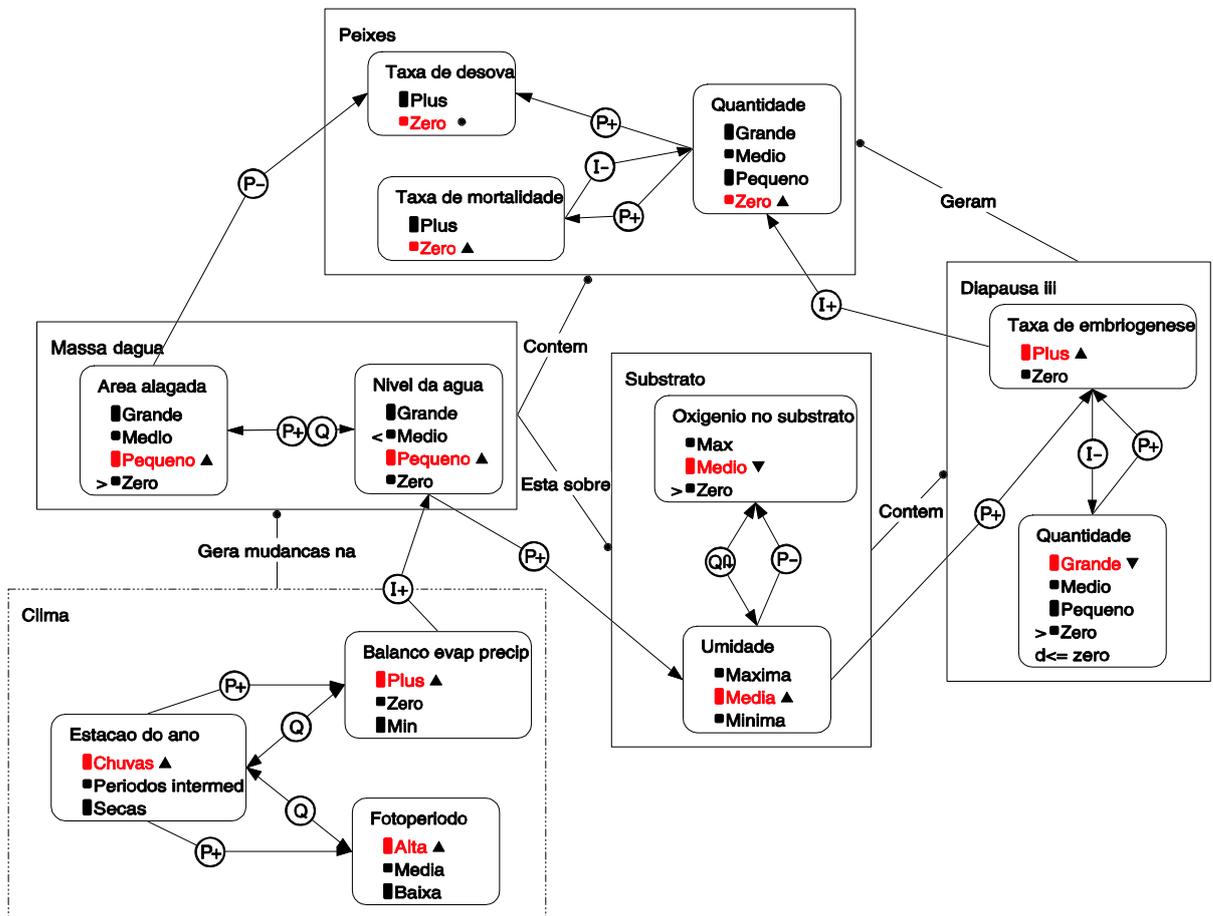


Figura 45: Modelo causal para o estado [23], obtido na simulação do cenário ‘C04b eclusão durante chuvas rápidas’

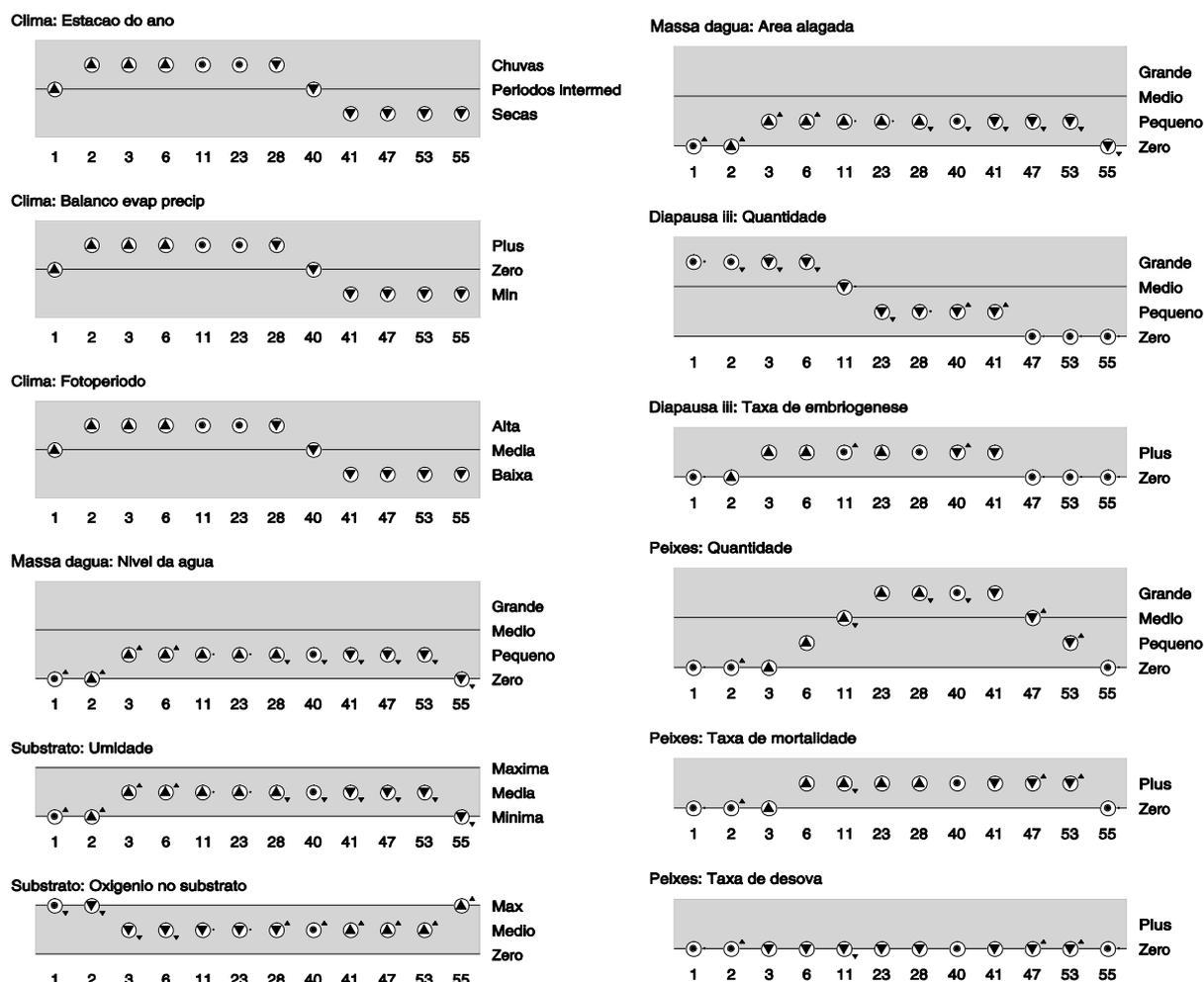


Figura 46: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário 'C04b eclosão durante chuvas rápidas'

4.5.3 Chuvas prolongadas e invasão do biótopo

Outro pressuposto adotado no modelo, o de 'Período chuvoso intenso', tem a finalidade de simular as situações em que a massa d'água transborda o biótopo e permite contato com outros corpos d'água.

Foram incluídas as entidades básicas do biótopo e do clima, presentes no cenário C01a, os embriões em *Diapausa III*, e os *Peixes*, da mesma forma que no cenário C04b, mostrado acima, o agente externo *Outros Peixes*, foco do cenário, além da entidade relativa aos embriões em *Diapausa I*, produzidos pelos *Peixes*.

Assim como nas situações anteriores, a quantidade *Estações do ano*, associada ao clima, foi colocada sob influência exógena e apresenta comportamento em parábola positiva (cresce, atinge um pico e decresce até o valor inicial).

Espera-se que a simulação mostre que, apesar de influenciar de maneira relevante na quantidade de peixes anuais, a entrada de espécies invasoras não é significativa para gerar problemas para as próximas gerações dos peixes anuais.

A simulação obtida com o cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’ (Figura 47) está sintetizada na tabela 9.

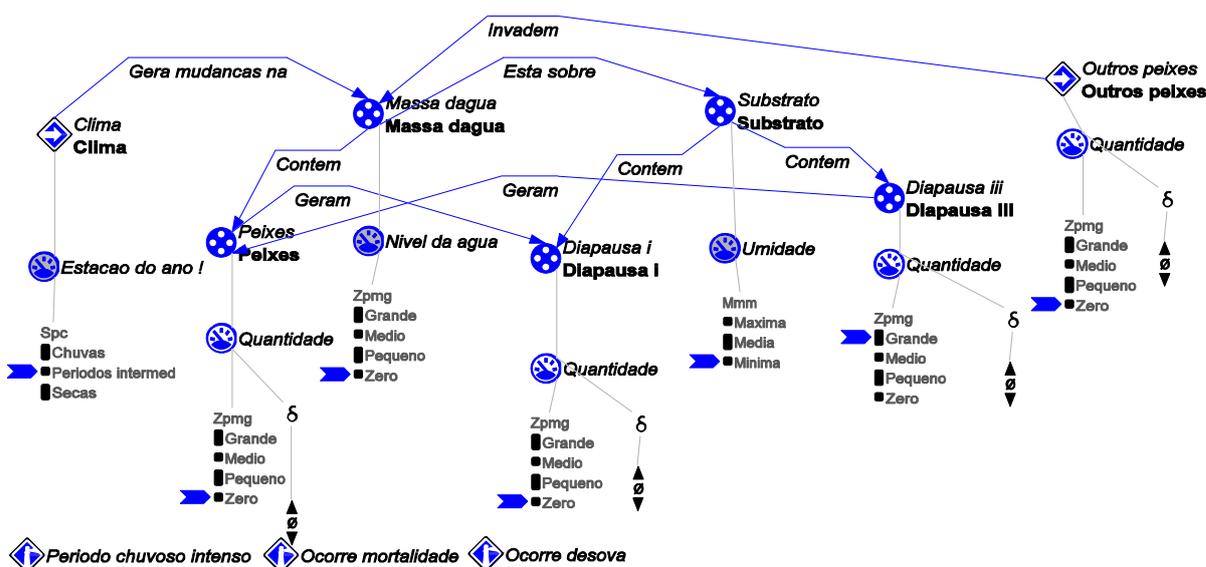


Figura 47: Cenário inicial para ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’

Tabela 9: Resumo da simulação do cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’

Nome do cenário	Chuvas prolongadas e invasão do biótopo
Simulação completa	216 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[3, 7, 10, 13, 16, 19, 32, 42, 47, 49, 51, 54, 55, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 123, 125, 126, 139, 140, 144, 145, 171, 172, 180, 182, 187, 188, 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216]
Caminho relevante	[1, 2, 5, 6, 22, 29, 59, 71, 127, 138, 143, 146, 147, 149, 151, 153, 155, 165, 183, 199, 216]
Descrição do comportamento	As quantidades relativas ao clima e ao biótopo se comportaram da mesma forma que descrito nos cenários anteriores. O aumento na <i>Umidade</i> gerou o aumento na <i>Taxa de eclosão</i> , que reduziu a <i>Quantidade</i> de embriões em <i>Diapausa III</i> e aumentou a <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> . O aumento da <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> influenciou aumento na <i>Taxa de mortalidade</i> , que passou então a reduzir a <i>Quantidade</i>

de Peixes, e na *Taxa de desova*, gerando aumento na *Quantidade* de embriões em *Diapausa I*, que apresentam a *Taxa de embriogenese* paralisada por efeito da quiescência. Assim que o *Nível da água* atingiu o nível médio, essa quantidade passou a causar aumento na *Taxa de invasão* (via P+), elevando a quantidade de *Outros peixes*, que por sua vez faz aumentar a *Taxa de mortalidade* dos Peixes anuais. Com o início do período de seca e a redução no *Nível da água*, a *Taxa de invasão* cai a zero, e a *Taxa de mortalidade* sobe também para *Outros peixes*. A *Quantidade* de *Peixes* (anuais) cai a zero antes de a *Quantidade* de *Outros Peixes* (invasores), mas a *Quantidade* de embriões em *Diapausa I* não é comprometida. O aumento do *Oxigênio no substrato* leva ao aumento da *Taxa de embriogenese* de embriões em *Diapausa I*, reduzindo a *Quantidade* dos mesmos. Devido à grande quantidade de estados possíveis, optou-se por não se colocar o grafo de comportamento. O modelo causal para o estado [96] e o diagrama da história de valores das quantidades podem ser vistos nas figuras 48 e 49, respectivamente.

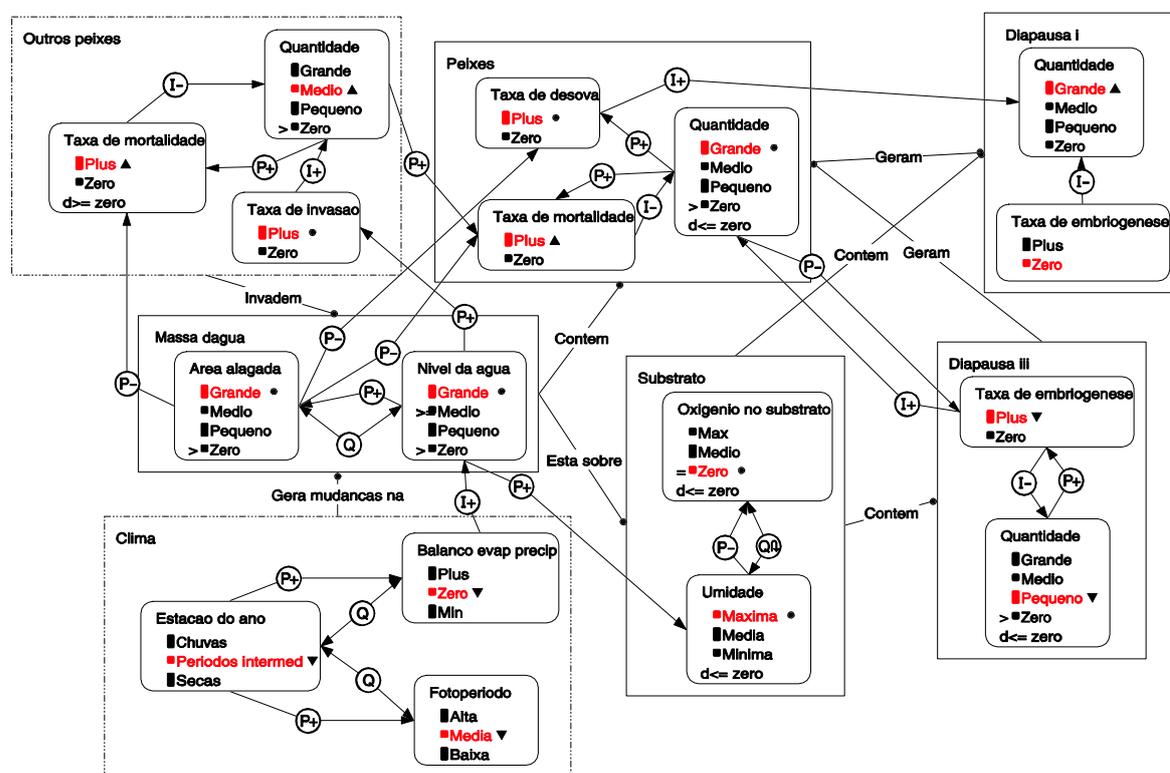


Figura 48: Modelo causal para o estado [145], obtido na simulação do cenário 'C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo'

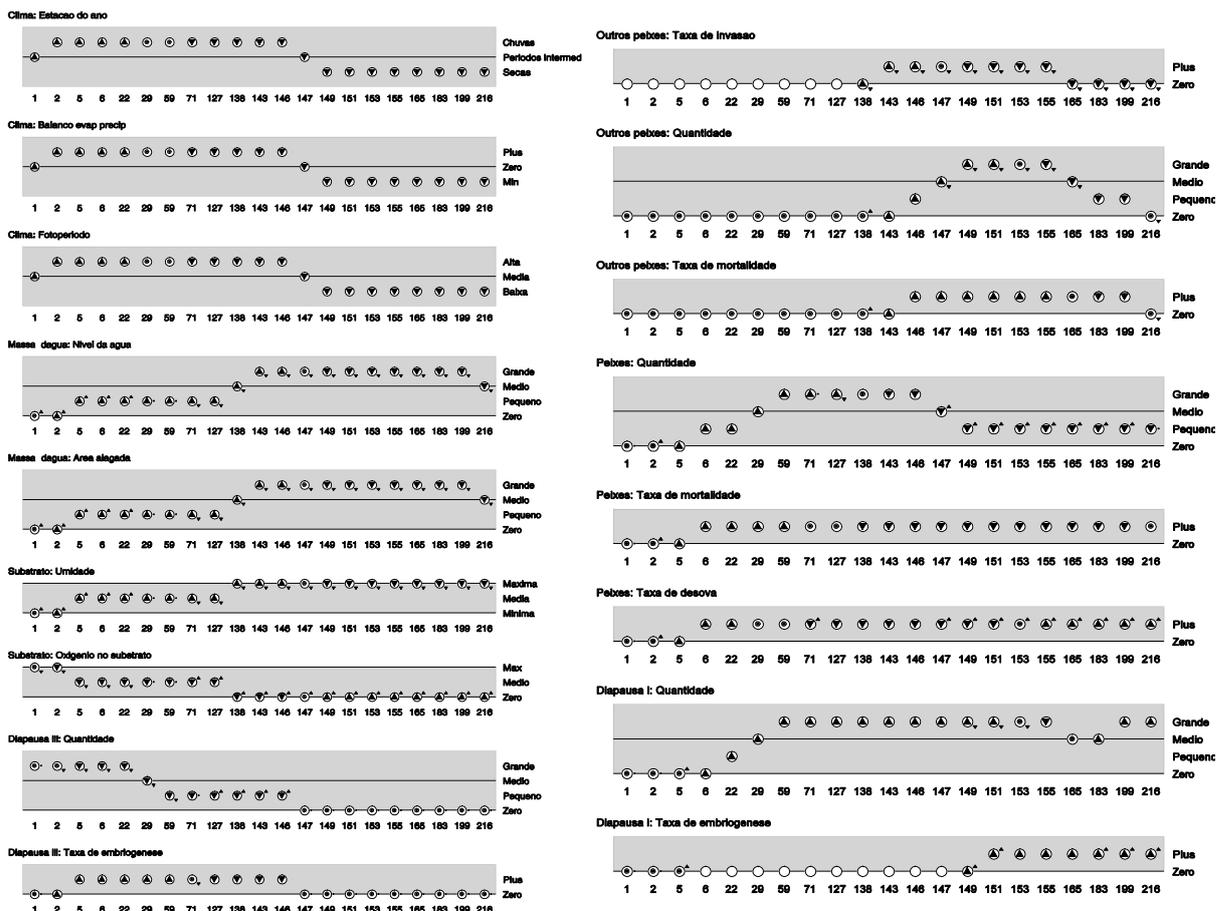


Figura 49: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08b Chuvas prolongadas e invasão do biótopo’

4.5.4 Ciclo completo sem invasão de outras espécies

Esse é último cenário relacionado ao primeiro modelo, e traz o ciclo completo sem a presença de espécies invasoras. A quantidade *Estações do ano*, associada ao clima, foi colocada sob influência exógena e apresenta comportamento em parábola positiva.

Foram incluídas todas as entidades e quantidades inicialmente previstas, exceto aquelas relativas às espécies invasoras de peixes.

A proposta é possibilitar a visualização de todo o ciclo de vida dos peixes anuais, com as respostas dos processos e quantidades de embriões e peixes às variações do ambiente e do clima.

A simulação obtida com o cenário ‘C09 Ciclo completo’ (Figura 50), está sintetizada na Tabela 10.

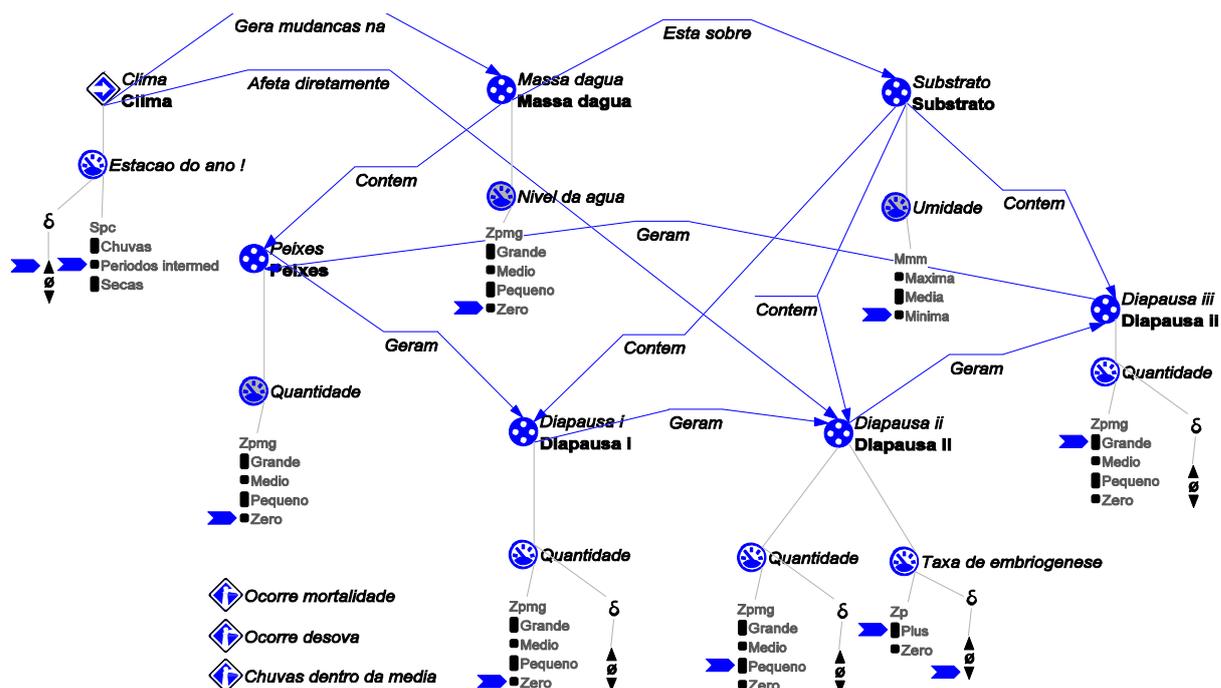


Figura 50: Cenário inicial para 'C09 ciclo completo'

Tabela 10: Resumo da simulação do cenário 'C09 ciclo completo'

Nome do cenário	Ciclo completo
Simulação completa	205 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[3, 6, 10, 13, 16, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 44, 47, 50, 53, 56, 57, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 86, 87, 88, 90, 93, 114, 119, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 133, 134, 135, 137, 139, 183, 189, 191, 195, 196, 197, 205]
Caminho relevante	[4, 7, 15, 28, 41, 65, 108, 132, 150, 156, 162, 168, 179, 186, 194, 198, 199, 201, 202, 2, 4]
Descrição do comportamento	As quantidades relativas ao clima e ao biótopo se comportaram da mesma forma que descrito nos cenários anteriores. O aumento na <i>Umidade</i> gerou o aumento na <i>Taxa de eclosão</i> , que reduziu a <i>Quantidade</i> de embriões em <i>Diapausa III</i> e aumentou a <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> . O aumento da <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> levou ao aumento na <i>Taxa de mortalidade</i> , que passou então a reduzir a <i>Quantidade</i> de <i>Peixes</i> , e na <i>Taxa de desova</i> , gerando aumento na <i>Quantidade</i> de embriões em <i>Diapausa I</i> , que apresentam a <i>Taxa de embriogenese</i> paralisada por efeito da quiescência. Com o início do período de

seca e a redução no *Nível da água* também diminui a *Umidade*, o que leva ao aumento do *Oxigênio no substrato*, induzindo aumento na *Taxa de embriogenese* de embriões em *Diapausa I*. Este processo reduz a *Quantidade* destes e aumenta a quantidade de embriões em *Diapausa II*. Devido à diapausa obrigatória, o aumento na *Quantidade* destes embriões não é acompanhado pelo aumento na respectiva *Taxa de embriogenese*. Essa taxa só responde ao aumento no *Fotoperíodo* que marca o fim da estação de seca, se tornando positiva e gerando diminuição na *Quantidade* de embriões em *Diapausa II* e aumento na *Quantidade* de embriões em *Diapausa III*. Estes passam por um período de diapausa semelhante, finalizada pelo aumento na *Umidade* do substrato e reinício do ciclo. São gerados vários caminhos válidos, que terminam em ciclos. O modelo causal para o estado [198], grafo de comportamento e o diagrama da história de valores podem ser vistos nas figuras 51, 52 e 53, respectivamente.

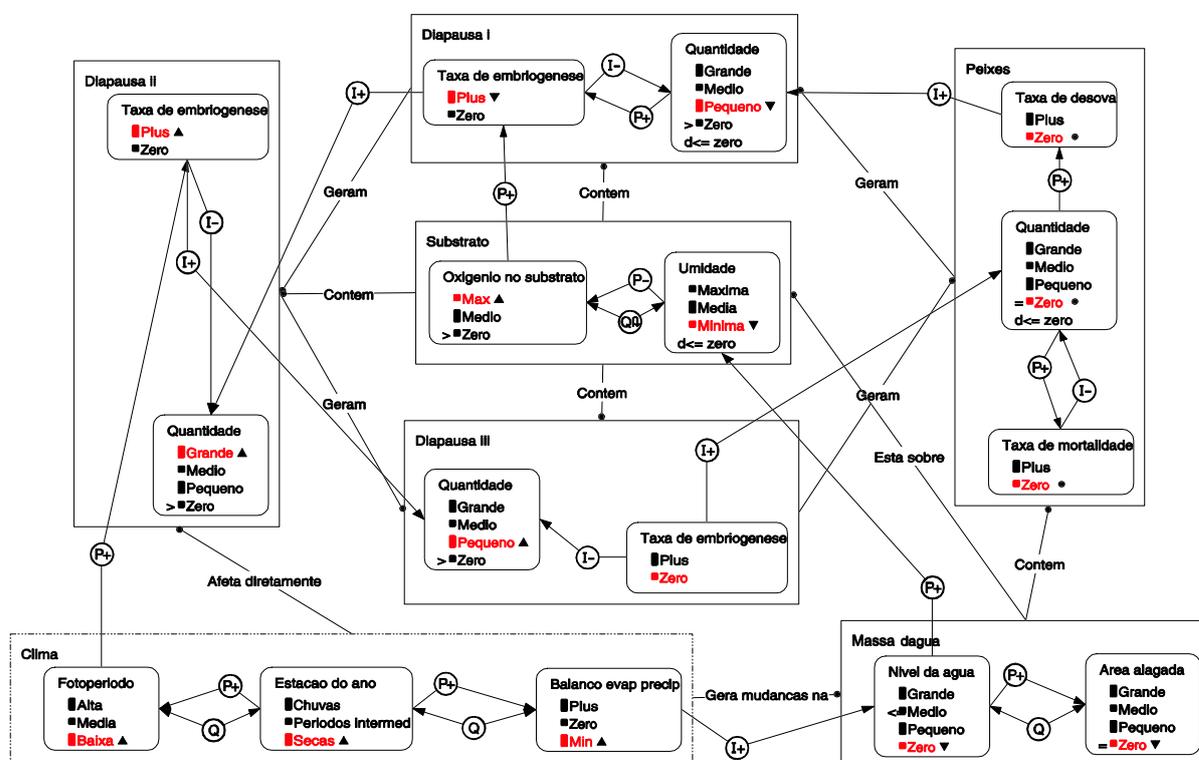


Figura 51: Modelo causal para o estado [198] obtido na simulação do cenário 'C09 ciclo completo'

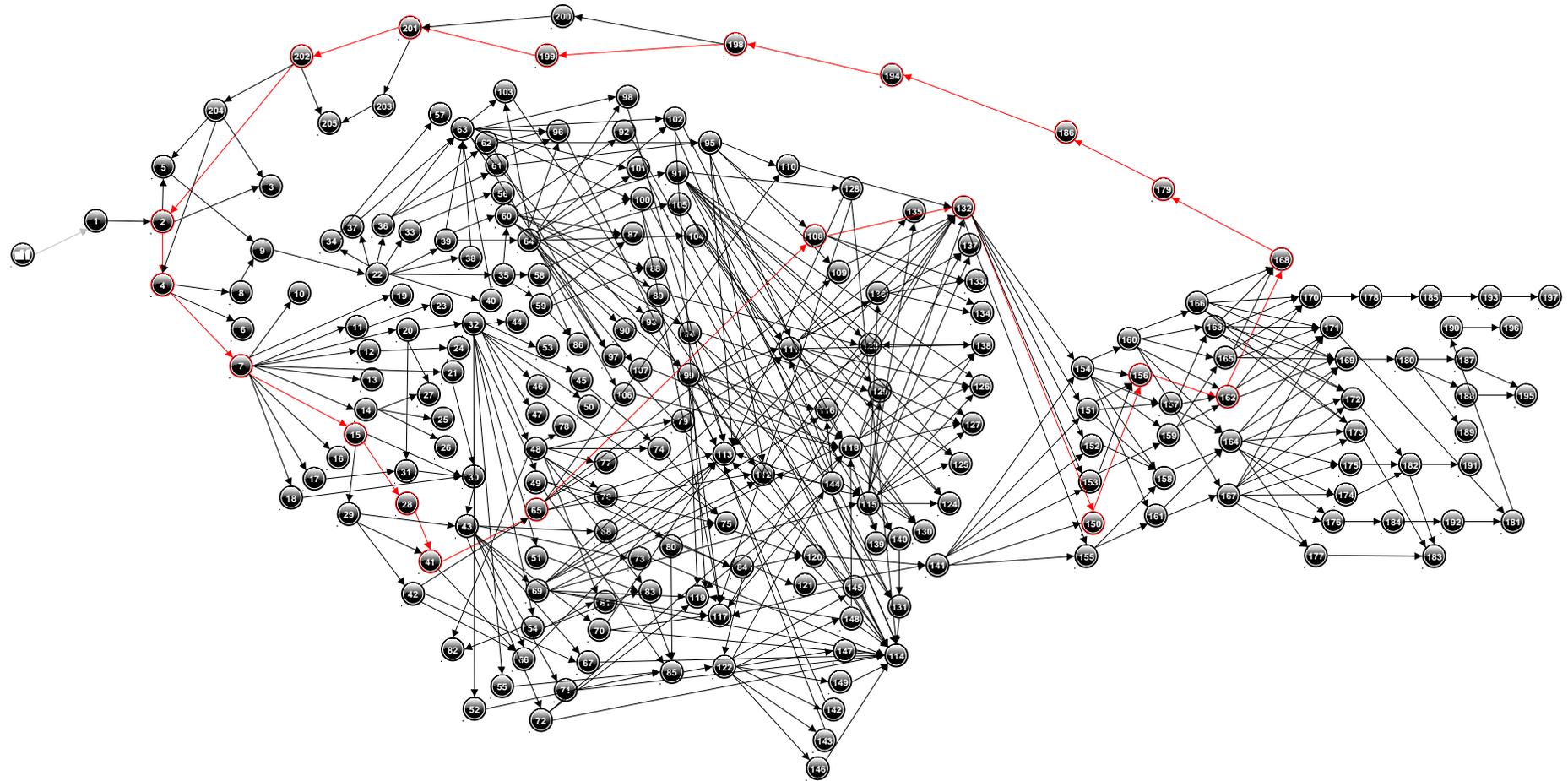


Figura 52: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário 'C09 ciclo completo'

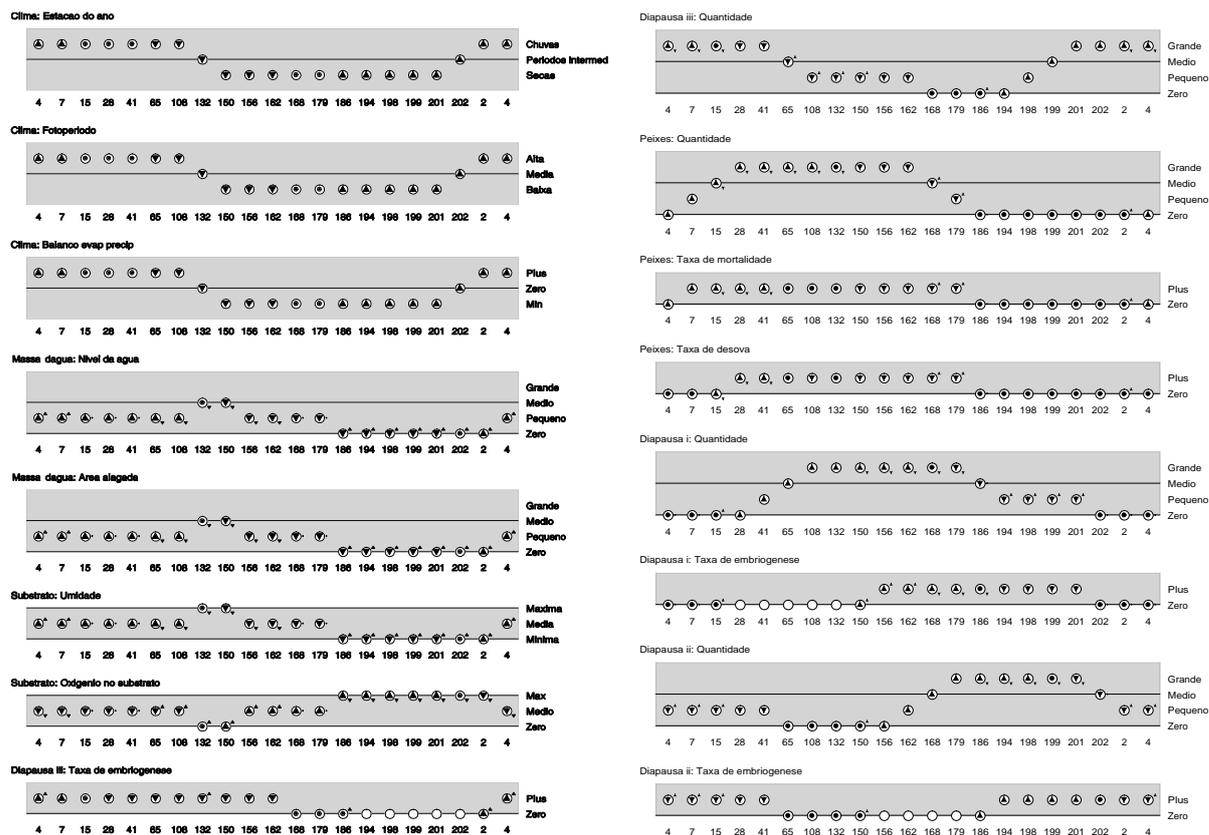


Figura 53: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário 'C09 ciclo completo'

4.5.5 Carreamento de lixo em cenário de chuva crescente.

Esse é o primeiro cenário vinculado ao segundo modelo, sobre problemas ambientais. Ele aborda o problema ambiental do carreamento de lixo para os biótopos. Será o único dentre os problemas ambientais que afetam a qualidade do biótopo a ser apresentado isoladamente em razão de afetar tanto a massa d'água quanto o substrato.

Dessa forma, nesse cenário, apresentado na Figura 54, a *Chuva* é uma variável exógena crescente, e uma segunda, estável, que é a *Água drenada*. A simulação obtida com esse cenário está sintetizada na tabela 11.

Tabela 11: Resumo da simulação do cenário 'C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante'

Nome do cenário	Lixo com chuva aumentando e drenagem constante
Simulação complete	51 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[19]
Caminho relevante	[1, 2, 3, 4, 5, 18, 19]

Descrição do comportamento O aumento das *Chuvas* desacompanhado da *Água drenada*, que permanece estável, gera o crescimento simultâneo da *Água escoada* e do *Fluxo descontrolado*, com conseqüente aumento na *Água descontrolada*. Esta causa o aumento no *Lixo transportado*, que reduz a *Qualidade ambiental* tanto da massa d'água quanto do substrato. O modelo causal para o estado [19], grafo de comportamento e o diagrama da história de valores podem ser vistos nas figuras 55, 56 e 57, respectivamente.

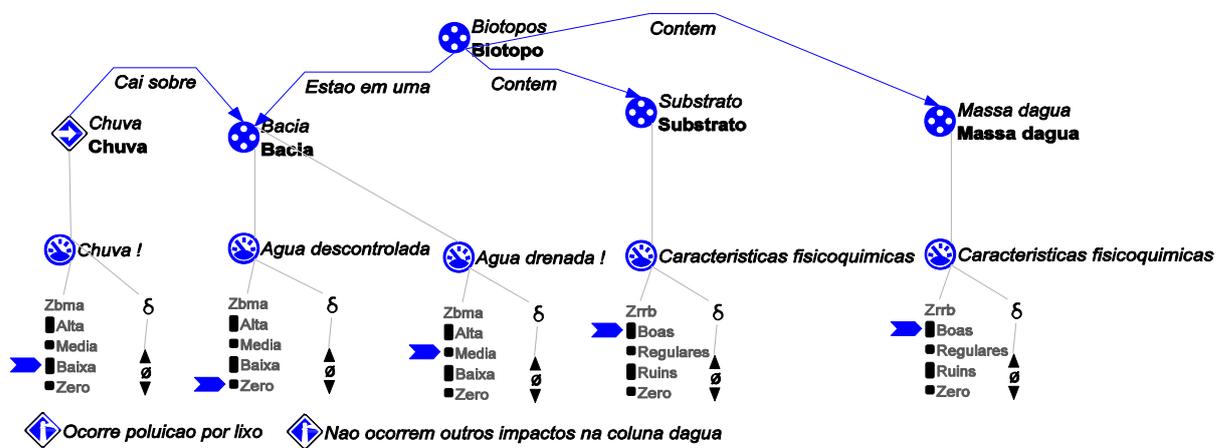


Figura 54: Cenário inicial para 'C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante'

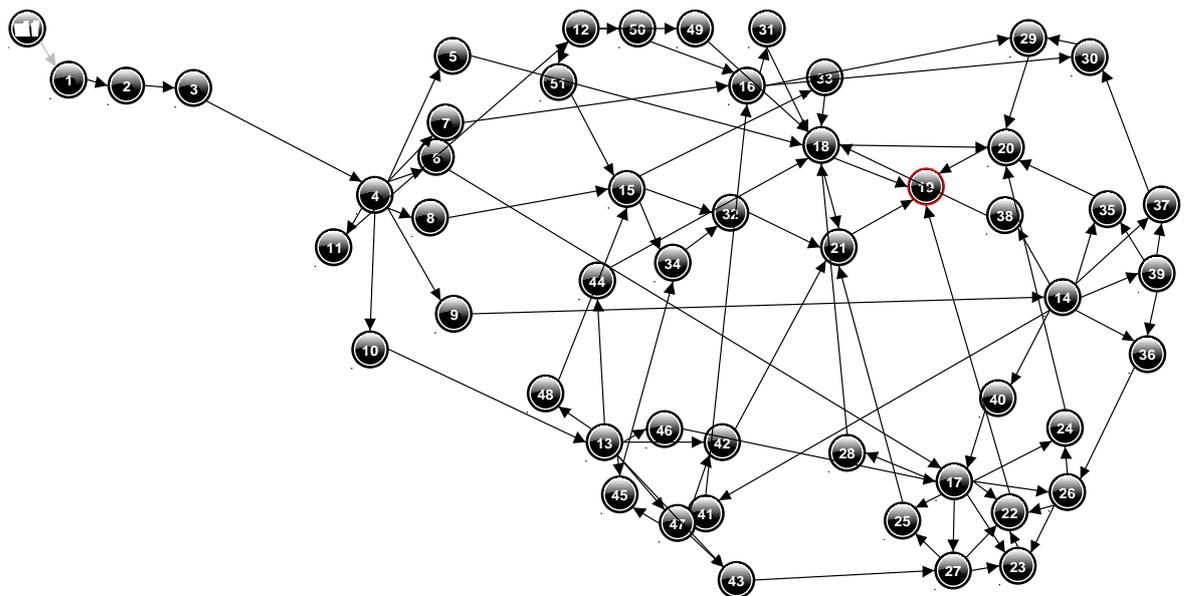


Figura 55: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário 'C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante'

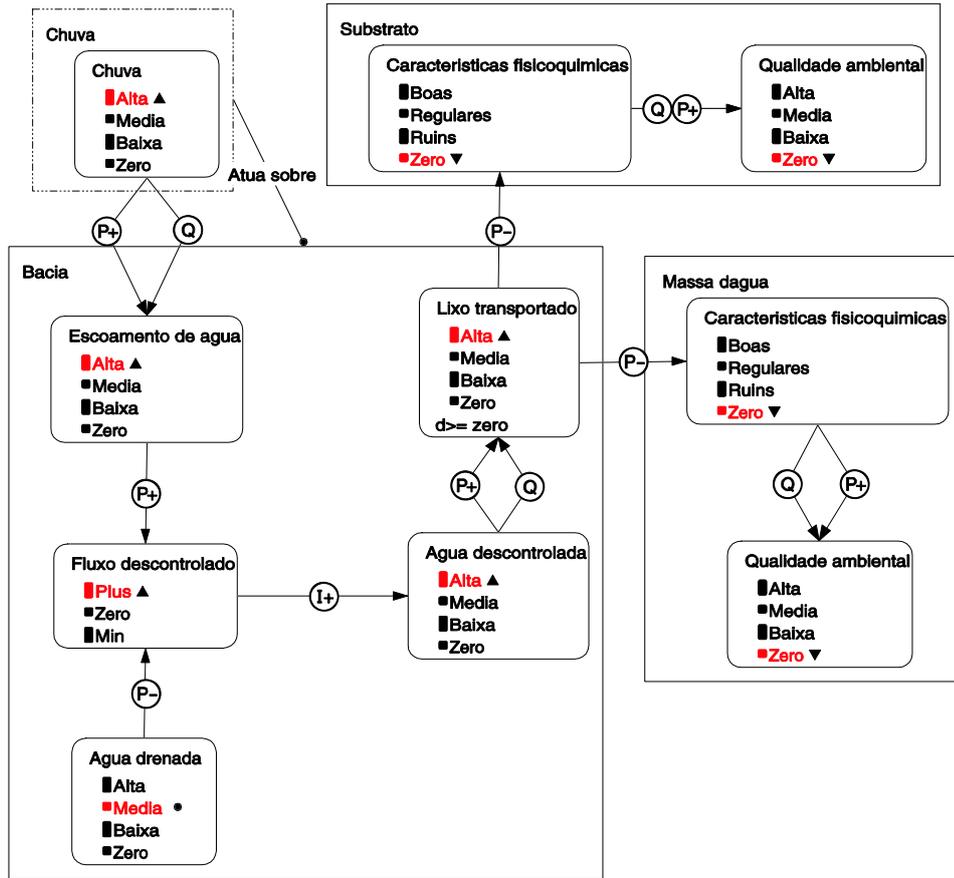


Figura 56: Modelo causal para o estado [19], obtido na simulação do cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’.

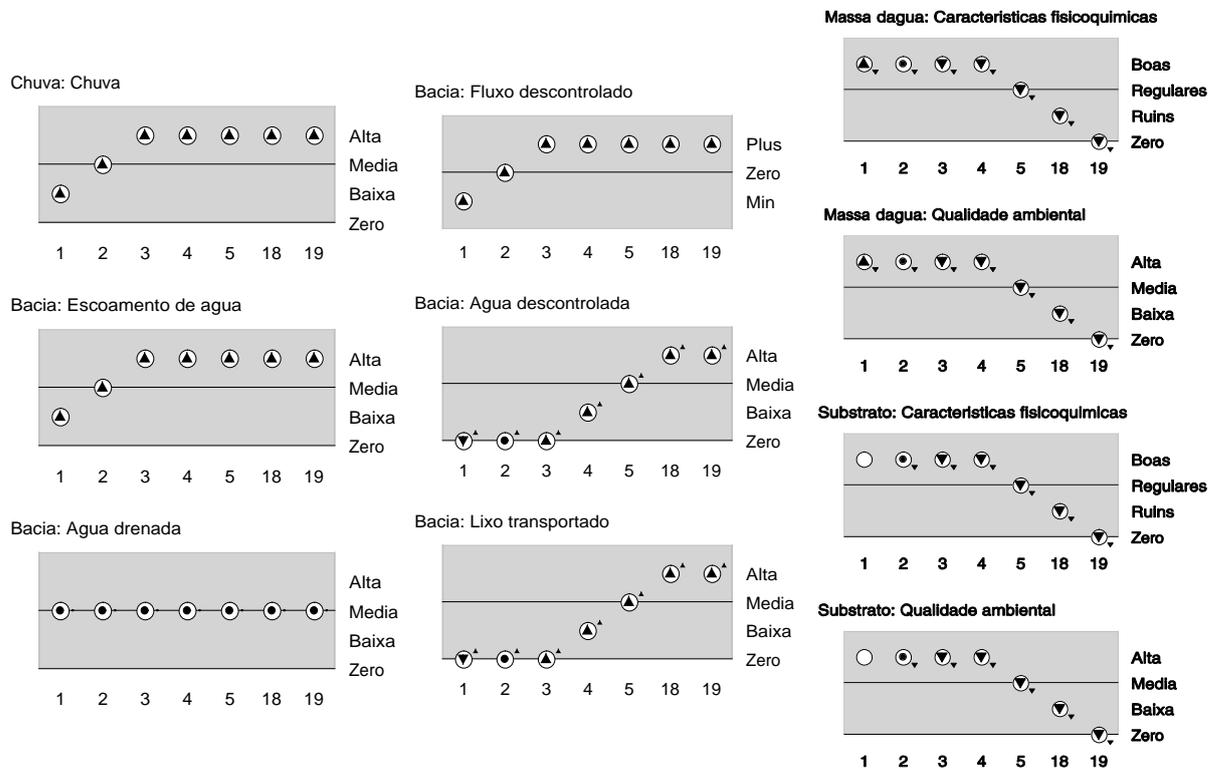


Figura 57: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C01 Lixo com chuva aumentando e drenagem constante’

4.5.6 Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental

O segundo cenário de simulação relacionado a problemas ambientais apresenta todos os três problemas, envolvendo a perda de qualidade ambiental nos biótopos; o carreamento de lixo, o desmatamento de APPs e a erosão do solo. O cenário inicial envolve uma comunidade humana com baixa *Densidade populacional* e *Taxa de crescimento* positiva. Todas as outras variáveis exógenas se mantêm estáveis; o *Manejo e conservação* em zero, as *Drenagens humanas* em baixa e a *Chuva* em média.

Espera-se, nesse cenário, em que a população cresce indefinidamente desacompanhada de manejo ambiental, que a qualidade ambiental do biótopo seja reduzida a zero pelos mais diversos motivos.

A simulação obtida com o cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’ (Figura 58) está sintetizada na tabela 12.

Tabela 12: Resumo da simulação do cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’

Nome do cenário	Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental
Simulação completa	64 estados no FPH
Estados iniciais	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]
Estados finais	[9, 12, 15, 23, 25, 27, 35, 38, 49, 64]
Caminho relevante	[1, 26, 28, 39, 40, 47, 48, 54, 55, 60, 61, 58, 63, 64]
Descrição do comportamento	<p>A <i>Densidade populacional</i> aumenta até o nível alto e se estabiliza quando a <i>Taxa de crescimento</i> populacional, influenciada pelo aumento da densidade, cai a zero. A <i>Pressão de ocupação das APPs</i> aumenta e, como a variável <i>Manejo e conservação</i> da comunidade tem sempre valor zero, a <i>Taxa de desmatamento</i> se mantém sempre positiva, diminuindo a <i>APP preservada</i>, condição que gera perda de <i>Qualidade e quantidade de refúgios</i> na massa d’água.</p> <p>Tanto a <i>Chuva</i> quanto o <i>Escoamento de água</i> e a <i>Drenagem humana</i> se mantêm estáveis, mas a redução das APPs diminui a drenagem natural da bacia e o <i>Fluxo descontrolado</i> aumenta, gerando aumento da <i>Água descontrolada</i> e do <i>Lixo transportado</i>. Esse lixo diminui a qualidade das <i>Características físico-químicas</i> do <i>Substrato</i> e da <i>Massa d’água</i>. O aumento da <i>Água descontrolada</i> e diminuição da</p>

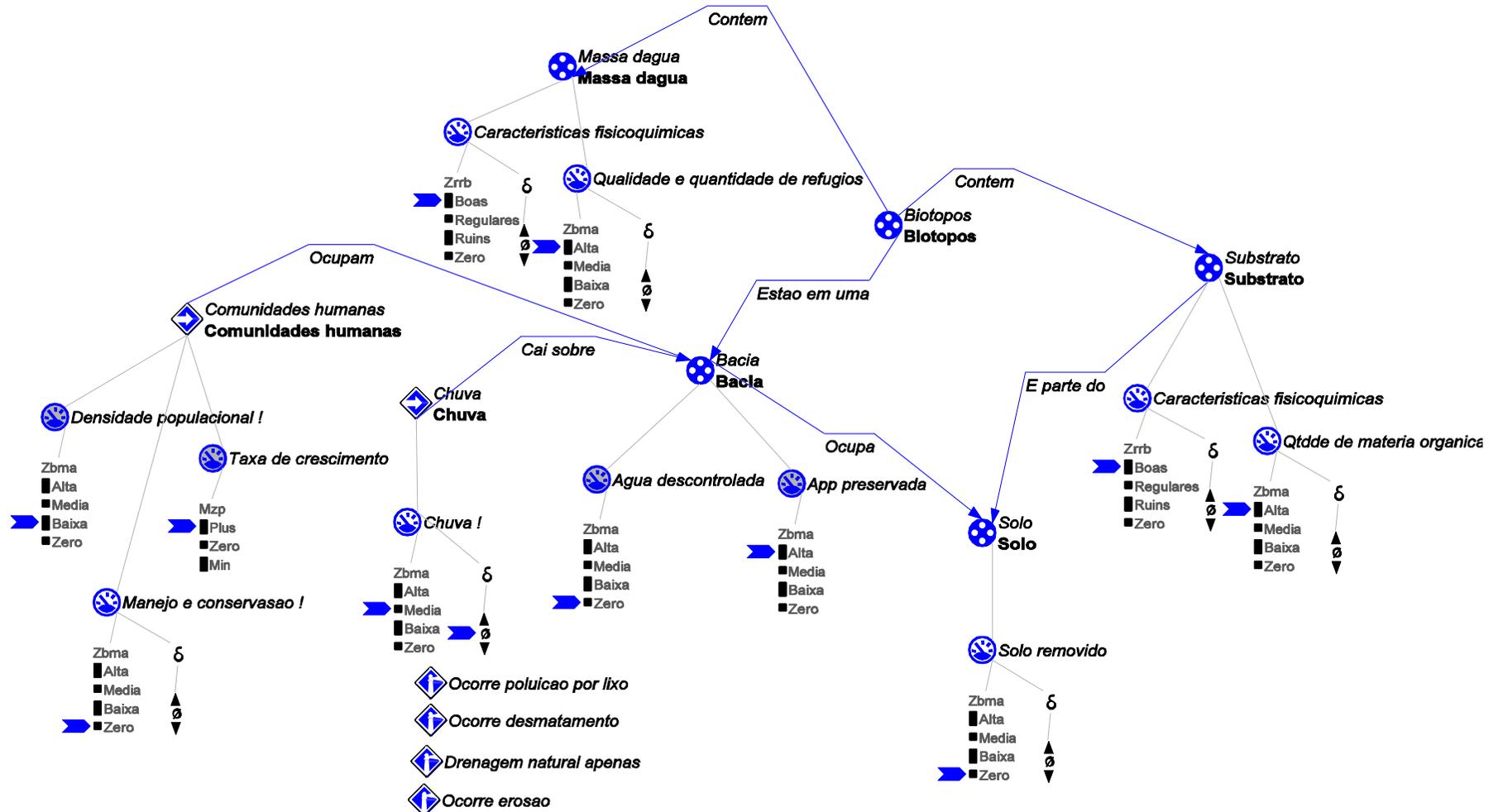


Figura 58: Cenário inicial para 'C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental'

área preservada de APP causam aumento da *Taxa de erosão*. Isso leva ao aumento de *Solo removido* e diminui a *Quantidade de matéria orgânica*.

A *Qualidade ambiental do Substrato* se mantém estável e boa na maior parte da simulação, mas cai a zero influenciada pela mudança nas *Características físico-químicas*. A *Qualidade ambiental da Massa d'água* começa alta mais cai desde o início por força da redução na quantidade e na qualidade dos refúgios. O modelo causal para o estado [23], o diagrama da história de valores e o grafo de comportamento podem ser vistos nas figuras 59, 60 e 61, respectivamente.

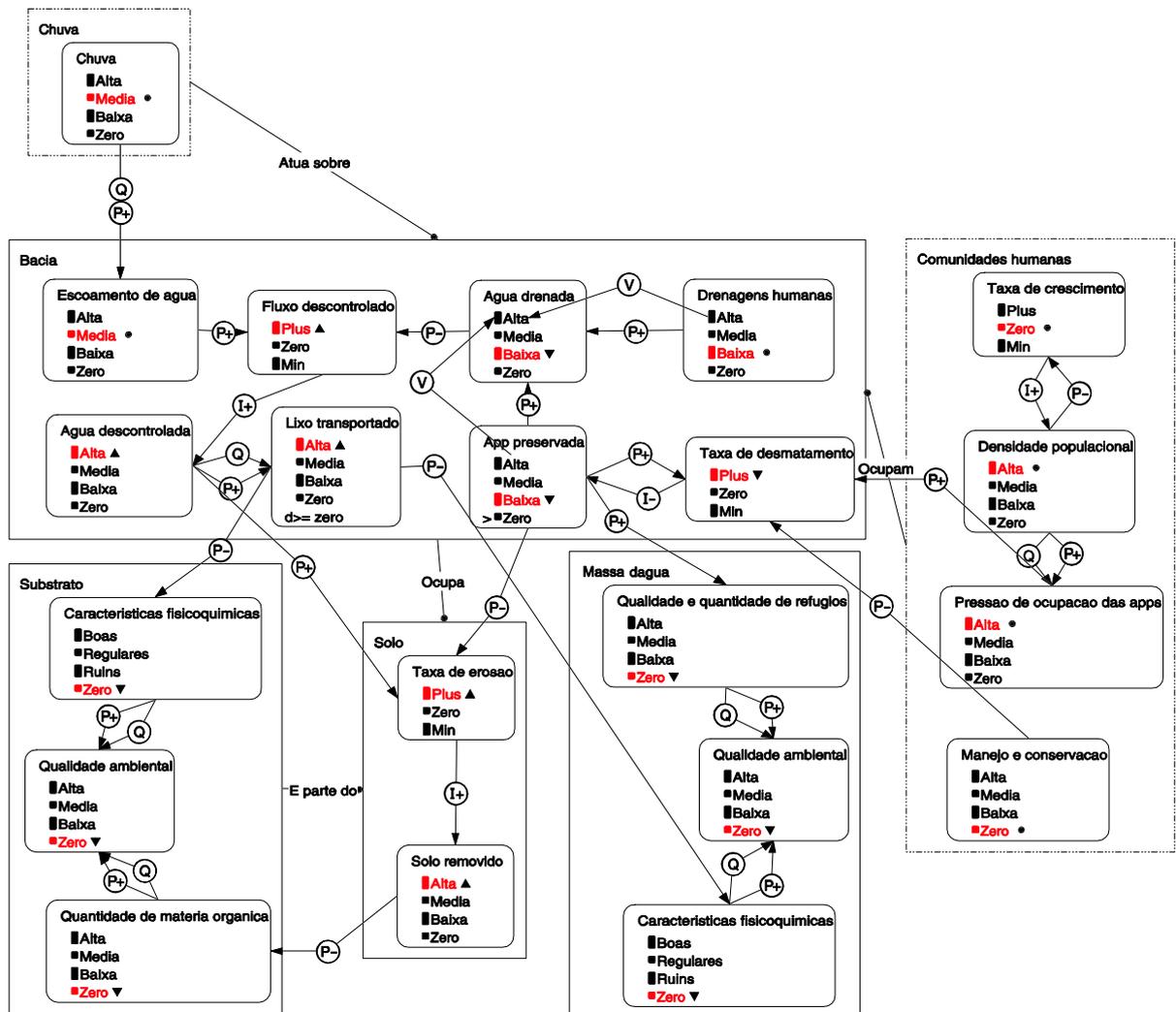
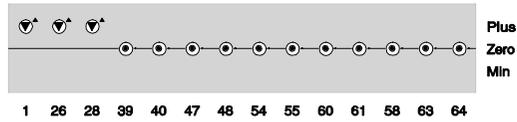
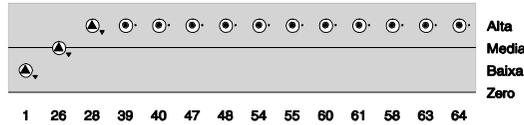


Figura 59: Modelo causal para o estado [23], obtido na simulação do cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’

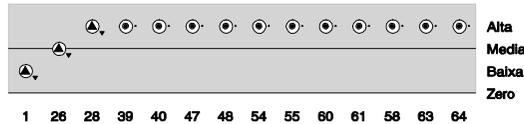
Comunidades humanas: Taxa de crescimento



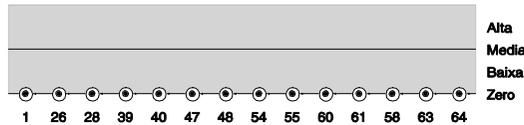
Comunidades humanas: Densidade populacional



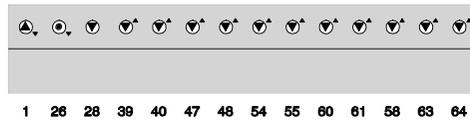
Comunidades humanas: Pressao de ocupacao das apps



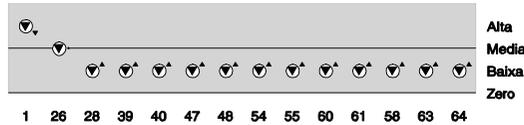
Comunidades humanas: Manejo e conservacao



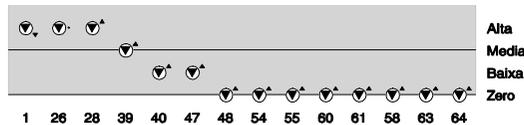
Bacia: Taxa de desmatamento



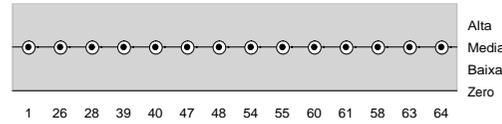
Bacia: App preservada



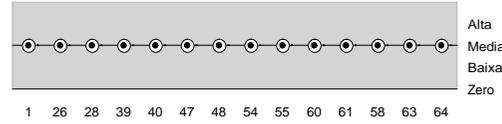
Massa dagua: Qualidade e quantidade de refugios



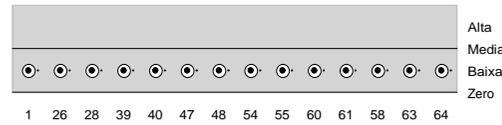
Chuva: Chuva



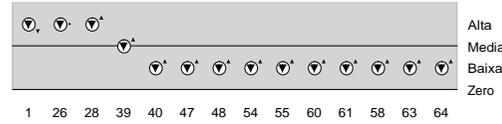
Bacia: escoamento de agua



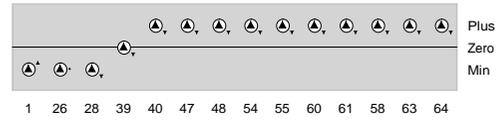
Bacia: Drenagens humanas



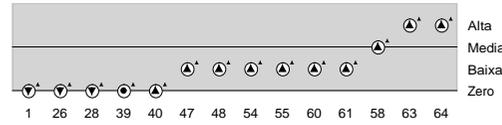
Bacia: Agua drenada



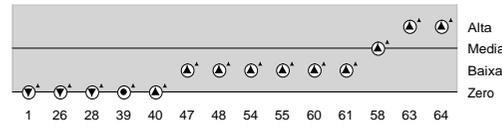
Bacia: Fluxo descontrolado



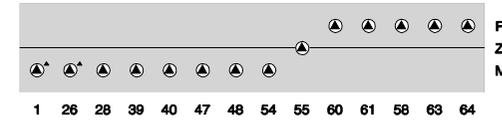
Bacia: Agua descontrolada



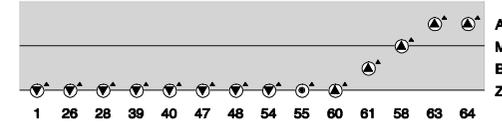
Bacia: Lixo transportado



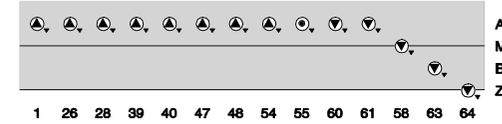
Solo: Taxa de erosao



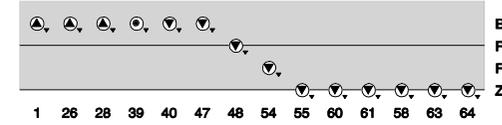
Solo: Solo removido



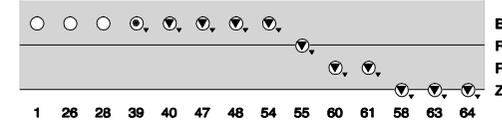
Substrato: Quantidade de materia organica



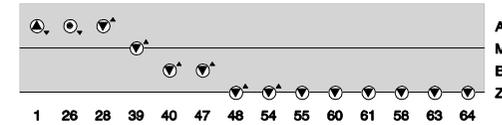
Massa dagua: Caracteristicas fisicoquimicas



Substrato: Caracteristicas fisicoquimicas



Massa dagua: Qualidade ambiental



Substrato: Qualidade ambiental

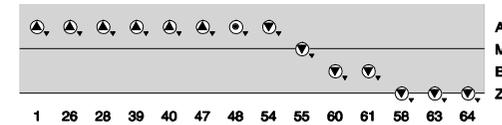


Figura 60: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’

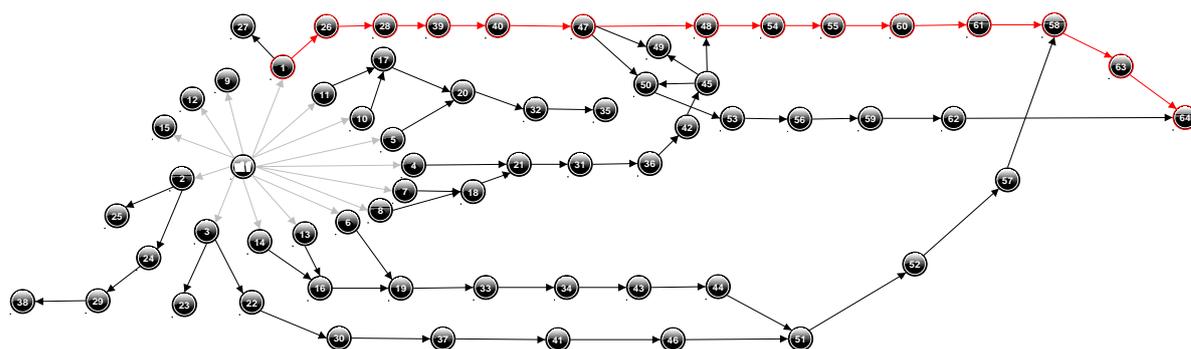


Figura 61: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário ‘C08a Fatores diversos gerando perda de qualidade ambiental’

4.5.7 Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo

Como o cenário anterior, com a diferença única de o *Manejo e conservação* na comunidade estar aumentando.

Espera-se nesse cenário, no qual o aumento da população é acompanhado do aumento do manejo ambiental, que alguns dos problemas ambientais gerados sejam revertidos, ainda que isso não signifique a restauração do ambiente aos níveis de qualidade originais.

A simulação obtida com o cenário C08b utilizou a opção do caminho heurístico mais rápido, mas ainda assim gerou uma quantidade de estados muito grande, razão pela qual o grafo de estados produzido nessa simulação não é mostrado aqui. Da mesma forma, não será repetido o modelo causal, pois é idêntico ao da simulação anterior (Figura 59). As informações sobre a simulação C08b estão sintetizadas na tabela 13.

Tabela 13: Resumo da simulação do cenário ‘C08b Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo’

Nome do cenário	Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo
Simulação completa	332 estados
Estados iniciais	[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45]
Estados finais	[21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 65, 67, 69, 71, 73, 75, 77, 79, 81, 83, 85, 87, 140, 141, 142, 143, 152, 153, 154, 155, 207, 209, 213, 216, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 277, 278, 279, 280, 300, 303, 330, 331, 332]

Caminho relevante [2, 61, 68, 130, 138, 175, 184, 206, 238, 251, 275, 291, 304, 306, 309, 312, 315, 318, 321, 325, 327, 332]

Descrição do comportamento

A *Densidade populacional* aumenta até o nível alto e se estabiliza quando a *Taxa de crescimento* populacional, influenciada pelo aumento da densidade, cai a zero. A *Pressão de ocupação de APPs* aumenta, mas o *Manejo e conservação* da comunidade também. Com isso, a *Taxa de desmatamento*, inicialmente positiva, posteriormente diminui. A *APP preservada* diminui até chegar a zero, para depois se recuperar, devido ao aumento do manejo. O mesmo comportamento se observa na *Qualidade e quantidade de refúgios na Massa d'água*. Tanto a *Chuva* quanto o *Escoamento de água* e a *Drenagem humana* se mantêm estáveis, mas a redução das APPs diminui a *Drenagem natural* da bacia e o *Fluxo descontrolado* aumenta, gerando aumento da *Água descontrolada* e do *Lixo transportado*. No entanto esse comportamento se inverte com a restauração das APPs. O lixo gera diminuição da qualidade das *Características físico-químicas* do *Substrato* e da *Massa d'água*. A redução do lixo restaura as *Características físico-químicas* da água, mas não do *Substrato*. O aumento da *Água descontrolada* e a diminuição da *APP preservada* geram aumento da *Taxa de erosão*. Isso produz o aumento do *Solo removido* e diminuição da *Quantidade de matéria orgânica*. Todo esse processo se reverte com a restauração das APPs, exceto a *Quantidade de matéria orgânica* no *Substrato* do biótopo, que apresenta a tendência de recuperação, mas não se recupera efetivamente. A *Qualidade ambiental* do *Substrato* se mantém estável e boa em boa parte da simulação, mas cai a zero induzida pela mudança nas *Características físico-químicas*. A *Qualidade ambiental* da *Massa d'água* começa alta, cai por força da redução na *quantidade e na qualidade dos refúgios*, mas se recupera no final com a restauração das APPs e a redução no carreamento de lixo. O grafo de comportamento pode ser visto na figura 62.

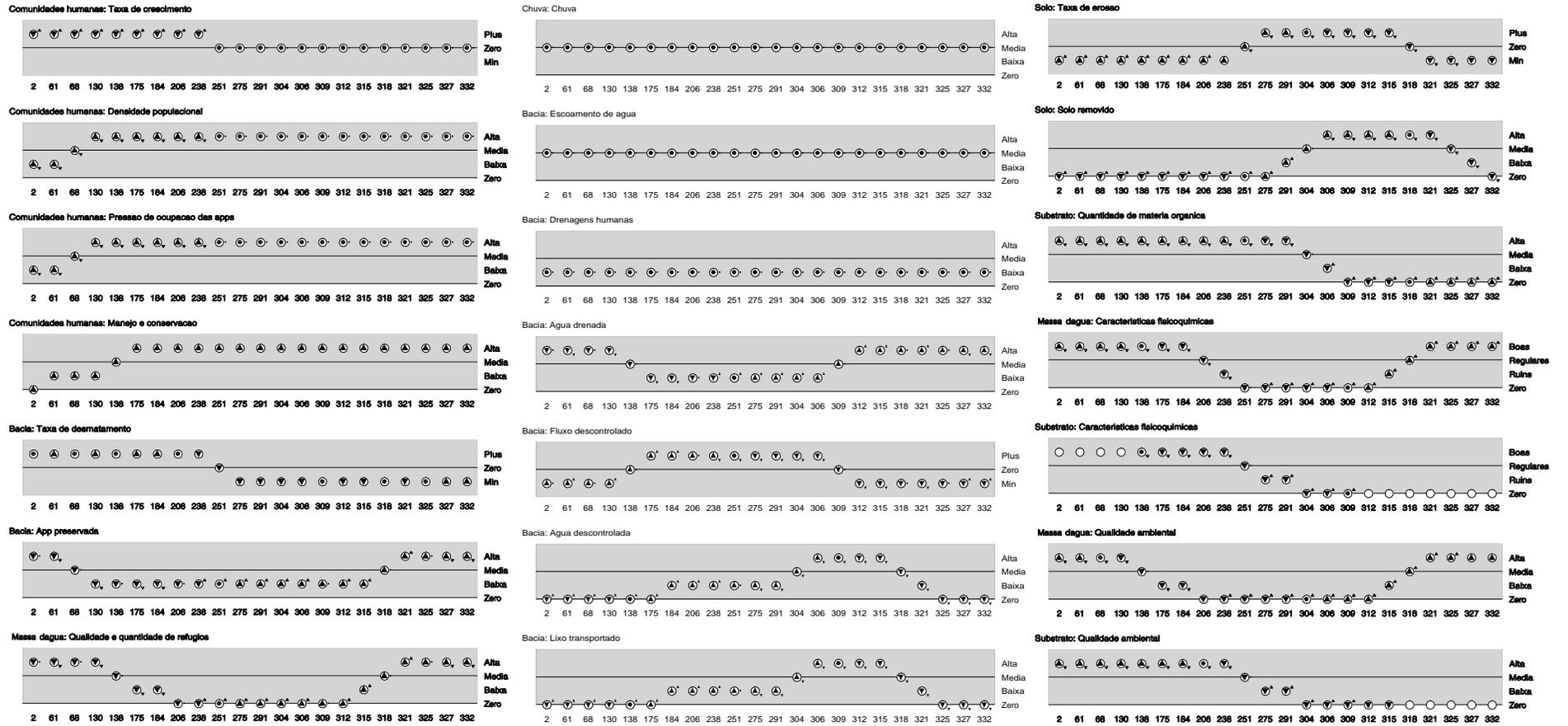


Figura 62: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C08b Perda de qualidade ambiental e aumento do manejo’

4.5.8 Ocupação de APPs em área urbana

Primeiro cenário envolvendo destruição de habitats trata da ocupação de APPs em área urbana, ação que geralmente resulta em aterramento, ou drenagem de áreas alagáveis. Esse cenário representa a ocupação desordenada do solo, facilmente observada em qualquer área urbana no país.

O cenário apresentado na Figura 63 traz o pressuposto de que ocorre destruição de habitats, e descreve a ocupação de áreas urbanas, nas quais existem biótopos da espécie. As *Comunidades humanas* ocupantes apresentam baixa *Densidade populacional* e *Taxa de crescimento* positiva. O *Manejo e conservação* se mantêm estável em médio.

Espera-se, nesse cenário, no qual a população cresce indefinidamente e desacompanhada do manejo ambiental, que a *Quantidade de Biótopos* diminua, apesar da existência de ações de manejo, assim como da conectividade entre biótopos e a biodiversidade da bacia. As informações sobre a simulação do cenário ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’, apresentado na Figura 63, estão sintetizadas na Tabela 14.

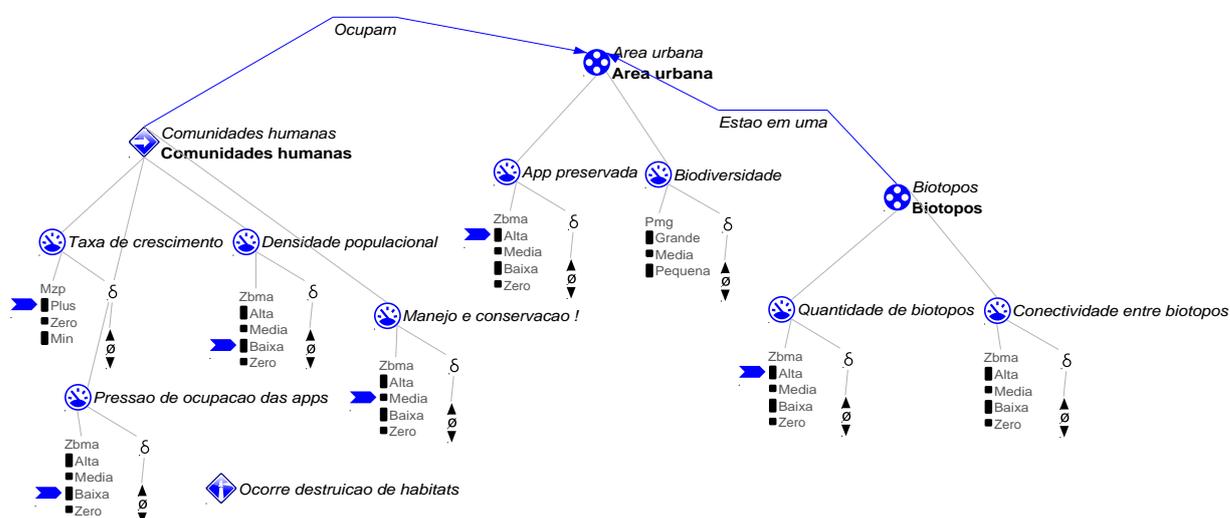


Figura 63: Cenário inicial para ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’

Tabela 14: Resumo da simulação do cenário ‘C09 Ocupação de APPs em área urbana’

Nome do cenário	Ocupação de APPs em área urbana
Simulação completa	52 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[2, 4, 20]

Caminho relevante [1, 3, 5, 6, 19, 20]

Descrição do comportamento

A densidade populacional aumenta até o nível alto e se estabiliza quando a taxa de crescimento populacional, influenciada pelo aumento da densidade, cai à zero.

A pressão de ocupação das APPs pelas comunidades aumenta, enquanto o manejo e conservação se mantêm estáveis em médio. A taxa de ocupação de APPs, inicialmente negativa, se torna positiva quando a pressão de ocupação fica maior que o manejo, e isso gera a diminuição das APPs preservadas. Isso gera uma redução em cadeia na quantidade de biótopos, na conectividade e na biodiversidade.

O grafo de comportamento, o modelo causal para o estado [19] e o diagrama da história de valores podem ser vistos nas figuras 64, 65 e 66, respectivamente.

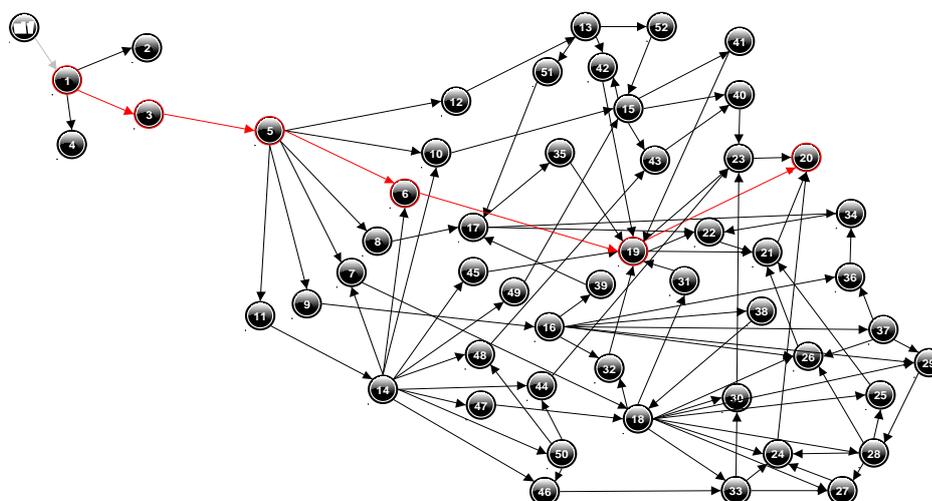


Figura 64: Grafo de comportamento da simulação iniciada no cenário 'C09 Ocupação de APPs em área urbana'

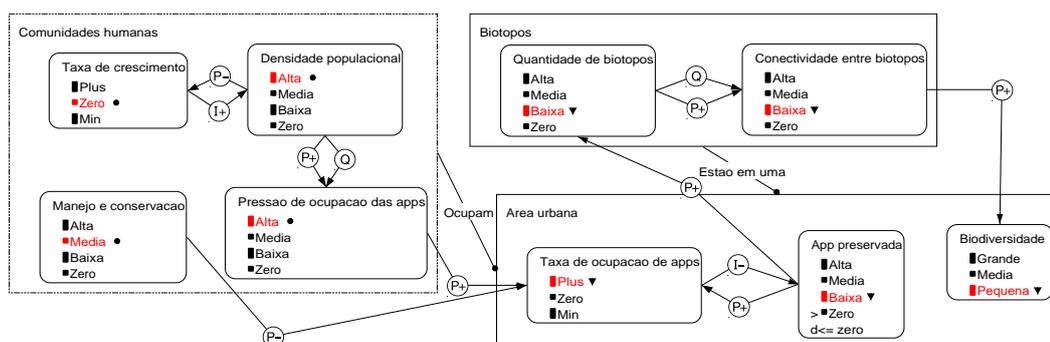


Figura 65: Modelo causal para o estado [19], obtido na simulação do cenário 'C09 Ocupação de APPs em área urbana'.

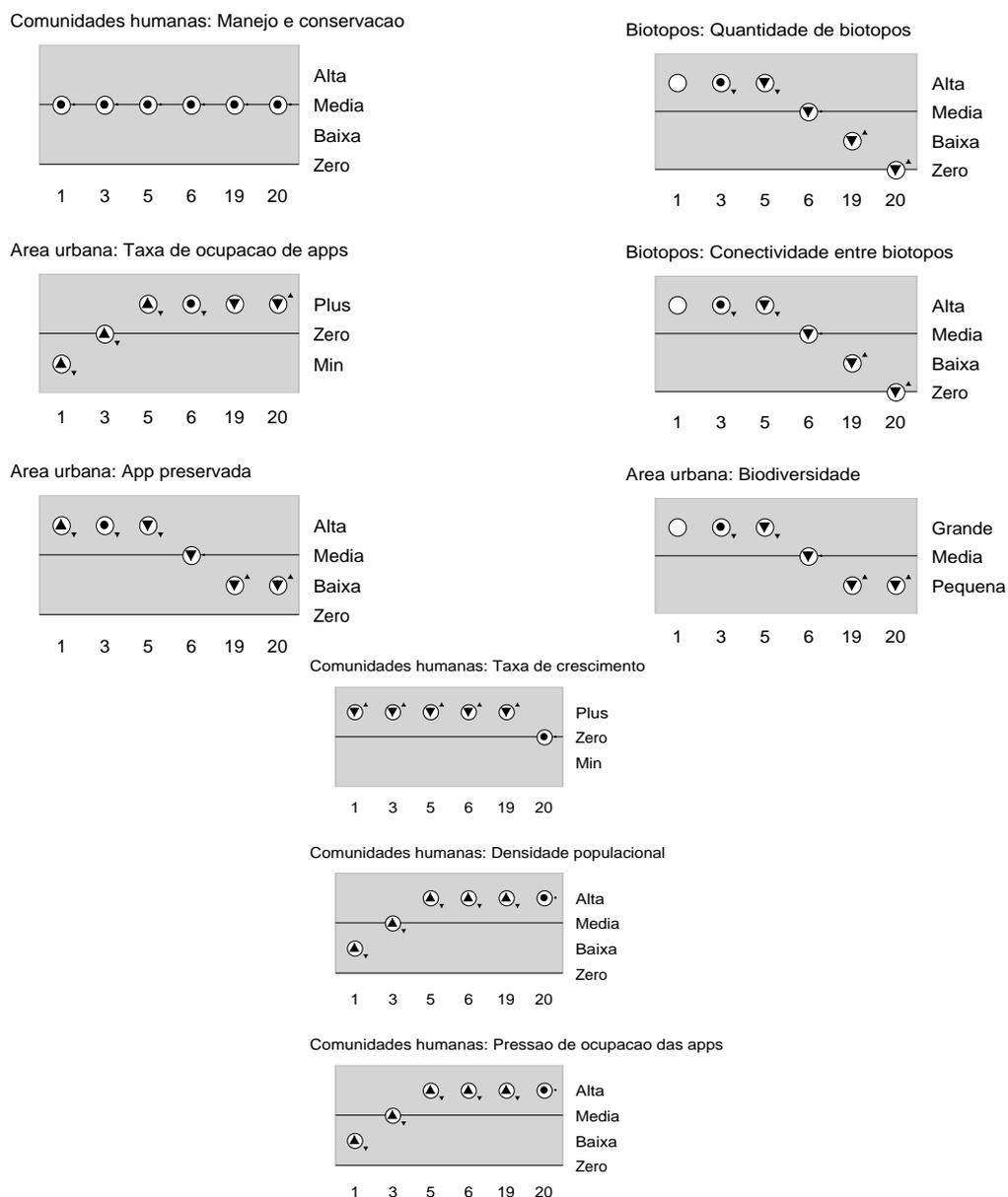


Figura 66: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário C09 ciclo completo

4.5.9 Agropecuária com população humana crescente

Este cenário descreve o uso de APPs para atividades agrícolas em áreas rurais, acompanhado, de forma semelhante ao que ocorre nas áreas urbanas, da drenagem ou aterramento dos biótopos.

O cenário traz o pressuposto de que ocorre destruição de habitats e descreve a ocupação de áreas rurais onde existem *Biótopos* e onde as *Comunidades humanas* praticam atividades agropecuárias. Essas comunidades apresentam *Densidade populacional* média e *Taxa de crescimento* zero. O *Manejo e conservação*, inicialmente zero, estão aumentando.

Espera-se na simulação desse cenário que a quantidade de biótopos, assim como a conectividade entre eles e a biodiversidade da bacia, diminuam até o momento em que a o manejo superar a demanda por áreas de produção.

As informações sobre a simulação do cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’, apresentado na Figura 67, estão sintetizadas na Tabela 15.

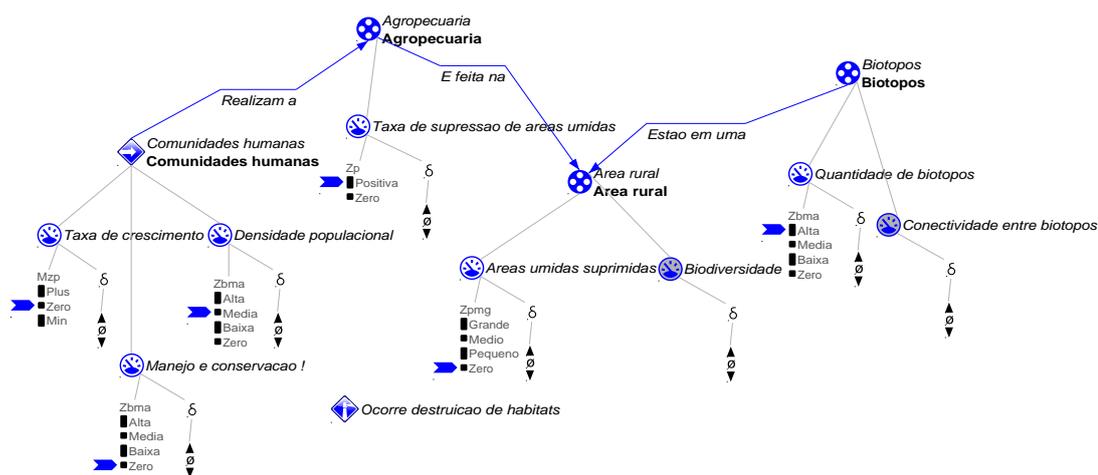


Figura 67: Cenário inicial para ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’

Tabela 15: Resumo da simulação do cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’

Nome do cenário	Agropecuária com manejo estável e população crescente
Simulação completa	73 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[20, 23, 26, 28, 29, 31, 32, 34, 36, 38, 46, 48]
Caminho relevante	[1, 2, 7, 25, 36]
Descrição do comportamento	<p>A taxa de crescimento, a densidade populacional e a demanda por áreas de produção permanecem estáveis por todo o tempo. A taxa de supressão positiva é o tempo todo influenciada negativamente pelo aumento do manejo, enquanto as áreas úmidas suprimidas aumentam até que a taxa de supressão cai a zero. A quantidade e a conectividade dos biótopos também caem, assim como a biodiversidade, até alcançar a estabilidade. Nesse caso, o manejo impediu a destruição dos biótopos.</p> <p>O modelo causal para o estado [36], grafo de comportamento e o diagrama da história de valores podem ser vistos nas figuras 68, 69 e 70, respectivamente.</p>

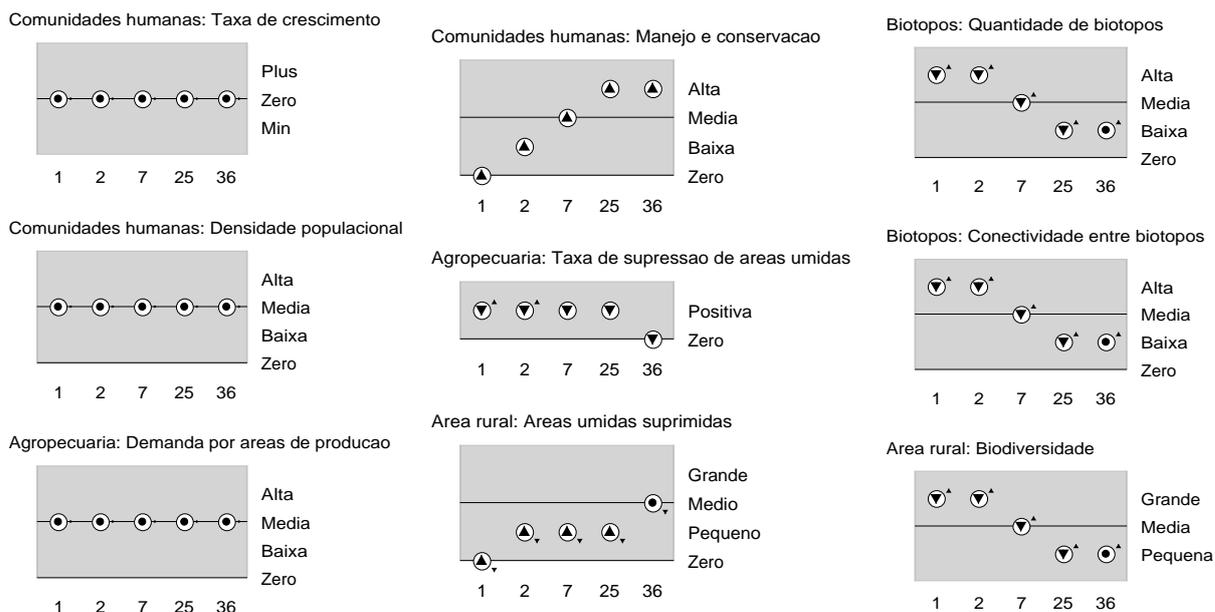


Figura 70: Diagramas da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C12 Agropecuária com população humana crescente’

4.5.10 Construção de lagos e reservatórios

Esse último cenário descreve o processo de alagamento, fruto da construção de lagos e represas em uma bacia hidrográfica. Esses corpos d’água artificiais alteram o pulso de inundação a montante e a jusante do local onde são instalados, perenizando a inundação de áreas úmidas à montante e reduzindo a duração da fase alagada dessas áreas à jusante. O foco no modelo é na inundação das áreas à montante.

O cenário traz o pressuposto de que ocorre destruição de habitats, e descreve a ocupação de uma bacia hidrográfica, na qual existem *Biótopos*, por *Comunidades humanas* que tem demandas de consumo de água e geração de energia. Essas comunidades apresentam *Densidade populacional* zero, *Taxa de crescimento* positiva e baixos *Investimentos em educação ambiental e tecnologias alternativas*.

Espera-se na simulação desse cenário, em que a população cresce indefinidamente desacompanhada de investimentos substanciais em educação e tecnologias alternativas, que a quantidade de biótopos diminua, assim como a conectividade entre eles e a biodiversidade da bacia.

As informações sobre a simulação do cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’, apresentado na Figura 71, estão sintetizadas na Tabela 16. A simulação obtida gerou uma quantidade de estados muito grande, de forma que o grafo de estados resultante não será apresentado aqui.

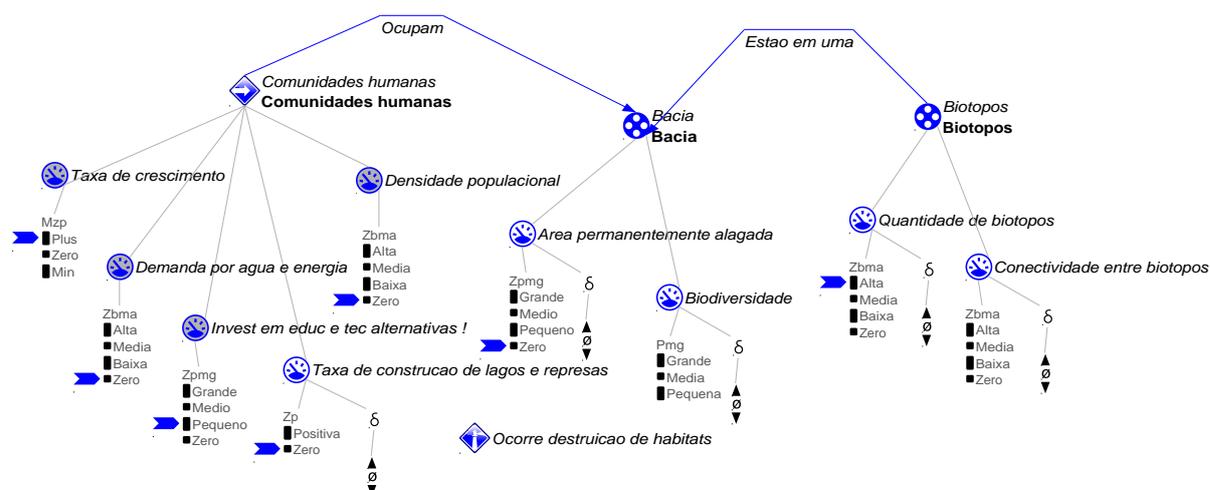


Figura 71: Cenário inicial para 'C11 Construção de lagos e reservatórios'

Tabela 16: Resumo da simulação do cenário 'C11 Construção de lagos e reservatórios'

Nome do cenário	Construção de lagos e reservatórios
Simulação completa	186 estados
Estados iniciais	[1]
Estados finais	[3, 5, 38, 42, 44, 46, 50, 54, 60, 64, 65, 72, 78, 80, 84, 85, 90, 91, 98, 104, 112, 116, 126, 128, 134, 136, 142, 146, 148, 154, 160, 162, 165, 168, 169, 173, 177, 180]
Caminho relevante	[1, 2, 4, 6, 7, 13, 32, 85]
Descrição do comportamento	<p>A densidade populacional aumenta até o nível alto e se estabiliza quando a taxa de crescimento populacional, influenciada pelo aumento da densidade, cai a zero.</p> <p>A demanda por água e energia pela comunidade aumenta, enquanto os investimentos em educação e tecnologias alternativas se mantêm estável e baixo. A taxa construção de lagos e represas, inicialmente zero, se torna positiva por força da demanda por água e energia e isso gera o aumento da área permanentemente alagada. Isso gera uma redução em cadeia na quantidade de biótopos, na conectividade e na biodiversidade.</p>

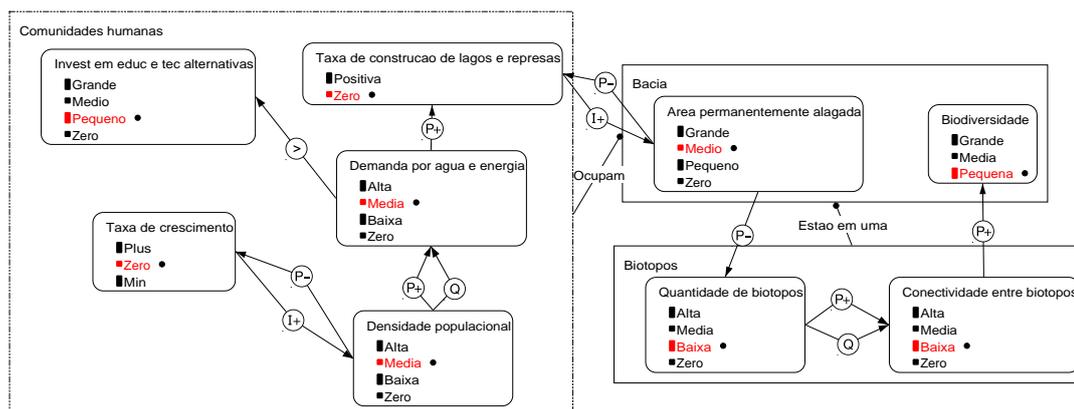


Figura 72: Modelo causal para o estado [32], obtido na simulação do cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’

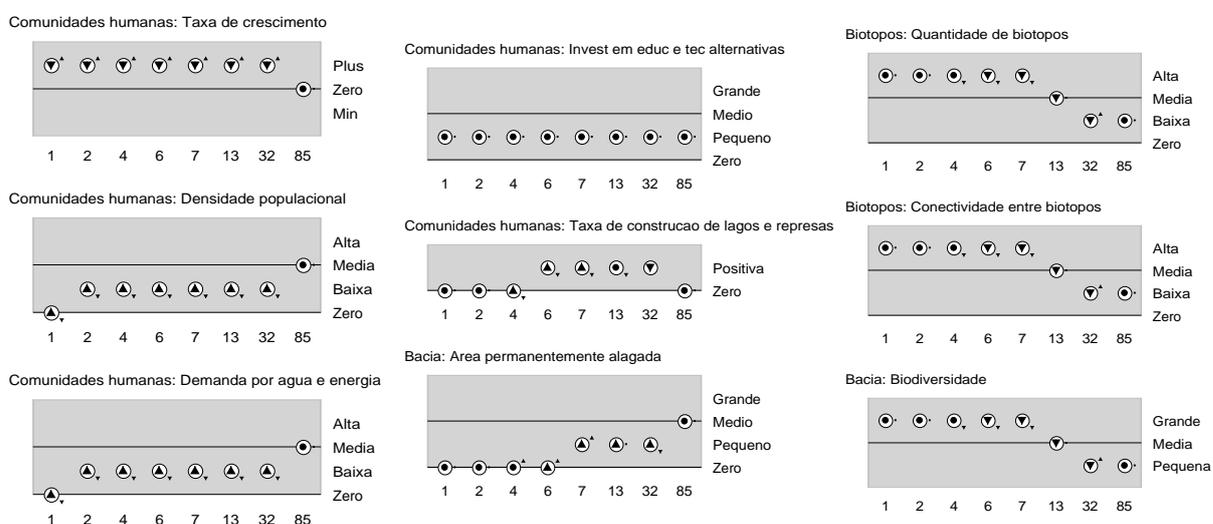


Figura 73: Diagrama da história de valores das quantidades observadas na simulação iniciada no cenário ‘C11 Construção de lagos e reservatórios’

4.6 Validação do modelo

Tanto a avaliação geral com analistas ambientais quanto a avaliação realizada com o especialista tiveram um retorno muito positivo quanto à abordagem de raciocínio qualitativo, ao software GARP3 e aos modelos apresentados. Nas palavras de um dos avaliadores, *o modelo qualitativo demonstrou o conhecimento de uma forma bastante visual e intuitiva, permitindo uma rápida compreensão.*

Todos os participantes validaram a proposta de uso dos modelos para o planejamento e definição de medidas de conservação para o Pirá-Brasília e outras espécies, com algumas adaptações às realidades regionais.

Para aqueles que fizeram a avaliação geral, destacou-se o interesse em utilizar a metodologia para integração entre atores e para suporte à tomada de decisões, enquanto o

especialista apontou como uso preferencial a educação em nível universitário. Curiosamente, cada profissional manifestou preferência pelo uso em sua própria área de atuação.

Entre os analistas ambientais do Ibama que participaram da avaliação geral, houve um interesse especial pelos modelos causais e seu uso em situações de conflito de uso dos recursos naturais, dada a possibilidade de visualizar as influências e as mudanças ao longo do tempo. Também foram feitos comentários positivos quanto à possibilidade de se trabalhar com conhecimento empírico ou informações conceituais apenas, e de se testar hipóteses sem interferir diretamente nas populações – algo muito bem vindo quando se trabalha com ambientes e espécies ameaçadas. Também foi levantada a possibilidade de uso de modelos qualitativos nas primeiras fases de um projeto de pesquisa, como forma de otimizar a coleta de dados.

Na avaliação realizada com o especialista, este levantou algumas dúvidas e sugestões quanto a alguns termos utilizados nos modelos.

No âmbito do primeiro modelo, sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília, o especialista sugeriu que se avaliasse a mudança do nome da entidade *Coluna d'água*, por entender que essa é uma expressão utilizada, geralmente, para uma medida bidimensional relacionada à profundidade de um corpo d'água, ao passo que no modelo ela estaria se referindo à todo o corpo d'água no biótopo, que apresenta nível e área alagada. Também sugeriu repensar o nome do agente externo *Espécies invasoras*, já que esse termo é amplamente relacionado com processos de invasões biológicas por espécies alóctones, geralmente induzidos pelo homem. Por fim, sugeriu a substituição do termo “população”, que foi utilizado nas observações sobre algumas quantidades. No entendimento do avaliador a ideia de “número de indivíduos” seria mais adequada, já que “população” é um termo muito mais abrangente em ecologia.

Para o segundo modelo, sobre os problemas ambientais, foi feita a mesma observação quanto à entidade *Coluna d'água*, e algumas dúvidas surgiram em relação aos espaços quantitativos das quantidades *Qualidade ambiental* (zero, baixa média e alta) e *Características físico-químicas* (zero, ruim, razoáveis e boas). Para o avaliador, poderíamos utilizar “péssimas” no lugar do zero.

Por fim, destacou como ponto forte dos modelos a possibilidade de observar a cadeia de acontecimentos do ciclo de vida do Pirá-Brasília ao longo das estações, e como sugestão para fortalecer o modelo a tentativa de se inserir questões relativas à degradação ambiental já no modelo sobre o ciclo de vida.

5. DISCUSSÃO

5.1 Modelos e papers relacionados

Depois de trabalhos pioneiros como os desenvolvidos por Antunes *et al.* (1987), Câmara *et al.* (1987) e Guerrin (2001a; 2001b) em ambientes aquáticos, o uso de modelos qualitativos em modelagem ecológica tem crescido na última década.

De interesse para este esforço de modelagem são os trabalhos de Anjos e Salles (2006) e Salles *et al.* (2009), que descrevem modelos qualitativos a respeito de alterações na vegetação ripária e as consequências de mudanças no uso da terra, respectivamente, na bacia do Riacho Fundo. Esses modelos oferecem representações que envolvem processos relacionados com a dinâmica da vegetação, incluindo-se fatores antrópicos que determinam o desmatamento e o reflorestamento, e a erosão. Algumas das soluções de modelagem encontradas por eles foram utilizadas no segundo modelo, sobre os problemas ambientais relacionados aos biótopos do Pirá-Brasília. Por exemplo, o cálculo qualitativo da água descontrolada, resultado da diferença entre a água escoada da chuva e a água drenada pelo ambiente.

Consequências da urbanização também foram abordadas em Salles (2007), Salles e Bredeweg (2007) e Salles *et al.* (2009), particularmente em seus efeitos sobre processos como compactação e impermeabilização do solo e infiltração de água no subsolo. Modelos sobre a dinâmica da vegetação e as consequências do desmatamento, e sobre os efeitos da urbanização, descritos nesses trabalhos, serviram de base para a modelagem das condições encontradas nos biótopos do Pirá-Brasília.

A caracterização da qualidade da água em ambientes protegidos por legislação, submetidos a pressões devidas a agricultura, pecuária e ambientes urbanos foi tratada em Araújo *et al.* (2008). A influência da qualidade da água sobre populações de peixes foi abordada em modelo qualitativo descrito em Salles *et al.* (2006a). A dinâmica de nutrientes em ambientes aquáticos foi tratada em Cioaca (2006), e a dinâmica do oxigênio dissolvido, importante indicador da qualidade da água, foi modelada por Araújo (2005). As soluções adotadas nesses trabalhos para a modelagem desses elementos dos sistemas aquáticos também foram analisadas na modelagem dos biótopos do Pirá-Brasília, mas aqui optou-se por abordar esses pontos de uma maneira um pouco mais simplificada.

O processo de validação aplicado nesse modelo foi semelhante àqueles utilizados por Anjos (2005), Salles e Bredeweg (2009) e Zitek *et al.* (2009), e um comparativo dos resultados está apresentado acima, na primeira parte desse capítulo.

Constituem aspectos inovadores deste trabalho a modelagem do ciclo de vida de um peixe anual e das influências antrópicas sobre os biótopos ocupados por esse peixe. Os trabalhos de modelagem qualitativa mais próximos deste tema são apresentados em Guerrin e Dumas (2001a; 2001b) que adotaram equações diferenciais qualitativas, segundo a abordagem centrada em restrições (Kuipers, 1986) para representar fatores que afetam a sobrevivência de indivíduos imaturos em populações de salmão, e nos trabalhos de Noble (2007) e Noble *et al.* (2009), em que se utilizou a Teoria Qualitativa dos Processos (Forbus, 1984) nos estudos de caso sobre os Rios Trent e Great Ouse no Reino Unido, considerando a reabilitação do salmão do Atlântico.

Em comum com os trabalhos de Guerrin e Dumas (2001a; 2001b), Noble (2007) e Noble *et al.* (2009) este trabalho adota mais de uma entidade para representar uma população, baseado no conceito de uma população estruturada em diferentes estágios de vida. Guerrin e Dumas (2001a; 2001b), no entanto, se utilizam da abordagem centrada em restrições, e nessa abordagem a causalidade não é expressa explicitamente. Já os trabalhos de Noble (2007) e Noble *et al.* (2009) também utilizam a Teoria Qualitativa dos Processos, mas focam os modelos na interação da espécie com fatores ambientais significativos para cada fase do ciclo de vida e na propagação das mudanças de uma para as outras fases deste ciclo, em nível de paisagem. Diferente desses trabalhos, no modelo sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília são descritas as relações dessas entidades ao longo do tempo de um ciclo de vida, onde as flutuações são esperadas e desejadas ao longo do tempo.

A abordagem de Noble (2007) e Noble *et al.* (2009) é mais próxima do que foi trabalhado no segundo modelo, sobre os problemas ambientais afetando os biótopos do Pirá-Brasília, mas este não inseriu o Pirá-Brasília e suas fases de vida entre suas entidades, pois quando foram feitas essas tentativas, seguindo os modelos destes autores, a quantidade de estados nas simulações aumentou muito sem que trouxesse informações novas; é intuitivo o fato de que a qualidade da água limita a quantidade de peixes, e que a qualidade do substrato limita a quantidade de ovos durante o ciclo dos peixes-anuais.

5.2 Sobre os resultados obtidos com os modelos

A construção dos modelos teve como foco o Pirá-Brasília, mas não foi identificado nenhum ponto específico que impeça a generalização do modelo sobre o ciclo de vida para outras espécies de peixes anuais, em especial as espécies do gênero *Simpsonichtys*. Isso se deve principalmente ao fato de que, para confecção do modelo, boa parte das informações utilizadas vêm de trabalhos com outras espécies, o que está de acordo com a hipótese de Wourms (1972c) de que todos os grupos de peixes anuais seriam influenciados pelos mesmos fatores, e o desenvolvimento embrionário apresentaria o mesmo padrão. A confirmação desse ponto, no entanto, só poderá ser feita à medida que surgirem novas pesquisas envolvendo o Pirá-Brasília e outras espécies anuais.

Da mesma forma, o segundo modelo abarcou situações aparentemente comuns a outras espécies de anuais no Brasil, ainda que, para outras espécies, outros problemas mais relevantes possam surgir. O modelo e as simulações apresentadas possivelmente poderão servir de base para trabalhos semelhantes com outras espécies.

A primeira das perguntas de pesquisa desse trabalho foi sobre como o conhecimento das interações da espécie com o ambiente contribuiria para a compreensão de aspectos relevantes para a sobrevivência desses peixes nos ambientes onde são encontrados.

Nesse sentido, as simulações geradas pelo primeiro modelo deixaram clara a importância de se trabalhar medidas que garantam a qualidade tanto da água quanto do substrato do biótopo. Além disso, apontaram para a forte dependência da espécie quanto à existência da fase seca no ciclo.

Na literatura é mais comum que se encontrem referências ao fato de a biologia dos peixes anuais ser extremamente especializada para permitir a sobrevivência destes em poças temporárias (Wourms, 1972c; Costa, 1998), mas não se encontram referências onde se explique claramente que, devido a essas especializações, a sobrevivência dos peixes anuais em ambiente natural depende da existência desses ambientes.

Essa dependência da fase seca pode não ficar clara durante a manutenção da espécie em cativeiro, até porque a incubação dos ovos em água já foi relatada na literatura anteriormente (Inglima *et al.*, 1981; Shibatta, 2005), assim como por criadores e hobbystas (Katz, 2004). No entanto, não se encontrou nenhum registro sobre a existência de populações naturais ou em cativeiro de espécies de peixes anuais que estejam se mantendo em ambientes permanentemente alagados Arenzon *et al.* (2001) chegaram a observar uma pequena

quantidade de juvenis em meio a uma população maior de adultos, mas a curva de crescimento dessa população apresentava uma tendência claramente unimodal.

Parte da explicação do porquê dessa dependência pode ser buscada nas simulações do primeiro modelo, nas quais, durante a fase aquática, a influência negativa da presença dos adultos e da baixa oxigenação do substrato sobre a embriogênese está clara no modelo causal e no diagrama da história de valores das quantidades da simulação, e bem fundamentada na literatura (Inglima *et al.*, 1981; Podrabsky e Hand, 1999; Podrabsky *et al.*, 2007).

Embora não esteja tão clara, a influência do fotoperíodo sobre a taxa de embriogênese de embriões em diapausa II, apresentada no modelo como uma proporcionalidade positiva, também pode ser reduzida na fase aquática. Podrabsky (1999) sugere que a exposição dos embriões à luz pode ocorrer em meio ao substrato seco, ficando ativados antes do retorno das chuvas; ele afirma que, ainda que menos de 1% da luz atravesse o substrato, essa pequena incidência é sabidamente importante na germinação de sementes e no crescimento de raízes. O autor também levanta a possibilidade de que, durante as chuvas pesadas, os ovos possam ser misturados à massa d'água e se expor à luz, sincronizando o restabelecimento do desenvolvimento com a disponibilidade de água.

Essa dependência da fase seca apontada pelo modelo ressalta a susceptibilidade da espécie a variações na altura do lençol freático, que podem aumentar ou diminuir a fase seca a ponto de, em curto ou médio prazo, comprometer a manutenção da espécie; um ponto que, infelizmente, não pôde ser trabalhado no modelo sobre o ciclo de vida da espécie, nem foi devidamente examinado em nenhum dos estudos consultados nesse trabalho, ainda que seja citado como uma preocupação em alguns deles, e seja um tema recorrente em discussões de criadores e hobbyistas.

As simulações do modelo sobre o ciclo de vida também permitem visualizar o fato de que a colonização esporádica do biótopo por outras espécies é pouco significativa como “ameaça” ambiental. Enquanto o ciclo de cheias e chuvas se mantiver, a competição e predação por outras espécies não parece uma ameaça significativa, o que está de acordo com algumas das referências encontradas na literatura, de que essas interações só se tornariam mais relevantes com um aumento do hidroperíodo (Schneider e Frost, 1996; Williams, 2006; Roeck, 2008).

Ainda no modelo do ciclo de vida podemos visualizar a dependência da espécie quanto à existência de um substrato capaz de manter um mínimo de umidade e permitir a oxigenação e a passagem de luminosidade durante a fase seca.

O segundo modelo, sobre os problemas ambientais, é estruturalmente mais simples que o primeiro, mas também agrega uma quantidade muito grande de variáveis – embora pudesse conter ainda mais, se algumas decisões de modelagem diferentes tivessem sido tomadas. Por exemplo, a questão da biodiversidade foi tratada de maneira muito simplificada, até pela necessidade, e poderia ser foco de um terceiro modelo, que poderia abarcar com mais propriedade a questão das metapopulações (no tempo e no espaço) e da diversidade intraespecífica em resposta a variações ambientais. Da mesma forma, os serviços ambientais prestados pelas áreas úmidas poderiam ter sido trabalhados, o que não foi feito devido à necessidade de possibilitar um melhor entendimento de outros aspectos do modelo.

Diferente do modelo sobre o ciclo de vida, que foi desenvolvido com pouco aproveitamento de conceitos já modelados em trabalhos anteriores, o modelo sobre problemas ambientais aproveitou muito do que já existia em outros modelos qualitativos envolvendo conceitos e processos de degradação de bacias hidrográficas, principalmente aqueles desenvolvidos por Anjos (2005) e Salles e Bredeweg (2009) para descrever diferentes aspectos da micro-bacia do Riacho Fundo.

Esse segundo modelo, como um todo, abarca o contexto da segunda pergunta de pesquisa proposta para esse trabalho, sobre quais seriam os principais efeitos das mudanças causadas pelo homem nos biótopos ocupados por populações de Pirá-Brasília no Distrito Federal. Nesse sentido, ele é muito direto em sua proposta e em seus resultados.

As simulações envolvem tanto a perda de qualidade em um dado biótopo quanto a perda de biótopos em uma parte da bacia. Em todas as simulações pode ser apontado um elemento comum para os dois tipos de problemas citados: a perda ou degradação de áreas de preservação permanentes - APPs.

No contexto das micro-bacias do Riacho Fundo e do Ribeirão do Gama, o modelo não deixa claro qual seria a principal causa dessa diminuição das APPs, mas apresenta claramente os mecanismos pelos quais ações diversas geram essa perda e os efeitos em separado de cada uma delas: a perda da integridade das características físicas e químicas dos biótopos (tanto da água quanto do substrato) pelo carreamento de elementos externos, a diminuição na quantidade de matéria orgânica no substrato e da qualidade e quantidade de refúgios ecológicos na poça, ou a supressão direta e total do biótopo.

O retorno recebido no processo de validação dos modelos foi muito significativo, pois veio de um grupo de técnicos experientes em conservação e uso sustentável de recursos naturais, que lidam com problemas diversos. Esses avaliadores concluíram que era válida a proposta de uso dos modelos para o planejamento e a definição de medidas de conservação

para o Pirá-Brasília e outras espécies, com algumas adaptações às realidades regionais. Um dos participantes ressaltou o fato de que, *com uma maior compreensão das interações de um sistema, pode-se tomar decisões de maneira mais segura.*

Esses resultados convergem com as avaliações de modelos sobre aspectos diversos da bacia do Riacho Fundo relatados por Anjos (2005) e Salles e Bredeweg (2009), que modelaram aspectos ambientais e do uso de recursos naturais na região da micro-bacia do Riacho Fundo. Também foram semelhantes aos de Zitek *et al.* (2009), que focaram seu modelo no manejo sustentável de uma bacia hidrográfica. Tanto a abordagem quanto as perguntas feitas aos avaliadores nesse trabalho foram semelhantes às dos trabalhos citados.

Cabe ressaltar que a avaliação realizada também foi uma avaliação qualitativa, onde é levada em conta, primordialmente, a experiência e o conhecimento dos avaliadores. Nesse tipo de modelagem o papel da avaliação é ter a opinião de especialistas no sentido de apontar maneiras de melhorar a representação apresentada ou indicar usos que consideram adequados.

Outros modelos qualitativos que trataram de assuntos próximos aos deste trabalho, como os de Tullos e Newman (2006) sobre impactos antropogênicos em comunidades de invertebrados aquáticos e os de Noble *et al.* (2009) sobre o ciclo de vida do salmão, não passaram pelo processo de validação para que os resultados pudessem ser comparados aqui.

5.3 Problemas e soluções encontradas no processo de modelagem

Um primeiro filtro que se mostrou necessário durante as leituras foi relativo a referências que apontavam fatores que induziam uma ou outra fase de diapausa. Com um pouco mais de cuidado na leitura fica evidente uma contradição nessas afirmações: uma diapausa verdadeira não é induzida, pois acontece independentemente de outros fatores. O único caso em que pode haver indução é o caso da diapausa I, que não é uma diapausa verdadeira, mas uma quiescência, conforme a definição de Shelford (1929 *apud* Danks, 1987). Esse filtro crítico foi essencial para triar e organizar a enorme quantidade de informações dispersas na bibliografia.

No processo de modelagem, foi dado destaque maior àqueles fatores que apresentam mais significância segundo a bibliografia, e que estariam efetivamente ligados a um padrão cíclico ambiental, como o fotoperíodo e a pluviosidade, por exemplo.

Parâmetros como o pH e o oxigênio dissolvido na água, por exemplo, apesar de serem citados com certa frequência, geralmente estão sujeitos a variações relativamente intensas, mesmo no decorrer de um único dia, dificultando a inclusão dessas variáveis no modelo. Podrabsky *et al.* (1998) já alertara para o fato de que, baseado na grande variação apresentada pelas poças para parâmetros como pressão de oxigênio, pH, composição iônica e temperatura, é de se esperar que peixes anuais possam tolerar grandes variações ambientais associadas a processos fisiológicos, ainda que alguns desses fatores tenham influência no crescimento dos peixes (Markofsky e Matias, 1977; Levels e Denucé, 1988). Por essa razão, esses fatores não foram trabalhados no processo de modelagem.

A não inserção da temperatura no modelo, em particular merece esclarecimentos. A temperatura é citada em diversos trabalhos como influência sobre diversas variáveis. Mas como no caso do oxigênio dissolvido na água e do pH, esse parâmetro também pode sofrer grandes oscilações no decorrer de um dia. Chegou-se a pensar em inserir quantidades médias, como temperaturas mínimas, ou máximas, que apresentam variações cíclicas ao longo das estações. No entanto é facilmente observável na bibliografia que a principal influência apontada para a temperatura refere-se ao seu efeito no tempo de desenvolvimento de embriões ou peixes. Em modelagem qualitativa, porém, o tempo é representado pela transição dos estados em uma simulação (Bredeweg *et al.*, 2008), e essa representação, na abordagem adotada neste trabalho, não permite inferências sobre o tempo necessário para essa transição.

A respeito do estágio final da embriogênese, em nenhum trabalho foi possível associar a eclosão especificamente a um fator ou outro, mas diversas hipóteses foram observadas tanto em trabalhos científicos (Wourms, 1972a; 1972c; Podrabsky, 1999) como em experimentos amadores levados a cabo por aquaristas (Katz, 2004), incluindo a variação do oxigênio dissolvido, da pressão atmosférica ou da umidade do solo.

Nesse contexto, a opção pelo uso da quantidade *umidade do solo* se deu pela sua neutralidade: as mudanças nessa quantidade são claramente associadas ao balanço entre precipitação e evaporação, ligadas diretamente a fatores cíclicos e climáticos, e podem gerar inúmeras alterações diretas ou indiretas na físico-química do solo e da água. Essa foi a maneira encontrada para escapar à dúvida sobre qual é o real fator indutor da eclosão, ou se o evento pode mesmo ser influenciado por múltiplos fatores. Trabalhos futuros podem incluir experimentos com o modelo para testar hipóteses envolvendo os diferentes fatores indutores da eclosão.

No início dos trabalhos também pairava dúvida quanto à maneira como seria feita a representação nos modelos dos fenômenos da diapausa e da quiescência. Ao final a

atribuição de valor zero para as derivadas no período de diapausa pareceu a melhor representação para o fenômeno.

A representação das etapas de maturidade e desova deve ser retrabalhada em trabalhos futuros, em busca de maneiras de superar as limitações da abordagem qualitativa para representar o tempo, como citado anteriormente.

No âmbito do segundo modelo o trabalho poderia se tornar mais robusto se a escala geográfica fosse menor. A realização de uma análise prévia, através de Sistemas de Informação Georreferenciadas, poderia identificar as áreas úmidas dentro das duas microbacias, e avaliar com mais precisão quais as principais atividades antrópicas no entorno dessas áreas, aumentando o foco sobre as áreas onde existe mais interesse para a conservação do Pirá-Brasília.

Uma discussão comum em modelagem qualitativa parece ser quanto a escolha dos espaços quantitativos, e seus significados. De fato, muitas questões de interesse em ecologia, especialmente para os tomadores de decisão, podem ser respondidas em termos de “melhor ou pior”, “mais ou menos”, “curto prazo ou longo prazo”, etc (Rykiel, 1989). Afinal, continua esse autor, predições qualitativas, cientificamente válidas, podem ser feitas mesmo quando predições quantitativas não são possíveis.

Valores de referência utilizados em ecologia tendem a ser conceituais e difíceis de definir (Noble *et al.*, 2009). Como exemplo, podemos citar “captura máxima sustentável” ou “capacidade de suporte”. Ainda que alguns desses termos sejam utilizados para se definir metas calculadas quantitativamente, seus valores não são facilmente definidos ou estimados (Noble *et al.*, 2009).

Para Noble *et al.* (2009), o espaço quantitativo definido para as principais quantidades deve ser ordinal e ter um número de intervalos e pontos que reflita valores interessantes para interpretação do sistema. Mas ainda que espaços quantitativos mais simples (como {zero, positivo}) possam gerar simulações mais simples e exigir menor esforço para interpretação dos comportamentos apresentados, podem dificultar a compreensão para usuários inexperientes, pois são visualmente menos intuitivos.

Seguindo essa linha de raciocínio, a maioria das quantidades utilizadas nos modelos descritos neste trabalho, adotava espaços quantitativos do tipo {zero, pequeno, médio, grande}, efetuando-se adequações quanto ao contexto e a características próprias de cada quantidade. Na maioria dos casos, esse tipo de espaço quantitativo reflete apenas três possíveis estados de interesse: zero, pequeno e grande. Como foi muito bem exposto por

Noble *et al.* (2009), o ponto médio desse tipo de espaço quantitativo reflete apenas um estado momentâneo de transição, de pequeno para grande.

O objetivo de se adotar essa forma básica para espaços quantitativos foi a de propiciar compreensão intuitiva dos grafos obtidos nas simulações, sem contudo aumentar a complexidade dos resultados.

5.4 Considerações sobre conservação da espécie

A maioria das espécies do gênero *Simpsonichtys* está em extinção. Em 2004, quando apenas 35 espécies do gênero haviam sido descritas, o Ministério do Meio Ambiente publicou a Instrução Normativa nº 05 de 21 de maio de 2004 na qual 26 (74%) delas foram classificadas como ameaçadas de extinção.

Atualmente as únicas populações de Pirá-Brasília de que se tem notícia são as duas populações descritas por Shibatta para a Reserva Biológica do IBGE, na micro-bacia do Ribeirão do Gama, e a população descoberta em 2005 e citada por Costa (2006), à montante da localidade tipo da espécie, na micro-bacia do Riacho Fundo.

As duas primeiras estão bem protegidas na Reserva Ecológica do IBGE. Já a única população conhecida para a micro-bacia do Riacho Fundo se encontra em uma área extremamente vulnerável, com fácil acesso, histórico regional de invasões e indícios claros de degradação no entorno.

As duas bacias somadas detêm um índice de proteção de cerca de 45%, muito próximo da média do DF (45,75%), sendo 11,98% de áreas de conservação de proteção integral. Parece razoável se comparado com os índices do DF (6,95%), do Brasil (1,85%) e mesmo da média mundial (6%) (Semarh, 2006), mas existe uma diferença desproporcional entre os índices de proteção das duas bacias, apontando para a necessidade de estabelecimento de estratégias distintas para conservação em cada uma delas.

Para a bacia do Ribeirão do Gama a completa implementação das unidades parece estratégica, já que toda a área da bacia está inserida dentro de uma Área de Proteção Ambiental – APA, e um percentual significativo dessa área inclui unidades de proteção integral. Uma dessas unidades é a Reserva Ecológica do IBGE, onde se encontram duas das populações conhecidas.

Em unidades de conservação o principal problema seriam as áreas degradadas no interior das mesmas, recorrente na maioria das áreas protegidas, particularmente naquelas que não receberam infraestrutura mínima. Tais degradações têm causas múltiplas, desde o fato de

o Poder Legislativo criar essas unidades sem o devido aporte orçamentário para sua implantação, passando pelo Poder Executivo, que necessita estruturar melhor o sistema de fiscalização, e chega à própria sociedade que, via de regra, tem promovido tais degradações por motivos diversos (Cardoso *et al.*, 2001).

Entretanto, a Reserva Ecológica do IBGE é a unidade de conservação com maior percentual de implantação dentre todas na área da Bacia do Lago Paranoá (90% segundo Cardoso *et al.* (2001). Ainda que a mesma situação não seja encontrada em toda a área da bacia, existe um percentual de implantação significativo também na Fazenda Água Limpa, da UnB, área potencial de dispersão para a espécie. A ocorrência em outras áreas até o momento permanece desconhecida.

A micro-bacia do Riacho Fundo tem um perfil de uso diferente, e os problemas aparentam um pouco mais de complexidade (Netto, 2001).

Embora o modelo não faça uma distinção aberta, com cenários de simulação separados para cada uma das micro-bacias, é possível inferir, genericamente, que existe maior ocupação rural na micro-bacia do Ribeirão do Gama e pressão urbana mais intensa na micro-bacia do Riacho Fundo (ainda que as duas áreas apresentem os dois tipos de ocupação). O segundo modelo, sobre os problemas ambientais, apresenta simulações distintas quanto à destruição de biótopos em áreas rurais e urbanas. Essa foi uma forma encontrada para apontar pressões diferentes em cada uma delas.

Nesse sentido, entre os problemas ambientais levantados no segundo modelo, pode-se destacar na micro-bacia do Ribeirão do Gama a drenagem de áreas úmidas para uso agropecuário, e na micro-bacia do Riacho Fundo, a destruição direta por ocupação humana das APPs. O desmatamento de áreas de preservação permanente, a erosão do solo e o alagamento de áreas parecem ser problemas comuns a qualquer uma das duas bacias.

5.5 Estratégias para conservação

A terceira e última pergunta de pesquisa apresentada para esse trabalho questiona quais as medidas de conservação que, com o auxílio de modelos qualitativos, poderiam ser propostas com vistas à conservação dos biótopos e à proteção das populações de Pirá-Brasília?

Dentre as simulações apresentadas no capítulo 6, aquelas que dizem respeito ao segundo modelo, sobre os problemas ambientais, apresentam o entendimento de que as

principais ameaças relativas à degradação e a destruição de biótopos de Pirá-Brasília estão associadas a ações deletérias sobre as Áreas de Preservação Permanente.

A Constituição Federal Brasileira em seu Art. 225 garante a todos os brasileiros o *direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações*. Nesse contexto, esse mesmo artigo incumbe ao poder público, entre outras coisas, *preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais, prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas, definir espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos e proteger a fauna e a flora*. A Constituição também diz, em seu Art. 186, que a função social da propriedade rural é constituída por um elemento ambiental, relativo à utilização adequada dos recursos naturais e preservação do meio ambiente.

Nesse contexto, o Código Florestal, expresso pela Lei nº 4.771, é um dos diplomas legais que atendem à Constituição Federal Brasileira. Dentre os temas diversos de que trata o Código, destaca-se o das Áreas de Preservação Permanente (APP).

De acordo com o Código Florestal, são Áreas de Preservação Permanente (APP), *as áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas*. O artigo 2º da referida lei considera de preservação permanente, entre outras, as florestas e demais formas de vegetação natural, situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, variando sua largura de acordo com o porte do curso d'água, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas; nas nascentes, ainda que intermitentes; e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica. Também de preservação permanentes são as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção.

Em áreas urbanas, embora o Código Florestal afirme que deverão ser observados os respectivos planos diretores, também dispõe que deverão ser respeitados os princípios e limites estabelecidos no Código. Por fim, o Código prevê que a supressão total ou parcial de florestas de preservação permanente só será admitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

A Resolução nº303 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, de 20 de março de 2002, regulamenta a questão e dispõe sobre parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanente. Essa resolução define como o nível mais alto de um rio, a ser considerado para cálculo da APP, aquele alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente. Além disso, dá uma definição para Veredas, *espaço brejoso ou encharcado, que contém nascentes ou cabeceiras de cursos d'água, onde há ocorrência de solos hidromórficos, caracterizado predominantemente por renques de buritis do brejo (*Mauritia flexuosa*) e outras formas de vegetação típica.*

Partindo do entendimento dado pelos diplomas legais citados acima, podemos afirmar sem maiores dúvidas que TODOS os habitats naturais conhecidos, tanto para o Pirá-Brasília como para qualquer outra espécie de peixe-anual, estão completamente inseridos em áreas de preservação permanente.

Essa introdução à legislação vigente aponta para o fato de que o arcabouço legal para preservação da espécie está pronto. Nada precisa ser criado nesse sentido para que se possa dar início a um plano de recuperação e preservação para o Pirá-Brasília ou qualquer outra espécie de peixe anual.

Nas simulações realizadas com o modelo sobre os problemas ambientais, as quantidades *Manejo e conservação* e *Investimentos em educação e tecnologias alternativas*, associadas ao agente *Comunidades humanas*, constituem as duas linhas de ação apresentadas no sentido de frear esses problemas.

A quantidade *Investimentos em educação e tecnologias* é colocada em contraposição à demanda por novos represamentos dos cursos d'água na bacia. Em termos de estratégia de conservação isso significaria ações no sentido de desenvolver e implantar novas práticas e tecnologias capazes de suprir as demandas de água para irrigação ou abastecimento humano, sem a necessidade de realizar novos represamentos. O fantasma de possíveis represamentos para geração de energia também poderia entrar nesse contexto, mas não parece ser uma ameaça atual no âmbito da área de estudo.

Ainda no contexto alagamento definitivo de biótopos, também existe a demanda de construção de represas pequenas e médias por particulares, com finalidade puramente recreativa. Por isso há necessidade de se investir, também, em ações de educação ambiental e conscientização junto aos moradores, principalmente nas áreas rurais, sobre a importância das áreas temporariamente alagadas e os problemas potenciais para o meio ambiente gerados pela construção de sucessivas barragens, ainda que de pequeno porte ao longo dos cursos d'água.

Em relação a outros problemas ambientais abordados no modelo, trabalha-se com a contraposição da supressão de APPs pela quantidade *Manejo e conservação*, que pode englobar ações de fiscalização e monitoramento, criação de unidades de conservação ou mesmo programas de conscientização e educação ambiental. Nesse sentido, conforme mencionado ao fim da seção 7.5, as duas micro-bacias onde ocorre o Pirá-Brasília estão sob pressões diversas, e necessitam de estratégias diversificadas.

Para a micro-bacia do Ribeirão do Gama, onde a área protegida é maior, e também é maior o grau de implantação das Unidades de Conservação, a situação parece mais favorável. Os dois exemplares juvenis coletados por Podestá (2008, comm. pessoal), na Fazenda Água Limpa, foram os primeiros exemplares encontrados fora dos limites da Reserva Ecológica do IBGE nessa micro-bacia. No entanto ainda se desconhece a existência de populações consolidadas fora dessa Unidade de Conservação.

A micro-bacia do Ribeirão do Gama se encontra dentro da Área de Proteção Ambiental Gama – Cabeça de Veado. De acordo com o artigo 15 da Lei Federal nº9.985 de 18 de julho de 2000, uma Área de Proteção Ambiental – APA – é uma Unidade de Conservação de uso sustentável de *área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais*.

No interior de uma APA, além das leis já existentes no que tange às Áreas de Preservação Permanentes, também podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada inserida na unidade.

Nessa região, a quantidade *Manejo e conservação*, presente nos modelos, poderia se traduzir em ações de conscientização junto à população em contato, e a realização de monitoramento periódico das condições ambientais da área. Novas unidades poderiam ser planejadas, ainda que particulares e de pequeno porte, complementando o mosaico inserido dentro da APA Gama – Cabeça de Veado.

Na micro-bacia do Riacho Fundo, onde apenas uma população é conhecida, a situação é um pouco mais complicada. Diferentemente da situação anterior, a primeira providência a ser adotada seria a adequada implantação da Unidade de Conservação onde se encontra a espécie, para garantir a manutenção dessa população já conhecida.

Ainda no contexto do *Manejo e conservação*, a efetiva fiscalização por parte dos órgãos ambientais é necessária. A existência de biótopos de peixes anuais poderia ser um critério de direcionamento para vistorias.

Embora não esteja previsto em nenhum dos modelos, seria importante, também, realizar uma busca sistematizada por novas populações de Pirá-Brasília, principalmente fora dos limites das Unidades de Conservação de proteção integral.

No capítulo 3, foram apresentadas várias razões para se estudar e conservar ambientes aquáticos temporários. Além destas, vigora, no âmbito internacional, a Convenção de Ramsar Sobre Áreas Úmidas, da qual o Brasil é signatário. Esse é um tratado intergovernamental que, segundo o site oficial da convenção (www.ramsar.org), visa a manutenção, pelos seus países membros, das características ecológicas de suas áreas úmidas de importância internacional, e a busca pelo uso consciente ou sustentável de todas as outras áreas úmidas em seu território.

O Brasil ratificou a Convenção de Ramsar em 16 de junho de 1992, mas apenas promulgou a mesma em 16 de maio de 1996, por meio do Decreto Presidencial nº 1.905. O texto da Convenção dá muita ênfase à questão das aves aquáticas, mas, como não trata exclusivamente desse tema, as ferramentas dessa Convenção poderiam ser usadas para o desenvolvimento de uma estratégia para a conservação de ambientes aquáticos temporários.

A Convenção de Ramsar define como zonas úmidas as áreas de pântano, charco, turfa ou água, naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (Brasil, 1996).

No Vol.14 dos guias para uso consciente de áreas úmidas (Secretariat, 2007), são apresentadas diretrizes e critérios para a listagem de sítios Ramsar pelas partes contratantes. Entre as diretrizes para uma abordagem sistemática na identificação de áreas prioritárias dentro da Convenção, destaca-se a recomendação de que sítios pequenos não sejam menosprezados, e que a existência de espécies-bandeira ou espécies-chave deve ser valorizada.

A Convenção apresenta ainda nove critérios principais para designação de zonas úmidas de importância internacional, entre os quais constam:

- conter em sua área um tipo único de área úmida;
- abrigar espécies ou comunidades vulneráveis, ameaçadas ou criticamente ameaçadas de extinção;

- abrigar espécies animais ou vegetais em um estágio crítico de seus ciclos de vida, ou servir de refúgio em situações adversas;

O termo “espécies-bandeira” engloba espécies que representam uma causa ambiental, como a proteção de um ecossistema ameaçado. Para Roeck (2008), espécies-bandeira devem ser vulneráveis e atraentes, de forma a buscar apoio do público para sua conservação. A conservação do ecossistema como um todo pode ser estimulada dando-se publicidade à espécie-bandeira.

O Pirá-Brasília, assim como outras espécies de peixes anuais brasileiros, apresenta um belo padrão de colorido, o que gera grande interesse em colecionadores especializados, como descrito no item 2.8 do Capítulo 2, e no público em geral, e é uma espécie indiscutivelmente ameaçada de extinção. Nesse sentido, cumpre com todos os objetivos para ser utilizada como espécie-bandeira na conservação desses habitats.

O Pirá-Brasília é uma espécie bastante carismática e extremamente ameaçada. O que é necessário é que seus biótopos, e o de outros peixes anuais, sejam incorporados às áreas prioritárias de conservação no Brasil. Ou, pelo menos, em áreas foco para ações de fiscalização e monitoramento pelas autoridades ambientais.

A preservação desses biótopos, utilizando-se os peixes-anuais como espécies-bandeira, corrobora para a manutenção desses ambientes ímpares e para a preservação de inúmeras espécies simpátricas igualmente ameaçadas, como é o caso de muitos anfíbios. Segundo Haddad (2008), grande quantidade de espécies de anfíbios brasileiros pode já se encontrar em declínio, à beira da extinção ou extinta. Porém, pela insuficiência de dados, esse panorama escapa à nossa percepção.

Para ilustrar outros benefícios da utilização do Pirá-Brasília como espécie-bandeira, pode-se também recorrer a Cardoso e Netto (2001), que elaboraram uma carta de fragilidade ambiental e áreas restritivas à ocupação, com o objetivo de estabelecer uma carta-síntese, superpondo as várias condições de fragilidade ambiental e outros aspectos relacionados à restrição de uso e ocupação do solo na Bacia do Lago Paranoá. Entre os aspectos mencionados, constam os solos hidromórficos, por apresentarem problemas para a estabilidade de obras e provocarem infiltrações em construções, além de impedimentos para soluções de saneamento; e áreas de alagamento sazonal, que, quando alagadas, apresentam risco à vida e ao patrimônio público e privado, além de problemas para obras e edificações.

Ainda pode-se citar o fato de que o espaço geográfico do Cerrado desempenha papel fundamental no processo de distribuição dos recursos hídricos pelo país, sendo a região de origem das grandes bacias hidrográficas brasileiras e do continente sul-americano (Lima e

Silva, 2008, pg 91). A área de ocorrência do Pirá-Brasília coincide com áreas de nascentes da bacia do Rio Paraná, bacia que possui em suas drenagens a maior densidade populacional do país, e conseqüente demanda por água de qualidade para o abastecimento.

D'anatro e Loureiro (2005) acreditam que, devido à distribuição restrita das espécies de peixes anuais, sua conservação deveria considerar as populações conhecidas individualmente, pois podem representar diferentes unidades evolucionárias.

5.6 Importância dos modelos e considerações finais

De acordo com Rykiel (1989), o desenvolvimento das teorias ecológicas pode ter sido atrapalhado pela capacidade mental limitada dos seres humanos para lidar com a enorme quantidade de elementos e regras necessários para descrever o funcionamento de qualquer sistema ecológico simples. Para esse autor, a Inteligência Artificial pode contribuir para o desenvolvimento da ecologia pela possibilidade de integrar conhecimentos quantitativos e qualitativos, permitir a avaliação rápida de pressupostos e hipóteses em contextos teóricos e por ajudar a determinar a consistência lógica e as conseqüências de longas e complexas cadeias de raciocínio. O trabalho aqui descrito comprova que o Raciocínio Qualitativo oferece todas essas possibilidades.

Com efeito, a principal contribuição dos modelos apresentados aqui é apresentar de maneira formal conhecimentos sobre o ciclo vital do Pirá-Brasília e suas interações com o ambiente. Com base em simulações nas quais os resultados são visualizados e justificadas com base nas relações causais e matemáticas expressas pelas influências diretas (I+ e I-) e proporcionalidades qualitativas (P+ e P-).

Quando o conhecimento esparsamente distribuído sobre o Pirá-Brasília e outros peixes anuais é traduzido para a linguagem de modelagem, que tem seus fundamentos na lógica, esse conhecimento é formalizado, possibilitando uma comunicação mais clara entre o modelador e os usuários. Desse modo, modelos permitem fazer previsões sobre o comportamento do sistema representado e justificar os resultados com base nesse conhecimento formalizado.

Os modelos devem ser vistos como artefatos criados para lidar com a natureza sem a necessidade de modificá-la. Deve organizar o conhecimento, gerar explicações e permitir a realização de previsões mais ricas do que aquelas que seriam expressas pelo senso comum. Com efeito, o valor do trabalho aqui apresentado está na discussão das justificativas teóricas analisadas e discutidas durante a representação dos conhecimentos codificados nos

modelos. Frente à escassez de informações quantitativas e à necessidade de se pensar em planos de conservação para a espécie, os modelos apresentados preenchem lacunas na compreensão da biologia dos peixes anuais, como apontaram os técnicos e o especialista que avaliaram este trabalho. Dentro das possibilidades da ferramenta e dos objetivos definidos para este projeto, os modelos podem servir com sucesso aos seus propósitos conservacionistas.

Finalmente, conforme proposto por Rykiel (1989), a busca por conhecimento quantitativo deve continuar para que se descubram relações ecológicas que possam ser expressas e manipuladas com a força da matemática. O desafio é integrar o conhecimento qualitativo com o quantitativo, para lidar com a complexidade dos sistemas ecológicos e ambientais.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados de um esforço de modelagem do ciclo de vida do Pirá-Brasília, peixe anual ameaçado de extinção, e de fatores ambientais que contribuem para aumentar a vulnerabilidade dessa espécie, destinado a fornecer elementos capazes de dar suporte para propostas de conservação desse peixe.

Dois modelos foram produzidos, um deles abordando as diversas e complexas etapas do ciclo de vida, e outro envolvendo os principais problemas ambientais e ameaças à sobrevivência do Pirá-Brasília (e de outros peixes anuais) em sua área natural de distribuição.

O conhecimento da biologia desses peixes e de suas interações com o ambiente contribuiu efetivamente para a compreensão dos aspectos relevantes para a sobrevivência da espécie. As simulações geradas no âmbito do primeiro modelo deixaram clara a importância de se trabalhar medidas que garantam a qualidade ambiental, tanto da água quanto do substrato do biótopo, e apontaram para a dependência da espécie quanto à existência de uma fase seca no seu ciclo de vida em ambiente natural, principalmente devido à influência negativa da presença de adultos e do baixo nível de oxigênio no substrato de ambientes alagados.

Os principais efeitos das mudanças causadas pelo homem nos biótopos ocupados por populações de Pirá-Brasília no Distrito Federal levantados no âmbito desse trabalho foram a perda da integridade das características físicas e químicas dos biótopos (tanto da água quanto do substrato) pelo carreamento de elementos externos, a diminuição na quantidade de matéria orgânica no substrato e da qualidade e quantidade de refúgios ecológicos na poça, ou a supressão direta e total do biótopo.

De acordo com os resultados obtidos com os modelos qualitativos, devem ser executadas medidas de manejo e conservação, e realizados investimentos em tecnologias alternativas e educação ambiental para a conservação da espécie. Nesse contexto, e tendo em vista os principais problemas ambientais apresentados nas simulações, podemos apontar, de maneira mais específica, as seguintes medidas:

- Realizar ações de conscientização junto à população em contato direto com biótopos, assim como monitoramento periódico das condições ambientais das áreas de ocorrência identificada para a espécie;
- Estimular o desenvolvimento e a implantação de novas práticas e tecnologias capazes de suprir as demandas de água para irrigação ou abastecimento humano, reduzindo a

necessidade de novos represamentos nas áreas ocupadas por peixes anuais e outras espécies ameaçadas;

- Investir em ações de educação ambiental e conscientização junto aos moradores, principalmente nas áreas rurais, sobre a importância das áreas temporariamente alagadas e os problemas potenciais para o meio ambiente gerados pela construção de sucessivas barragens, ainda que de pequeno porte ao longo dos cursos d'água.

Além destas, outras medidas, que não apareceram diretamente em nenhum dos modelos, poderiam ser incorporadas a um programa de conservação:

- Buscar, de maneira sistematizada, novas populações da espécie, principalmente fora dos limites das Unidades de Conservação de proteção integral;

- Utilizar a imagem do Pirá-Brasília como espécie-bandeira, de forma a atrair atenção da mídia para o ambiente e a espécie e aumentar a conhecimento e conscientização em benefício da biodiversidade regional de organismos aquáticos;

- Melhorar a fiscalização pelos órgãos ambientais sobre a manutenção da integridade das Áreas de Preservação Permanente, com uso potencial da espécie como critério de direcionamento para vistorias e amostragens periódicas;

Os dois modelos elaborados se mostraram passíveis de generalização e uso para outras espécies de peixes-anuais, e a principal contribuição destes foi apresentar de maneira sistematizada conhecimentos sobre a espécie e as suas áreas de ocorrência. Os modelos foram validados por técnicos ambientais com experiência em conservação e um especialista no Pirá-Brasília e outros peixes anuais. Os avaliadores demonstraram ter uma visão favorável ao uso da modelagem qualitativa, do software Garp3 e dos modelos produzidos neste projeto. O uso dessa abordagem foi considerado adequado para o planejamento e a definição de medidas de conservação para o Pirá-Brasília e outras espécies, com algumas adaptações às realidades regionais.

O processo de modelagem permitiu efetivamente:

- Sistematizar as informações existentes sobre o Pirá-Brasília e outras espécies de peixes anuais da família Rivulidae, dispersas nos trabalhos sobre embriologia, comportamento e biologia básica das espécies, além daquelas sobre a ecologia básica de ambientes aquáticos temporários;

- Formalizar os conhecimentos armazenados no senso comum de estudiosos e criadores acerca da influência de fatores ambientais na fisiologia de peixes anuais e dos principais problemas ambientais enfrentados por rivulídeos;

- Explicar o comportamento das propriedades mais relevantes do sistema ao longo de um ciclo de vida, e explicar os efeitos das principais alterações antrópicas nos biótopos da espécie;
- Prever o comportamento das principais propriedades do sistema em situações futuras;
- Realizar experimentações para observar o comportamento das principais propriedades no sistema em diferentes situações, sem necessidade de intervenção direta no mesmo;

A modelagem qualitativa de ecossistemas se mostrou uma ferramenta muito promissora para uso no processo de gestão governamental e tomada de decisões, já que permite a inserção de qualquer tipo de dado qualitativo, inclusive integrando fatores socioeconômicos e culturais com ambientais. Seu uso se torna mais interessante ainda quando se leva em conta a grande quantidade de situações nas quais o tomador de decisões tem de fazê-lo sem o suporte de dados numéricos.

BIBLIOGRAFIA

- ANJOS, B. V. D. **Modelagem em raciocínio qualitativo sobre degradação de vegetação ripária na microbacia do Riacho Fundo**. Brasília. 2005. (Mestrado em ecologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.
- ANJOS, B. V. D.; SALLES, P. S. B. D. A. Modelagem em raciocínio qualitativo sobre degradação de vegetação ripária em microbacias Semi-urbanizadas do Cerrado. **Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 17, p. 90 - 112, 2006. Disponível em: < <http://www.remea.furg.br/edicoes/vol17/art35v17a6.pdf> >. Acesso em: 27 de abril de 2008.
- ANTUNES, M. P.; SEIXAS, M. J.; CÂMARA, A. S.; PINHEIRO, M. A new method for qualitative simulation of water resource systems - 2. Applications. **Water Resources Research**, v. 23, n. 11, p. 2019-2022, 1987.
- ARAÚJO, S.; SALLES, P.; SAITO, C. H. A case study on qualitative reasoning model evaluation with data about river water quality. **Ecological Informatics**, v. 3, n. 1, p. 13-25, 2008.
- ARAÚJO, S. C. S. **Modelos de simulação baseados em raciocínio qualitativo para avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas**. Brasília. 2005. (Doutorado em Ecologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.
- ARENZON, A.; CARVALHO, P. A.; CAMINO, B. M. B. Growth of the annual fish *Cynopocilus melanotaenia* (Regan, 1912) based in a temporary water body population in Rio Grande do Sul State. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 1, n. 61, p. 117-123, 2001.
- AREZO, M. J.; PEREIRO, L.; BEROIS, N. Early development in the annual fish *Cynolebias viarius*. **Journal of Fish Biology**, v. 66, p. 1357-1370, 2005.
- BASTOS, E. K. **Estudos sobre a ecologia de *Rivulus punctatus* boulenger 1895, na região do Distrito Federal, Brasil**. Brasília, DF. 1979. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.
- BOVEN, L. Seasonal dynamics in water quality and vegetation cover in temporary pools with variable hydroperiods in Kiskunsa'g (Hungary). **Wetlands**, v. 28, n. 2, p. 401-410, 2008.
- BRASIL. Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996 Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. **Diário Oficial da União**, v.134, n.95, p. 8520-8521
- _____. Instrução Normativa MMA nº05, de 28 de maio de 2004. **Diário Oficial da União**, v.142, n.102, p. 136-142
- BREDEWEG, B.; LINNEBANK, F.; BOUWER, A.; LIEM, J. Garp3 -- Workbench for qualitative modelling and simulation. **Ecological Informatics**, v. 4, n. 5-6, p. 263-281, 2009. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B7W63-4XJN7GF-1/2/8fca217a31c94160acabc9b85b2f9260> >.

BREDEWEG, B.; SALLES, P. Qualitative models of ecological systems -- Editorial introduction. **Ecological Informatics**, v. 4, n. 5-6, p. 261-262, 2009. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B7W63-4XHC6ND-2/2/408bc0c8062abb0c3c45da837a67a814> >.

BREDEWEG, B.; SALLES, P.; BOUWER, A.; LIEM, J.; NUTTLE, T.; CIOACA, E.; NAKOVA, E.; NOBLE, R.; CALDAS, A. L. R.; UZUNOV, Y.; VARADINOVA, E.; ZITEK, A. Towards a structured approach to qualitative modelling. **Ecological Informatics**, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2008.

CÂMARA, A. S.; PINHEIRO, M.; ANTUNES, M. P.; SEIXAS, M. J. A new method for qualitative simulation of water resource systems. 1. Theory. **Water Resources Research**, v. 23, p. 2015-2018, 1987.

CARDOSO, E. S.; FONSECA, F. O.; SANTOS, R. M. D. B. Uso e ocupação do Solo - Vulnerabilidade das áreas protegidas. In: FONSECA, F. O. (Ed.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Versão Online. Brasília-DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001.

CARDOSO, E. S.; NETTO, P. B. Sustentabilidade Ameaçada - Fragilidade ambiental e as áreas restritivas da bacia do Lago Paranoá. In: (Ed.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Versão Online. Brasília-DF: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001.

CARRINO-KYKER, S. R.; SWANSON, A. K. Seasonal physicochemical characteristics of thirty northern Ohio temporary pools along gradients of GIS-delineated human land-use. **Wetlands**, v. 27, n. 3, p. 749-760, 2007.

CARTER, C. A.; WOURMS, J. P. Cell behavior during early development in the south-american annual fishes of the genus *Cynolebias*. **Journal of Morphology**, v. 210, n. 3, p. 247-266, 1991. Disponível em: <<Go to ISI>://A1991GT90900004 >.

CARVALHO, A. L. D. Novo gênero e nova espécie de peixe anual de Brasília, com uma nota sobre os peixes anuais da baixada fluminense, Brasil. **Boletim Do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, v. 201, p. 1-10, 1959.

CIOACA, E. **Qualitative Reasoning Model and documentation for learning about sustainable development focusing on basic biological, physical, and chemical processes related to the environment in the Danube Delta Biosphere Reserve**. . NaturNet-Redime. 2006. (Deliverable D6.2.2)

CODEPLAN, C. D. P. D. D. F.-. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília-DF: CODEPLAN, 1984.

COSTA, W. J. E. M. Phylogeny and classification of Rivulidae revisited: origin and evolution of annualism and miniaturization in rivulid fishes (Cyprinodontiformes: Aplocheiloidei). **Journal of Comparative Biology**, v. 3, n. 1, p. 33-95, 1998.

_____. **Peixes anuais brasileiros: diversidade e conservação**. Curitiba: Editora da UFPR, 2002.

_____. Descriptive morphology and phylogenetic relationships among species of the Neotropical annual killifish genera *Nematolebias* and *Simpsonichthys* (Cyprinodontiformes: Aplocheiloidei: Rivulidae). **Neotropical Ictiology**, v. 4, n. 1, p. 1-26, 2006.

_____. Taxonomic revision of the seasonal South American killifish genus *Simpsonichthys* (Teleostei: Cyprinodontiformes: Aplocheiloidei: Rivulidae). **Zootaxa**, n. 1669, p. 1-134, 2007.

COSTA, W. J. E. M.; BRASIL, G. C. Redescription of *Simpsonichthys boitonei* (Teleostei: Cyprinodontiformes: Rivulidae), a rare seasonal killifish from the central Brazilian plateau. **Ichthyology Exploration Freshwaters**, v. 17, n. 3, p. 221-224, 2006.

D'ANATRO, A.; LOUREIRO, M. Geographic variation in *Austrolebias luteoflamulatus* Vaz-Ferreira, Sierra & Scaglia (Cyprinodontiformes, Rivulidae). **Journal of Fish Biology**, v. 67, n. 3, p. 849-865, 2005.

DANKS, H. V. **Insect Dormancy: An ecological Perspective**. Ottawa: Biological Survey of Canada Canada (Terrestrial Arthropods), 1987. Disponível em: < <http://www.biology.ualberta.ca/bsc/english/insectdormancy.htm> >. Acesso em: 30/01/2010.

EITEN, G. Delimitation of the Cerrado Concept. **Vegetatio**, v. 36, n. 3, p. 169-178, 1978. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/20145562> >.

ERREA, A.; DANULAT, E. Growth of the Annual Fish, *Cynolebias Viarius* (Cyprinodontiformes), in the Natural Habitat Compared to Laboratory Conditions **Environmental Biology of Fishes**, v. 61, n. 3, p. 261-268, 2001.

FALKENHAINER, B.; FORBUS, K. Compositional Modeling: Finding the Right Model for the Job. **Artificial Intelligence**, v. 51, n. 1-3, p. 95-143, 1991.

FORBUS, K. Qualitative Process Theory. **Artificial Intelligence**, v. 24, n. 1-3, p. 85-168, 1984.

FORBUS, K.; DE KLEER, J. **Building Problem Solvers**. Cambridge: MIT Press., 1993.

GARCÍA, D.; LOUREIRO, M.; TASSINO, B. Reproductive behavior in the annual fish *Austrolebias reicherti* Loureiro & García 2004 (Cyprinodontiformes: Rivulidae). **Neotropical Ictiology**, v. 6, n. 2, p. 243-248, 2008.

GRIMM, V. Mathematical models and understanding in ecology. **Ecological Modelling**, v. 75-76, p. 641-651, 1994. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-48YNSNG-70/2/035943bc435edb0fb100324150a587e5> >.

GUERRIN, F.; DUMAS, J. Knowledge representation and qualitative simulation of salmon reed functioning. Part I: qualitative modelling and simulation. **BioSystems**, v. 59, p. 75-85, 2001a.

_____. Knowledge representation and qualitative simulation of salmon reed functioning. Part II: qualitative model of redds. **BioSystems**, v. 59, p. 85-118, 2001b.

HAAS, R. Behavioral Biology of the Annual Killifish, *Nothobranchius guentheri*. **Copeia**, v. 1976, n. 1, p. 80-91, 1976a.

_____. Sexual Selection in *Nothobranchius guentheri* (Pisces: cyprinodontidae). **Evolution**, v. 30, n. 3, p. 614-622, 1976b.

HADDAD, C. F. B. Uma Análise da Lista Brasileira de Anfíbios Ameaçados de Extinção. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M., *et al* (Ed.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008. v.2 p.286-325.

HULSMANS, A.; VANSCHOENWINKEL, B.; PYKE, C.; RIDDOCH, B. J.; BRENDONCK, L. Quantifying the Hydroregime of a Temporary Pool Habitat: A Modelling Approach for Ephemeral Rock Pools in SE Botswana. **Ecosystems**, v. 11, n. 1, p. 89-101, 2008.

INGLIMA, K.; PERLMUTTER, A.; MARKOFSKY, J. Reversible Stage-Specific Embryonic Inhibition Mediated by the Presence of Adults in the Annual Fish *Nothobranchius guentheri*. **The Journal of Experimental Zoology**, v. 215, n. 1, p. 23-33, 1981.

JR., W. H. P.; TUSNEEM, M. E. Nitrogen Loss from Flooded Soil. **Ecology**, v. 4, n. 53, p. 735-737, 1972.

KATZ, D. **Incubação de espécies sul americanas na água**. Boletim Killifish-BR. 3: 16-20 p. 2004.

KUIPERS, B. Qualitative Simulation. **Artificial Intelligence**, v. 29, p. 289-348, 1986.

LEVELS, P. J.; DENUCÉ, J. M. Intrinsic variability in the frequency of embryonic diapauses of the annual fish *Nothobranchius korthausae*, regulated by light:dark cycle and temperature **Environmental Biology of Fishes**, v. 22, n. 3, p. 211-224, 1988.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. D. Recursos hídricos do Bioma Cerrado: importância e situação. In: SANTOS, S. M.; ALMEIDA, S. P. D., *et al* (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. 1. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1 p.89-106.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. An Equilibrium Theory of Insular Zoogeography. **Evolution**, v. 17, n. 4, p. 373-387, 1963. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/2407089> >.

MARKOFSKY, J.; MATIAS, J. R. The Effects of Temperature and Season of Collection on the Onset and Duration of Diapause in Embryos of the Annual Fish *Nothobranchius guentheri*. **J. Exp. Zool.**, v. 202, n. 1, p. 49-56, 1977.

MARKOFSKY, J.; MATIAS, J. R.; INGLIMA, K.; VOGELMAN, J. H.; ORENTREICH, N. The Variable Effects of Ambient and Artificial Light: Dark Cycles on Embryonic Diapause in a Laboratory Population of the Annual Fish *Nothobranchius Guentheri*. **J Exp Biol**, v. 83, n.

1, p. 203-215, 1979. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/cgi/content/abstract/83/1/203> >.

MATIAS, J. R. The effect of exposure to gaseous ammonia on the duration of diapause II in the embryos of the annual fish, *Nothobranchius guentheri*. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 39, n. 10, p. 1148-1150, 1983.

_____. The stage-dependent resistance of the chorion to external chemical damage and its relationship to embryonic diapause in the annual fish, *Nothobranchius guentheri*. **Experientia**, v. 40, n. 7, p. 753-754, 1984.

MESSERSCHMIDT, S. Peixe candango. **Correio Brasiliense**, 28 de junho de 2002

NETTO, P. B. Sustentabilidade Ameaçada - Áreas degradadas na sub-bacia do Riacho Fundo. In: (Ed.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Versão Online. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001.

NICO, L. G.; TAPHORN, D. C. **Limnology of Orinoco Basin annual killifish pools**. Journal of the American Killifish Association Technical Paper. 24: 3-16 p. 1984.

NICO, L. G.; THOMERSON, J. E. Ecology, food habits and spatial interactions of Orinoco Basin annual killifish. **Acta Biologica Venezuelica**, v. 12, n. 3-4, p. 106-120, 1989.

NICOLET, P.; BIGGS, J.; FOX, G.; HODSON, M. J.; REYNOLDS, C.; WHITFIELD, M.; WILLIAMS, P. The wetland plant and macroinvertebrate assemblages of temporary ponds in England and Wales. **Biological Conservation**, v. 120, n. 2, p. 261-278, 2004. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V5X-4C837DY-2/2/7fff90a9023621af72dd0871532a6cd1> >.

NOBLE, R. A. A.; BREDEWEG, B.; LINNEBANK, F.; SALLES, P.; COWX, I. G. A qualitative model of limiting factors for a salmon life cycle in the context of river rehabilitation. **Ecological Informatics**, v. 4, n. 5-6, p. 299-319, 2009. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B7W63-4XDKGS0-1/2/a76f04e226a169c0089ca8b0270130e2> >. Acesso em: 2009/12//.

NOBLE, R. A. A.; SALLES, P.; BREDEWEG, B. **QR models and documentation for the implementation of UK case studies on the River Trent and Great Ouse focusing on the links between the ecological and socio-economic aspects of sustainable river rehabilitation and management**. NaturNet-Redime. 2007. (Deliverable D6.5.2)

PODRABSKY, J. E. Husbandry of the Annual Killifish *Austrofundulus limnaeus* with Special Emphasis on the Collection and Rearing of Embryos **Environmental Biology of Fishes**, v. 54, n. 4, p. 421-431, 1999.

PODRABSKY, J. E.; CARPENTER, J. F.; HAND, S. C. Survival of water stress in annual fish embryos: dehydration avoidance and egg envelope amyloid fibers. **Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol**, v. 280, n. 1, p. 123-131, 2001.

PODRABSKY, J. E.; HAND, S. C. The bioenergetics of embryonic diapause in an annual killifish, *Austrofundulus limnaeus*. **The Journal of Experimental Biology** v. 202, n. 19, p. 2567–2580, 1999.

PODRABSKY, J. E.; HRBEK, T.; HAND, S. C. Physical and chemical characteristics of ephemeral pond habitats in the Maracaibo basin and Llanos region of Venezuela. **Hydrobiologia**, v. 362, n. 1-3, p. 11, 1998.

PODRABSKY, J. E.; LOPEZ, J. P.; FAN, T. W. M.; HIGASHI, R.; SOMERO, G. N. Extreme anoxia tolerance in embryos of the annual killifish *Austrofundulus limnaeus*: insights from a metabolomics analysis. **The Journal of Experimental Biology**, v. 210, n. 13, p. 2253-2266, 2007.

ROECK, E. D. **Status and ecology of temporary wetlands in the Western Cape, South Africa**. Leuven. 2008. (Doutorado). Departement Biologie, Katholiek Universiteit Leuven.

RYKIEL, E. J. Artificial intelligence and expert systems in ecology and natural resource management. **Ecological Modelling**, v. 46, n. 1-2, p. 3-8, 1989. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-49156R3-65/2/643bcb26a2138fbfde53f995691dea08> >.

_____. Testing ecological models: the meaning of validation. **Ecological Modelling**, v. 90, n. 3, p. 229-244, 1996. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-3VWK7V1-7/2/6a5c8fc2b57707e1f028e00432baa7b2> >.

SALLES, P. **Qualitative models in ecology and their use in learning environments**. Edinburgh. 1997. (Ph D.). University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland, UK.

_____. **QR models and documentation for learning about sustainable development, focusing on basic biological, physical, and chemical processes related to the environment in the Riacho Fundo**. NaturNet-Redime. 2007. (Deliverable D6.4.2)

_____. **Modelos qualitativos e teoria ecológica em preparação**.

SALLES, P.; BREDEWEG, B. Modelling population and community dynamics with qualitative reasoning. **Ecological Modelling**, v. 195, n. 1-2, p. 114-129, 2006.

_____. **Integrated library of Qualitative Reasoning model fragments**. 2007. (Deliverable D6.7.1)

_____. A qualitative model of Riacho Fundo (DF, Brazil) water basin sustainability. **Ecological Informatics**, v. 4, n. 5-6, p. 320-338, 2009. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B7W63-4XH56FD-2/2/053e14db483c10e5c5bd4fcf3b559621> >. Acesso em: 2009/12//.

SALLES, P.; BREDEWEG, B.; ARAÚJO, S. Qualitative models about stream ecosystem recover: exploratory studies. **Ecological Modelling**, v. 194, n. 1-3, p. 80-90, 2006a.

SALLES, P.; BREDEWEG, B.; BENSUSAN, N. The Ants' Garden: Qualitative models of complex interactions between populations. **Ecological Modelling**, v. 194, n. 1-3, p. 90-102, 2006b.

SALLES, P.; CALDAS, A. L. R. **Textual description of Riacho Fundo case study**. NaturNet-Redime, p.42. 2006. (Deliverable D6.4.1)

SARGENT, R. G. **Verification and validation of simulation models**. Proceedings of the 37th conference on Winter simulation. Orlando, Florida: Winter Simulation Conference: 130-143 p. 2005.

SCHENKEL, C. S.; BRUMMER, B. M. **Subsídios ao zoneamento da APA Gama Cabeça-de-Veadão e Reserva da Biosfera do Cerrado**. Brasília-DF: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO, 2003.

SCHNEIDER, D. W.; FROST, T. M. Habitat Duration and Community Structure in Temporary Ponds. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 15, n. 1, p. 64-86, 1996. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/1467433> >.

SECRETARIAT, R. C. **Designating Ramsar sites: The Strategic Framework and guidelines for the future development of the List of Wetlands of International Importance**. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands. Gland, Suíça: Ramsar Convention Secretariat. 14 2007.

SEMARH. **Mapa Ambiental do Distrito Federal**. Brasília-DF 2006.

SEMEIT, A. L. In Search of *Simpsonichthys boitonei*. 1973. Disponível em: < <http://www.aka.org/ark/boitonei.htm> >. Acesso em: 20 de setembro de 2009.

SERRANO, L.; SERRANO, L. Influence of Groundwater Exploitation for Urban Water Supply on Temporary Ponds from the Doñana National Park (SW Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 46, n. 3, p. 229-238, 1996. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WJ7-45MGX4C-2H/2/fd2ce841a7daae1ddac5393ed6ce9976> >.

SHIBATTA, O. A. Reprodução do Pirá-Brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae), e caracterização de seu habitat na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 1146-1152, 2005.

_____. Comportamento Social do Pirá-Brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 2, p. 375-380, junho 2006 2006.

SHIBATTA, O. A.; BENNEMANN, S. T. Plasticidade alimentar em *Rivulus pictus* Costa (Osteichthyes, Cyprinodontiformes, Rivulidae) de uma pequena lagoa em Brasília, Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 4, p. 615-618, 2003. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752003000400009&lng=en&nrm=iso >. Acesso em: 30/01/2010.

SHIBATTA, O. A.; ROCHA, A. J. A. Alimentação em machos e fêmeas do pirá-brasília, *Simpsonichthys boitonei* Carvalho (Cyprinodontiformes, Rivulidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 2, p. 381-385, 2001.

SILVA, F. A. M. D.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização Climática do Bioma Cerrado. In: SANTOS, S. M.; ALMEIDA, S. P. D., *et al* (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. 1. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1 p.69-88.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. Second Edition. Oxford University Press, 2008.

TULLOS, D. D.; NEUMANN, M. A qualitative model for analyzing the effects of anthropogenic activities in the watershed on benthic macroinvertebrate communities. **Ecological Modelling**, v. 196, n. 1-2, p. 209–220, 2006.

VERÍSSIMO, M.; ROSA, J. W. C.; GIACOMONI, M. H.; RIBEIRO, M. C. L.; COSTA, J. W. C. D.; MENEZES, P. R. Caracterização Sócio Ambiental. In: SCHENKEL, C. S. e BRUMMER, B. M. (Ed.). **Subsídios ao zoneamento da APA Gama Cabeça-de-Veados e Reserva da Biosfera do Cerrado**. Brasília-DF: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO, 2003. v.1 p.53-91.

WALFORD, R. L.; LIU, R. K. Husbandry, life span, and growth rate of the annual fish, *Cynolebias adloffii* E. Ahl. **Experimental Gerontology**, v. 1, n. 2, p. 161-168, 1965.

WALTER, B. M. T.; CARVALHO, A. M. D.; RIBEIRO, J. F. O Conceito de Savana e de seu componente Cerrado. In: SANTOS, S. M.; ALMEIDA, S. P. D., *et al* (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. 1. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1 p.19-46.

WELD, D.; DE KLEER, J. **Readings in Qualitative Reasoning about Physical Systems**. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1990.

WILLIAMS, D. D. Temporary ponds and their invertebrate communities. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 7, n. 2, p. 105-117, 1997. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0755\(199706\)7:2<105::AID-AQC222>3.0.CO;2-K](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-0755(199706)7:2<105::AID-AQC222>3.0.CO;2-K) >.

_____. **The Biology of Temporary Waters**. Scarborough: Oxford University Press, 2006.

WOURMS, J. P. Developmental Biology of Annual Fishes I - Stages in the normal development of *Austrofundulus myersi* Dahl. **J. Exp. Zool.**, n. 182, p. 143-168, 1972a.

_____. Developmental Biology of Annual Fishes II - Naturally occurring dispersion and reaggregation of blastomeres during the development of annual fish eggs. **J. Exp. Zool.**, n. 182, p. 169-200, 1972b.

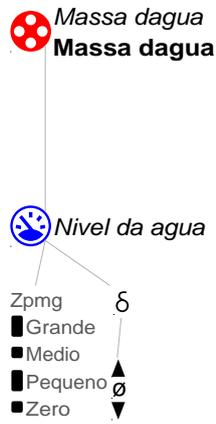
_____. Developmental Biology of Annual Fishes III - Pre-embryonic and embryonic diapause of variable duration in the egg of annual fishes. **J. Exp. Zool.**, n. 182, p. 389-414, 1972c.

ZITEK, A.; SCHMUTZ, S.; PREIS, S.; SALLES, P.; BREDEWEG, B.; MUHAR, S. Evaluating the potential of qualitative reasoning models to contribute to sustainable catchment

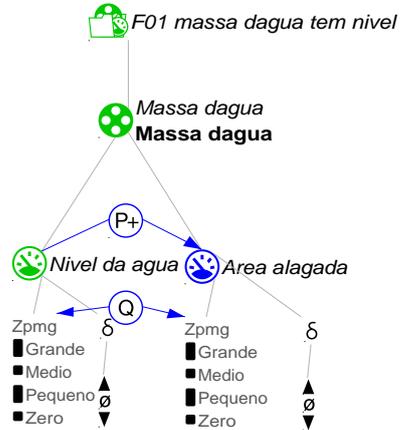
management. **Ecological Informatics**, v. 4, n. 5-6, p. 381-395, 2009. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/B7W63-4XDCTDJ-1/2/fd0a95139850e838cb1c295ceb3f37fd>>.

ANEXO I

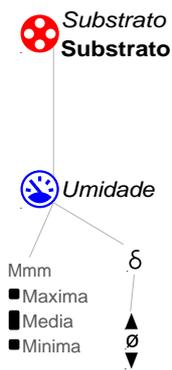
FRAGMENTOS DE MODELO UTILIZADOS NO MODELO SOBRE O CICLO DE VIDA DO PIRÁ-BRASÍLIA



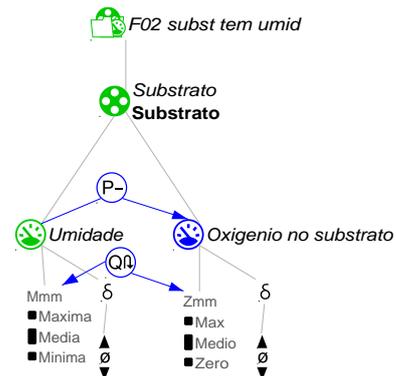
F01 Massa d'água tem nível



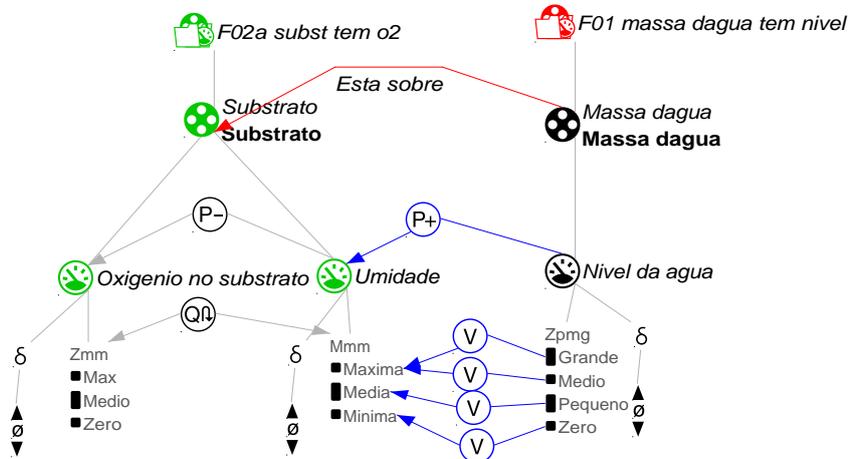
F01a biótopo tem área alagada



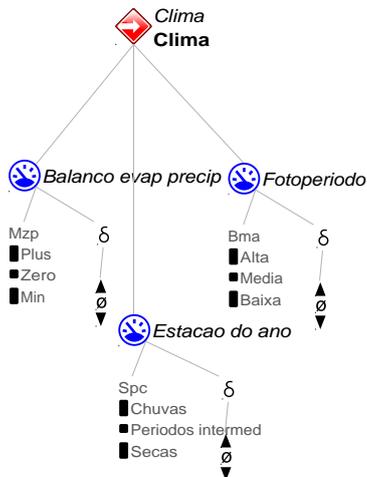
F02 Substrato tem umidade



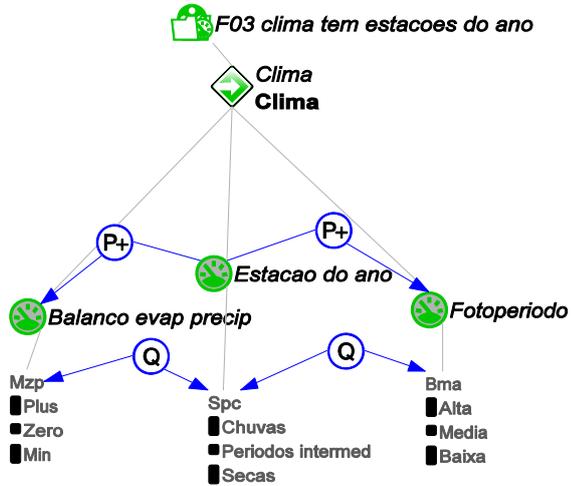
F02a Substrato tem oxigênio dissolvido



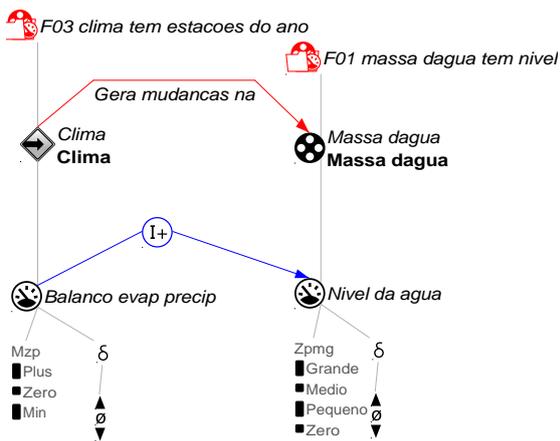
F02b Coluna d'água influencia umidade



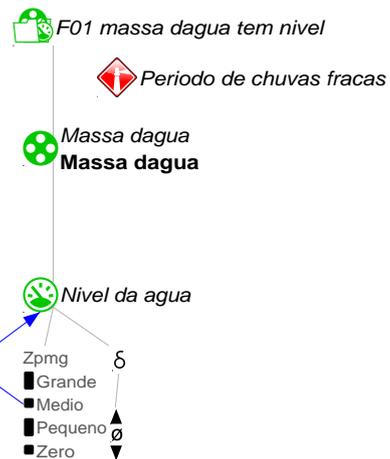
F03 Clima tem estações do ano



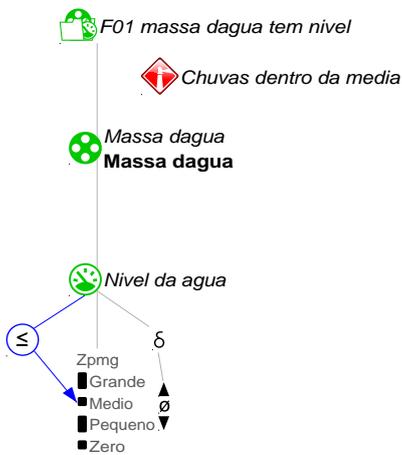
F03a Estações alteram a precipitação e o fotoperíodo



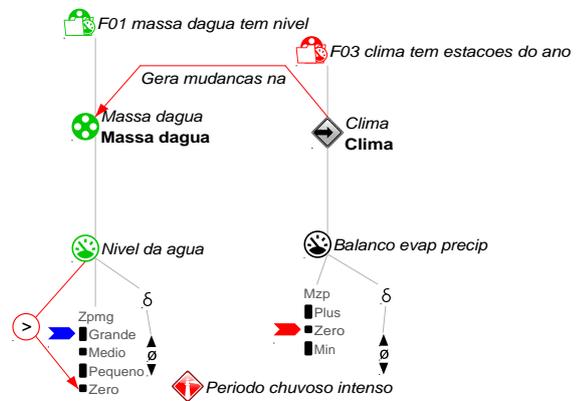
F04 Chuva cai sob massa d'água



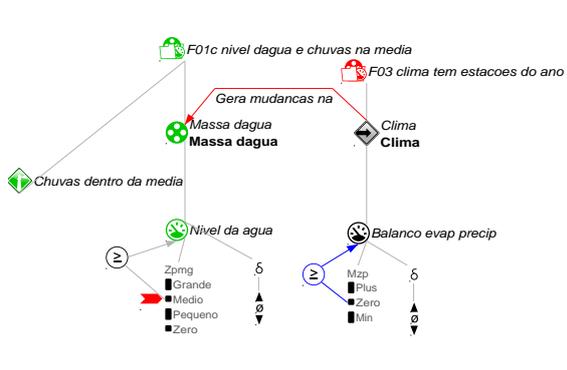
F01b Chuvas baixas



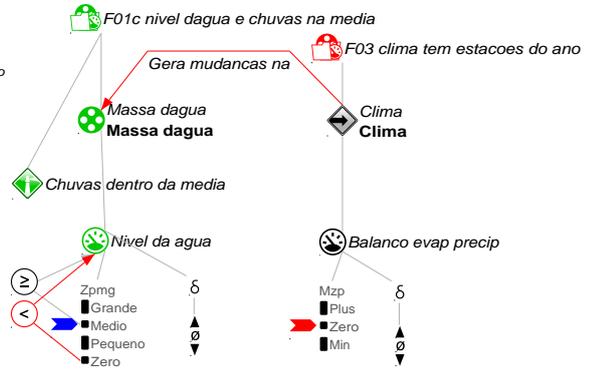
F01c Chuvas na media



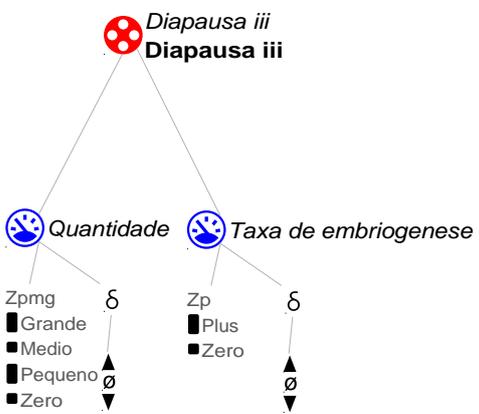
F01f Chuvas altas



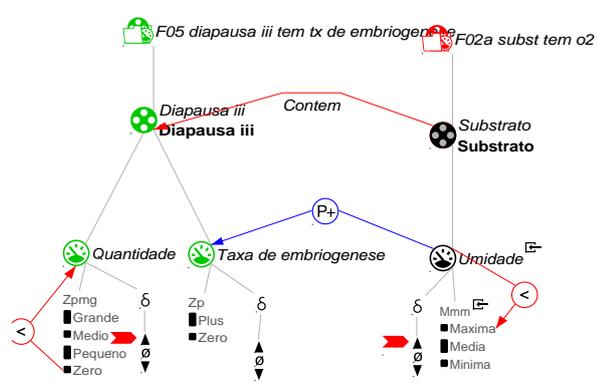
F01d Limites do nível d'água 1



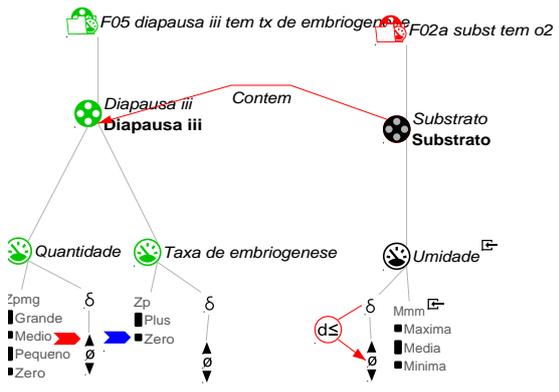
F01e Limites do nível d'água 2



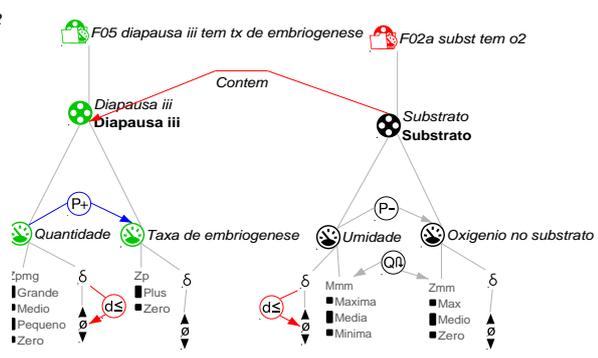
F05 Diapausa iii tem Taxa de embriogênese



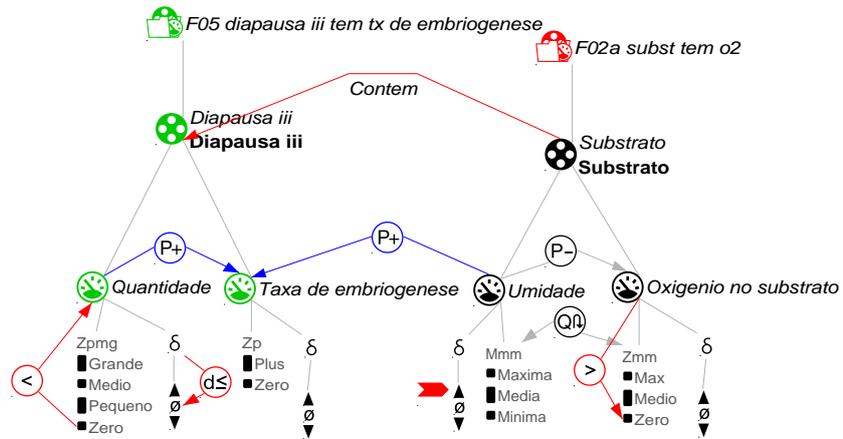
F05a Quantidade aumentando gerando embriogênese



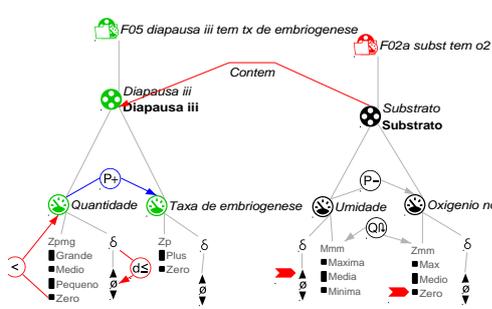
F05b Quantidade aumentando e diapausa



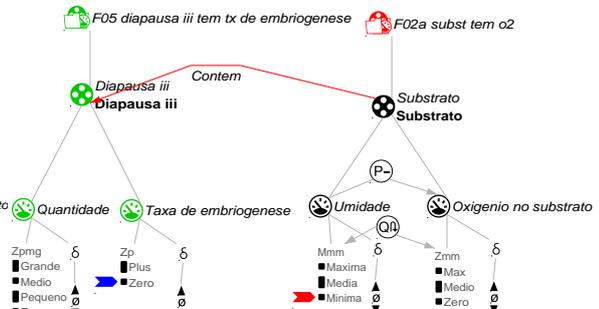
F05c Quantidade constante ou diminuindo influencia na embriogênese



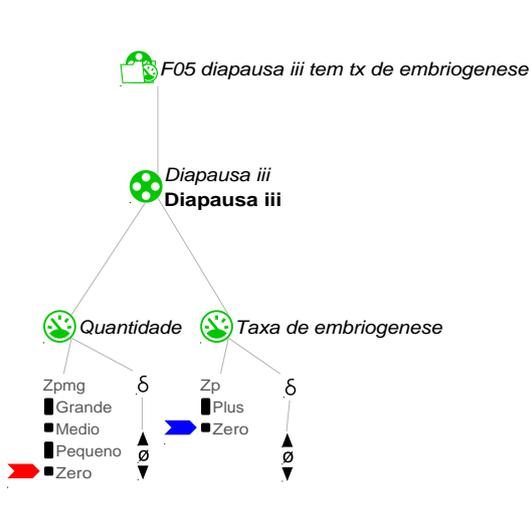
F05d Quantidade constante ou diminuindo e umidade influencia embriogênese



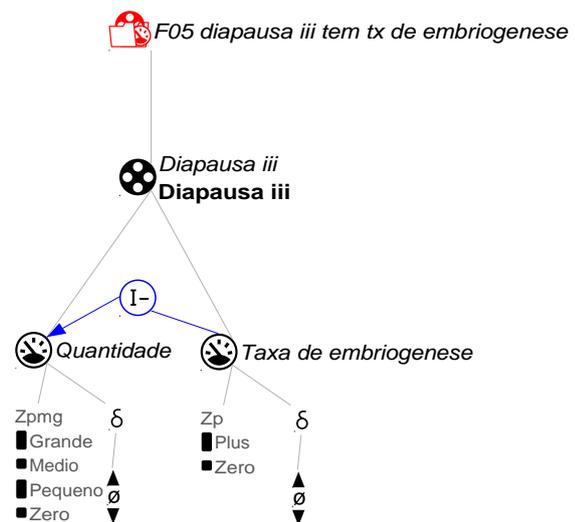
F05e Quantidade constante ou diminuindo e oxigênio zero



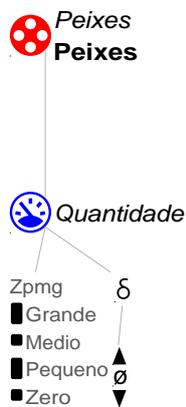
F05f Não existe embriogênese sem umidade



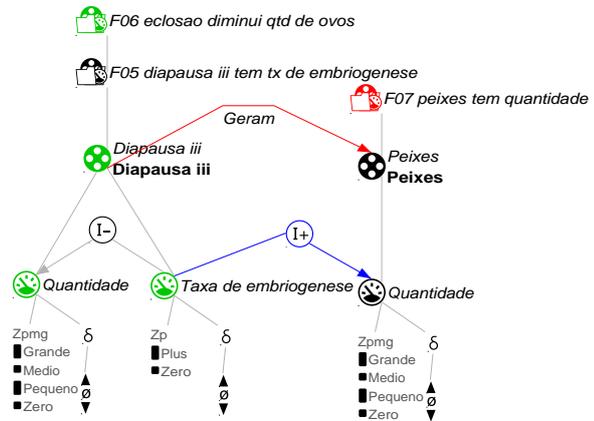
F05g Não existe embriogênese sem ovos



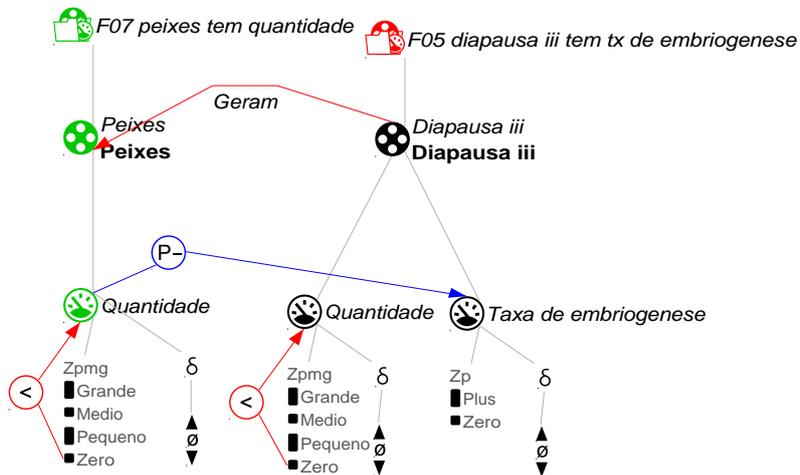
F06 Eclosão diminui quantidade de ovos



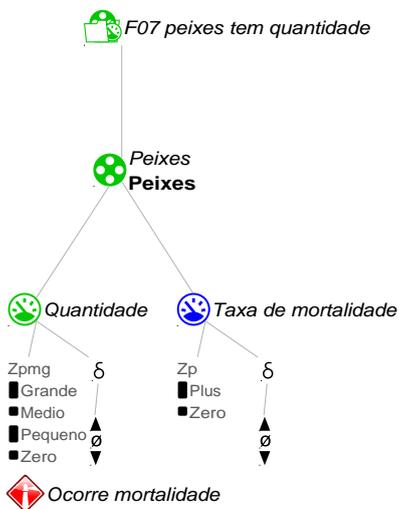
F07 Peixes tem quantidade



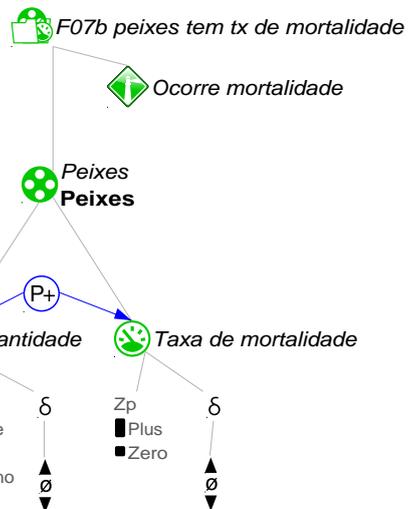
F06a Eclosão aumenta a quantidade de peixes



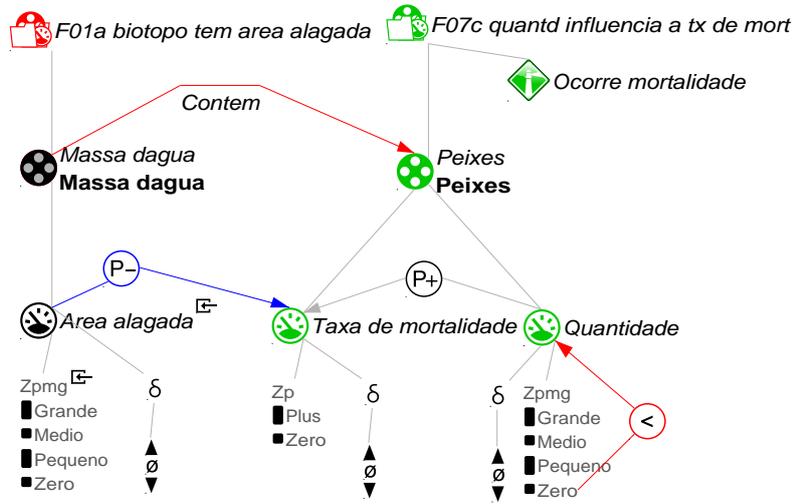
F07a Peixes inibem natalidade



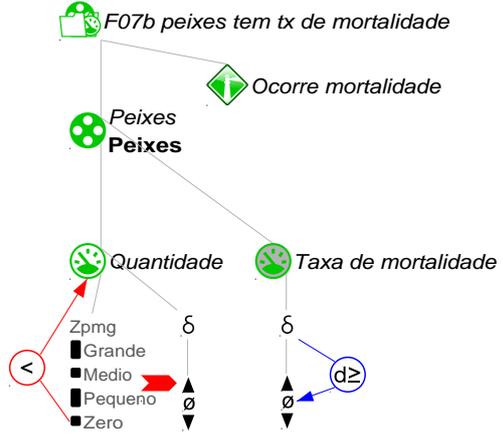
F07b Peixes tem taxa de mortalidade



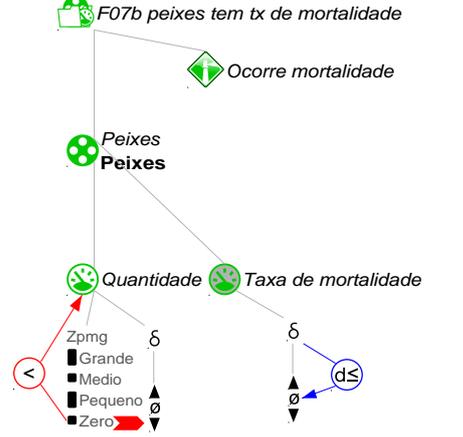
F07c Quantidade influencia a taxa de mortalidade



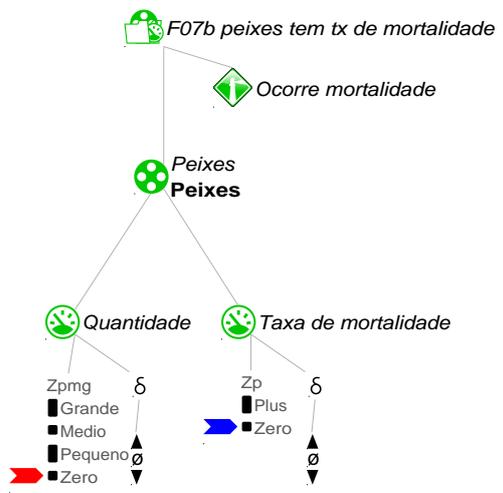
F07d Água influi mortalidade



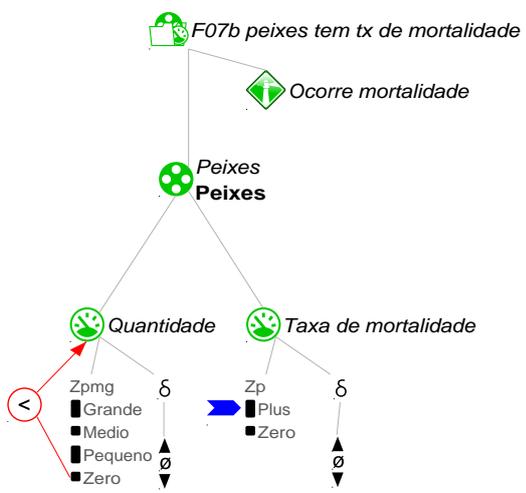
F07e Mortalidade sobe se a quantidade sobe



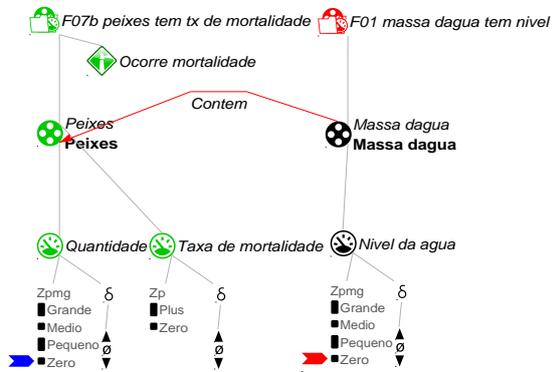
F07f Mortalidade desce se a quantidade desce



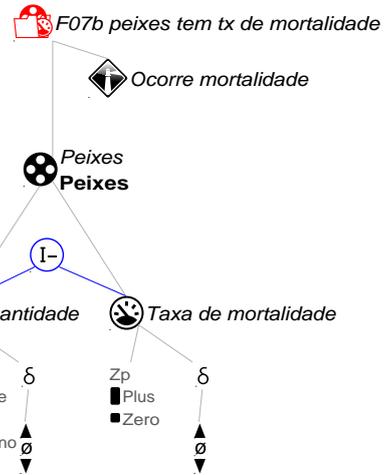
F07g Sem peixes não existe mortalidade



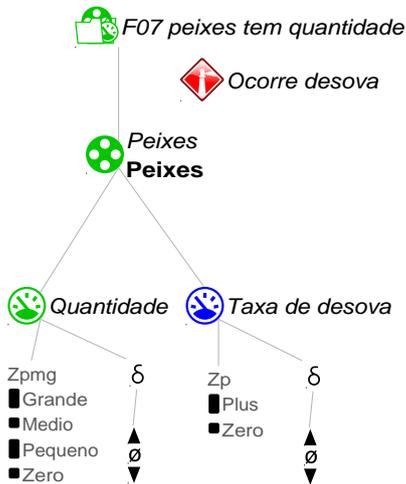
F07h Se tenho peixes tem mortalidade



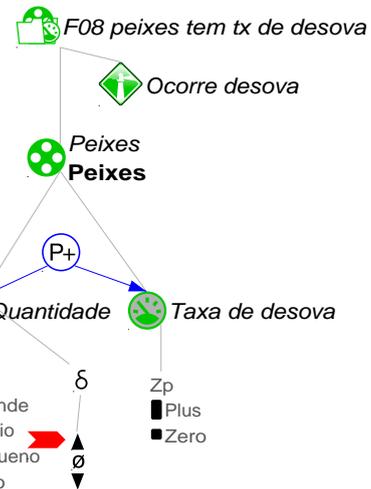
F07i Sem água não tem peixes



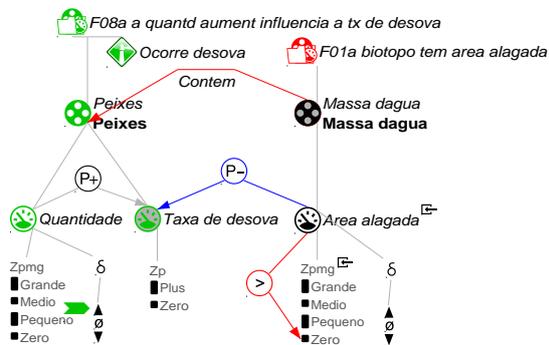
F09 Taxa de mortalidade diminui a quantidade de peixes



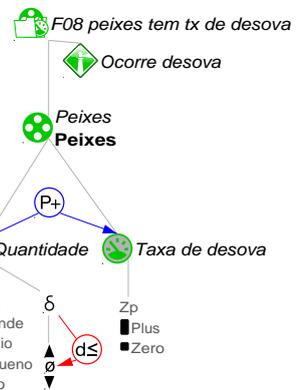
F08 Peixes tem taxa de desova



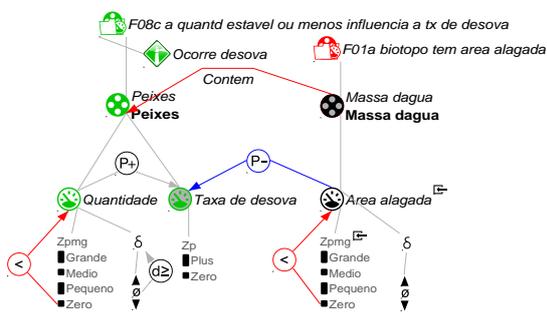
F08a Quantidade aumentando influencia a taxa de desova



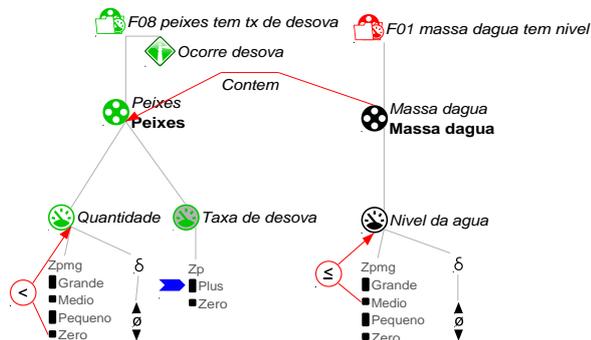
F08b Água influi na desova 1



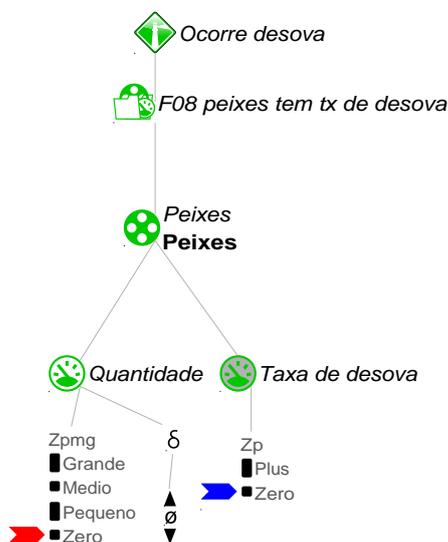
F08c a Quantidade estável ou negativa influencia a taxa de desova



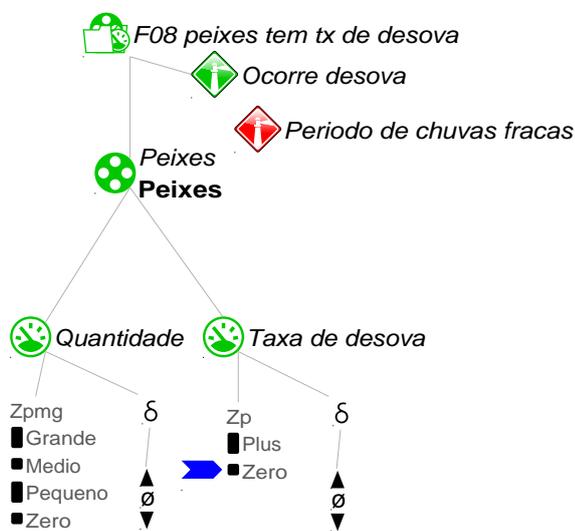
F08d Água influi na desova 2



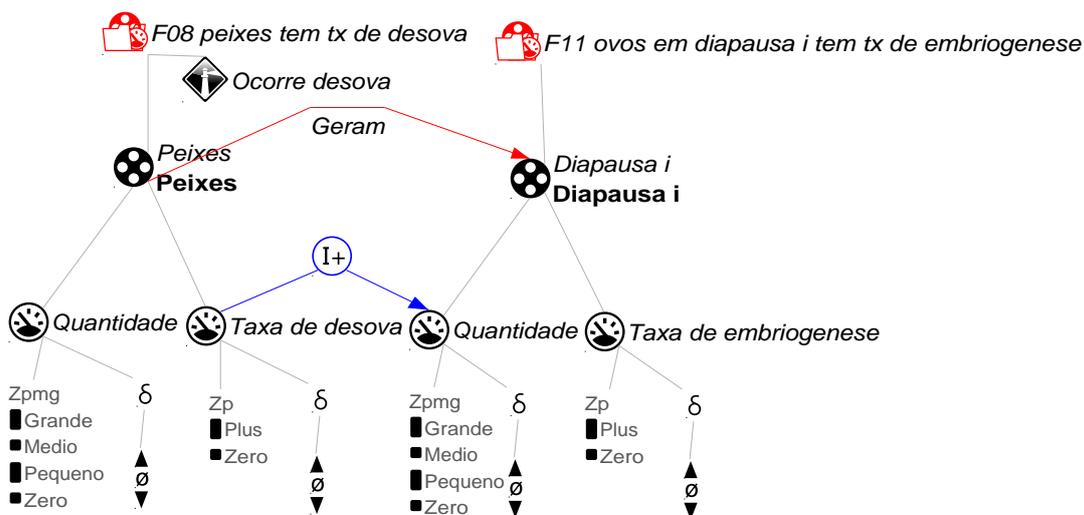
F08e Nível de água médio ou alto tem desova



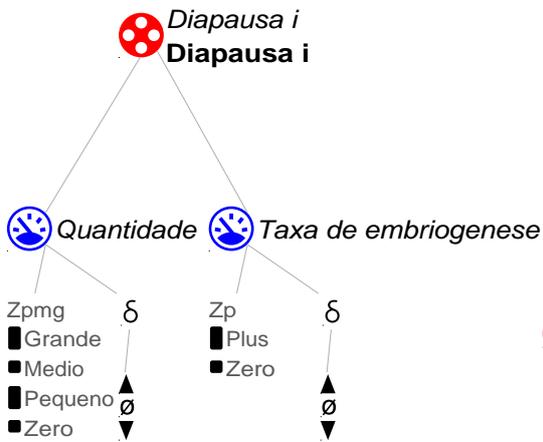
F08f Sem peixes não existe desova



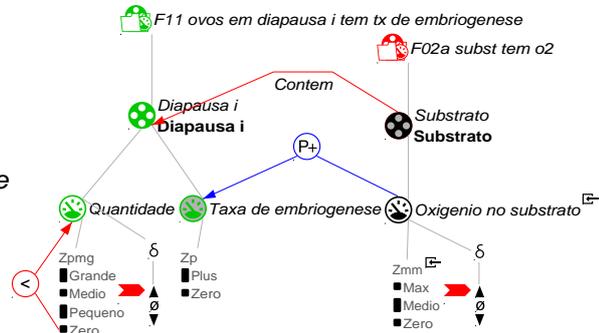
F08g Não tem desova em chuvas baixas



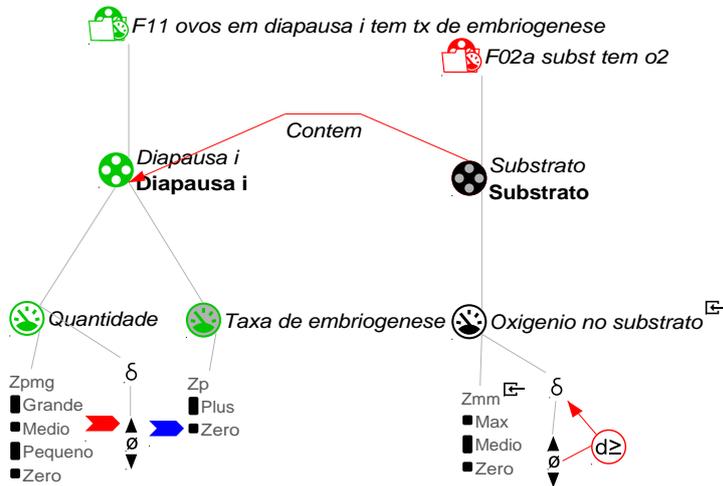
F10 Taxa de desova aumenta quantidade de embriões em diapausa I



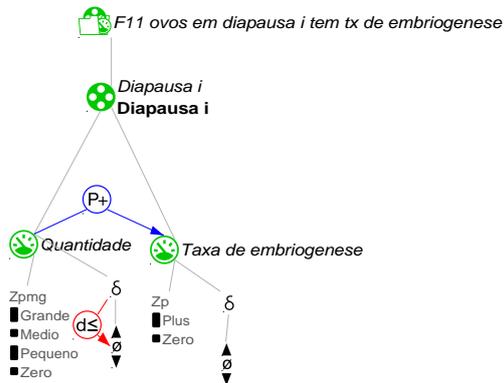
F11 Ovos em diapausa i tem taxa de embriogênese



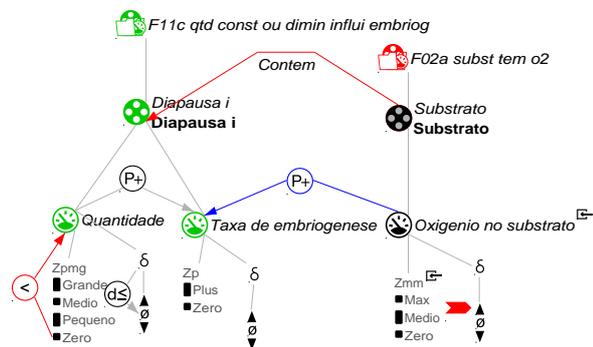
F11a Quando a quantidade aumenta e o oxigenio também



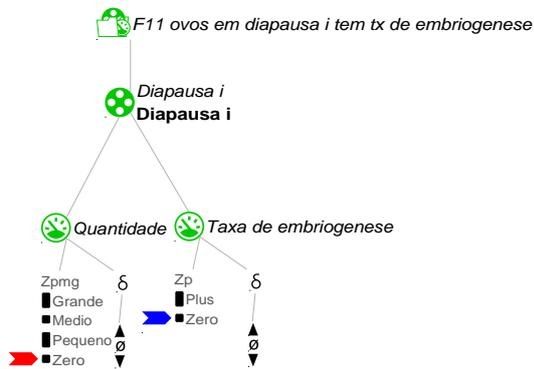
F11b qdo qtd esta aument e o o2 nao existe diapausa



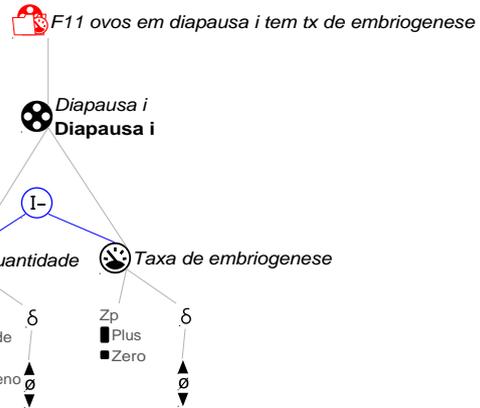
F11c Quantidade constante ou diminuindo influi na embriogênese



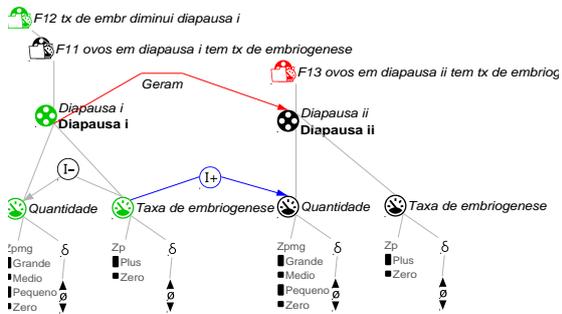
F11d Oxigênio no substrato influi se estiver subindo



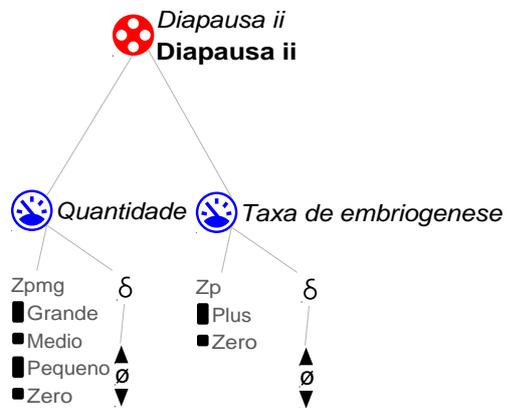
F11e Sem ovos sem embriogênese



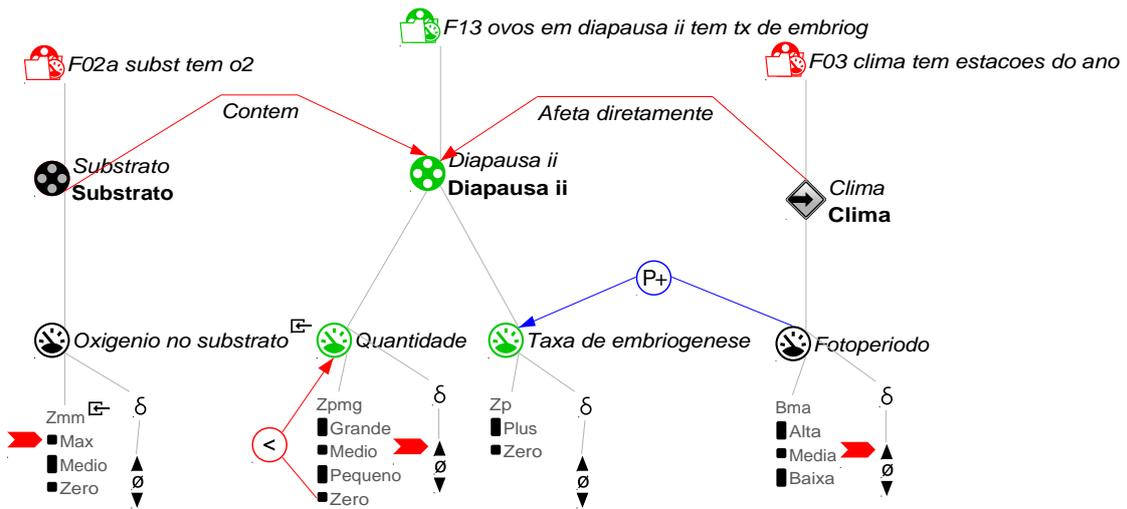
F12 Taxa de embriogênese diminui diapausa i



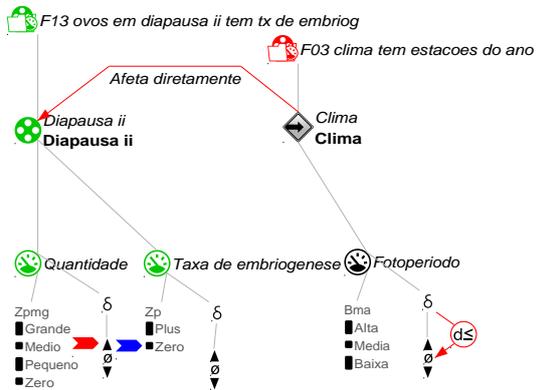
F12a Embriogênese aumenta diapausa ii



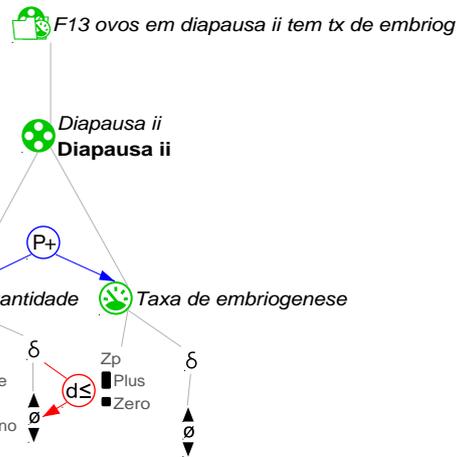
F13 Ovos em diapausa ii tem taxa de embriogênese



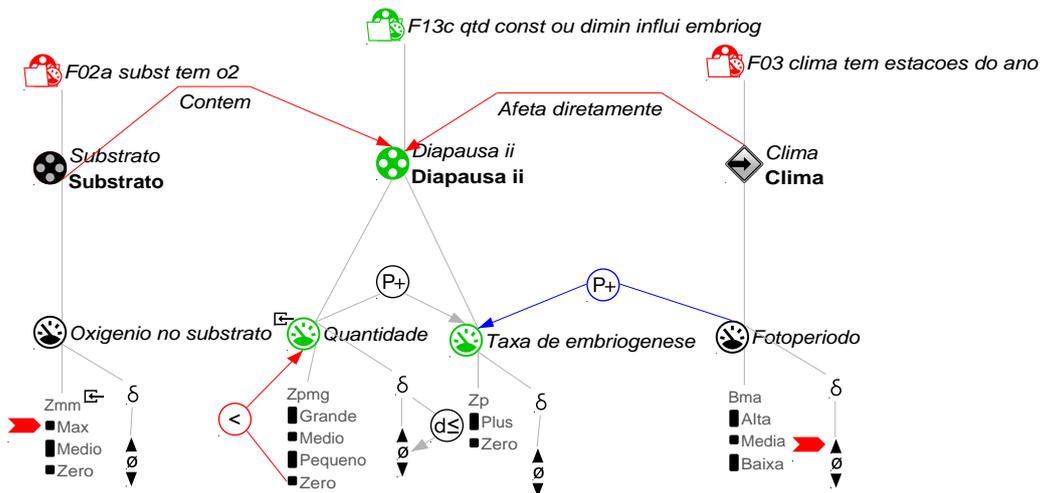
F13a Quantidade aumenta e fotoperíodo também



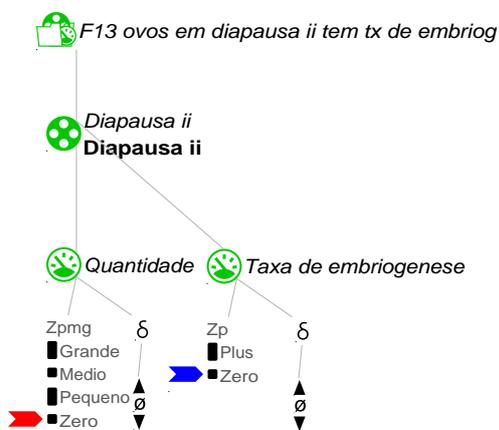
F13b Quantidade aumenta e fotoperíodo não



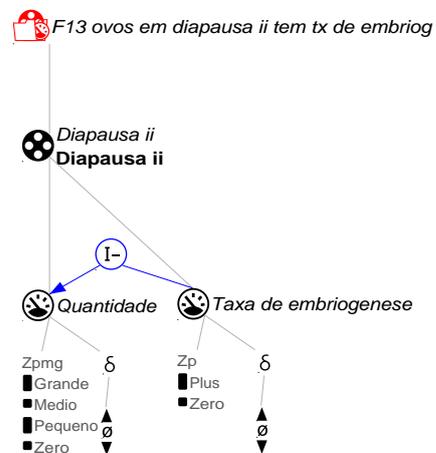
F13c Quantidade constante ou diminuindo influi embriogênese



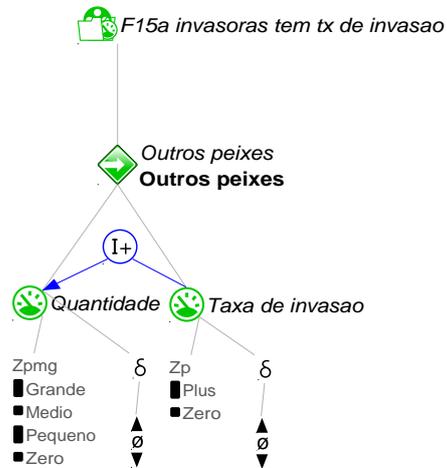
F13d Fotoperíodo influi se esta subindo



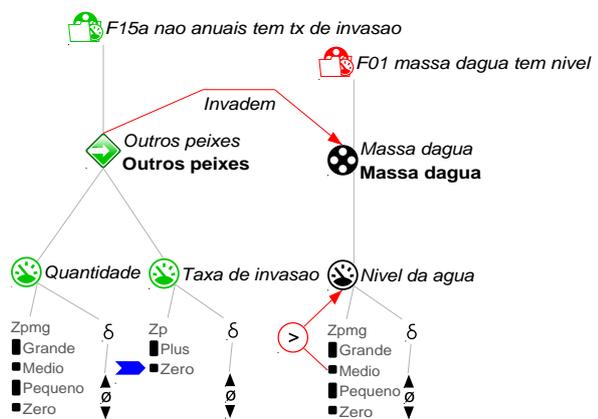
F13e Sem ovos sem embriogênese



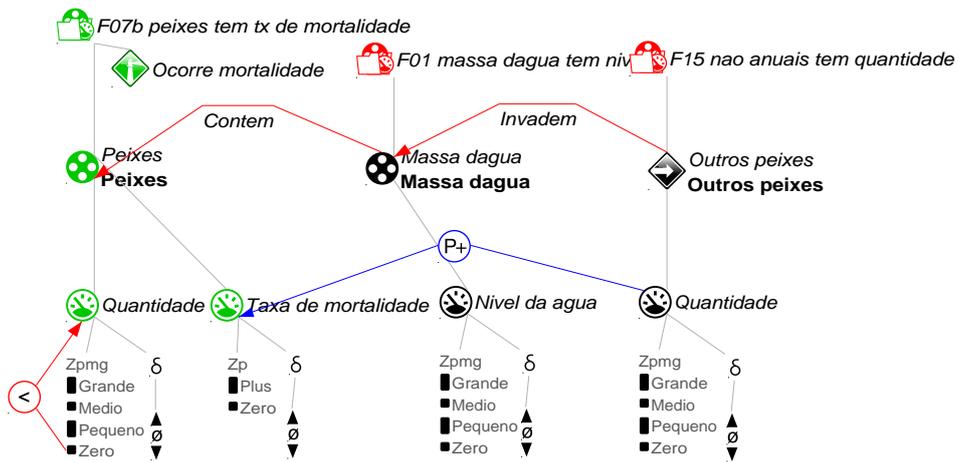
F14 Embriogênese diminui diapausa ii



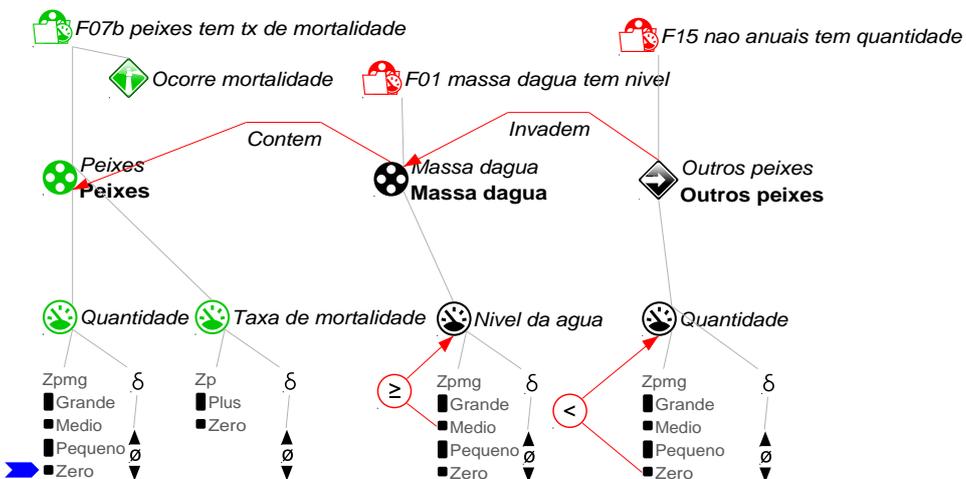
F15c Taxa de invasão aumenta quantidade



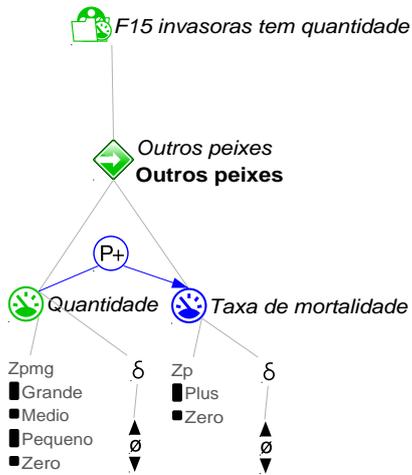
F15d Sem água sem invasão



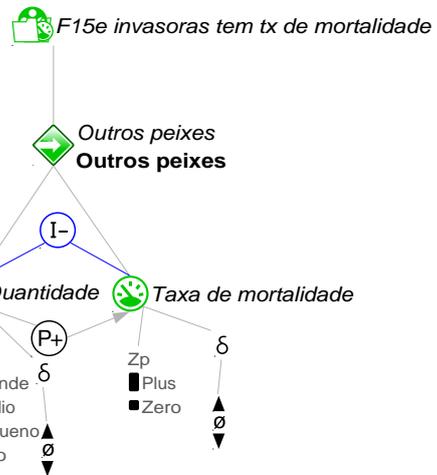
F07j Outros peixes influem na mortalidade de anuais



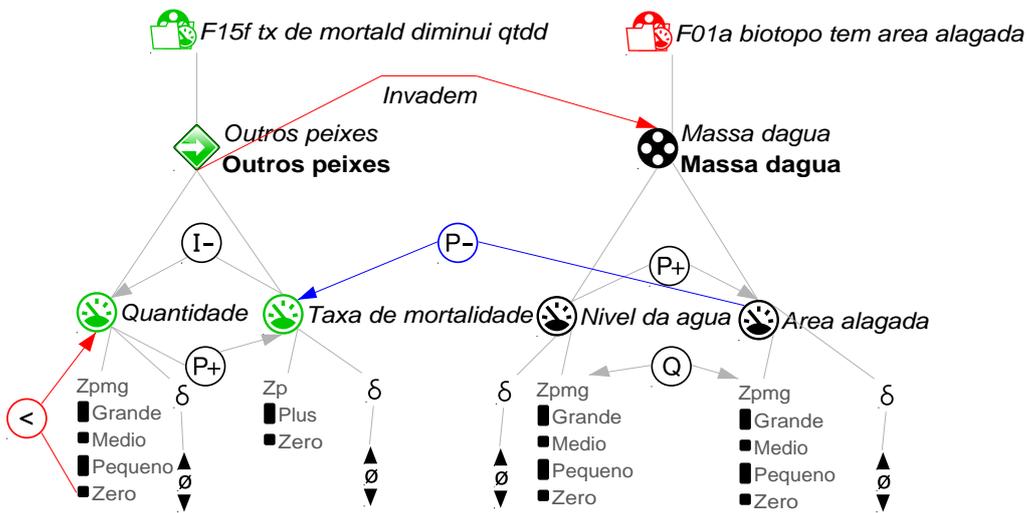
F07k Com outros peixes os anuais se extinguem logo



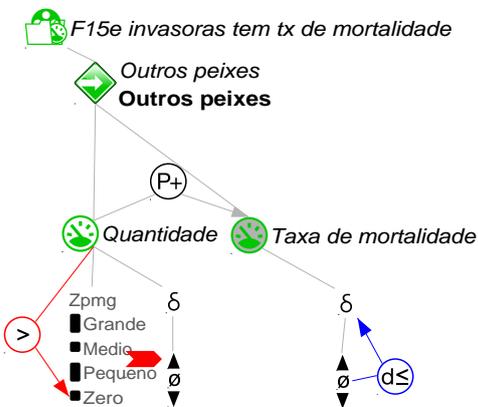
F15e Outros peixes tem taxa de mortalidade



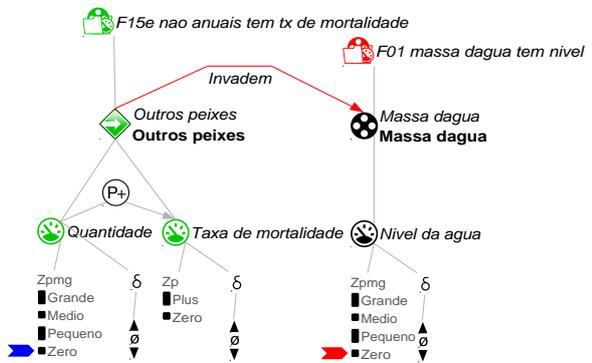
F15f Taxa de mortalidade diminui quantidade



F15g Água afeta mortalidade

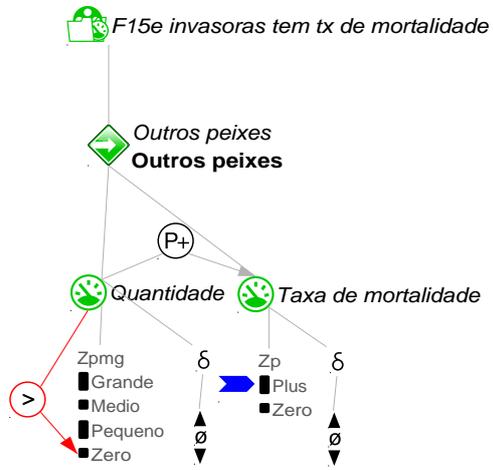


F15h Mortalidade segue tendência da quantidade

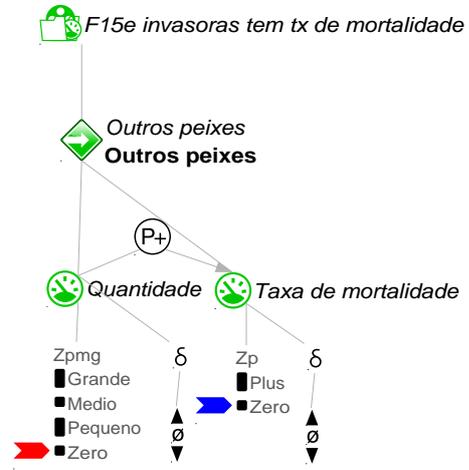


F15i Sem água sem peixes

subindo



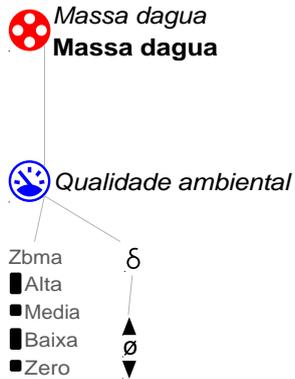
F15j Se tem peixes tem morte



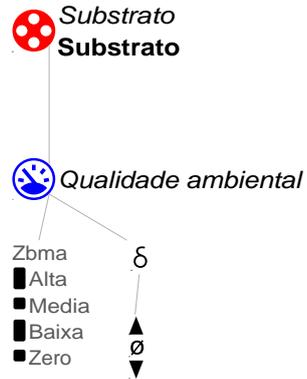
F15k Sem peixes sem mortalidade

ANEXO II

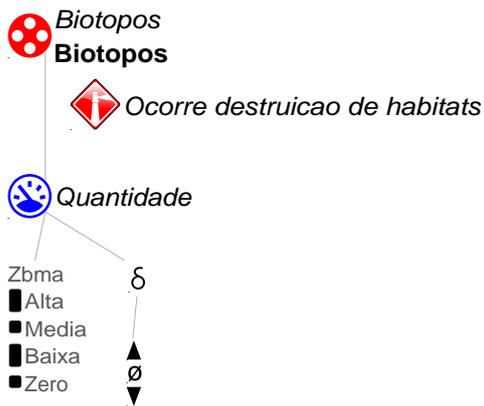
Fragmentos de modelo utilizados no Modelo sobre os problemas ambientais envolvendo biótopos de Pirá-Brasília



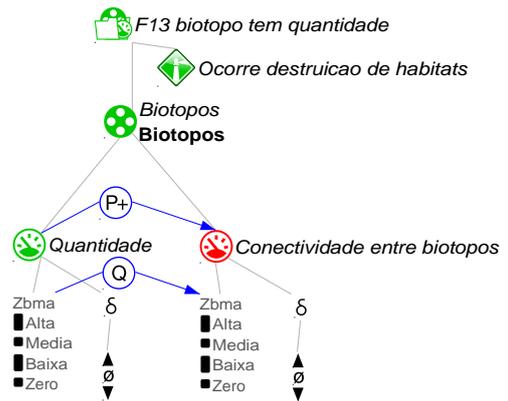
F05 massa d'água tem qualidade



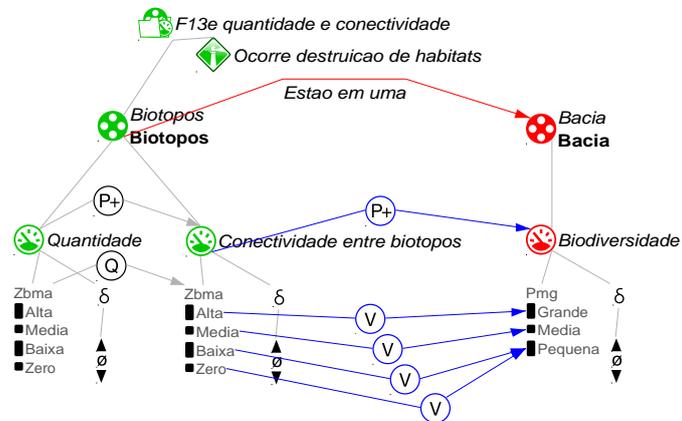
F06 substrato tem qualidade



F13 Biótopo tem quantidade



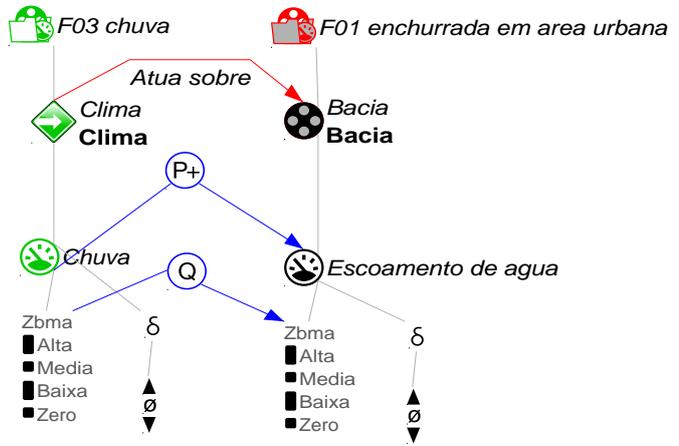
F13e Quantidade e conectividade



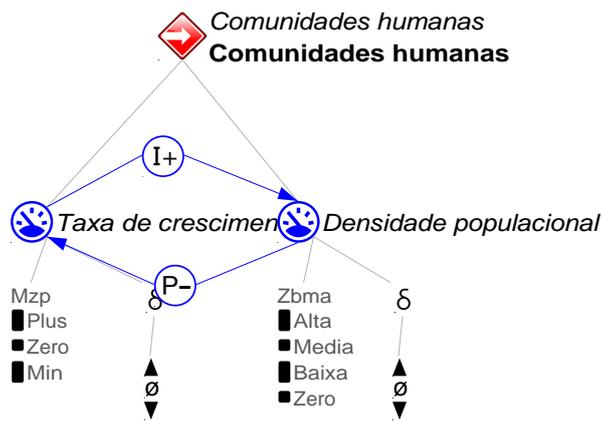
F13f conectividade e biodiversidade



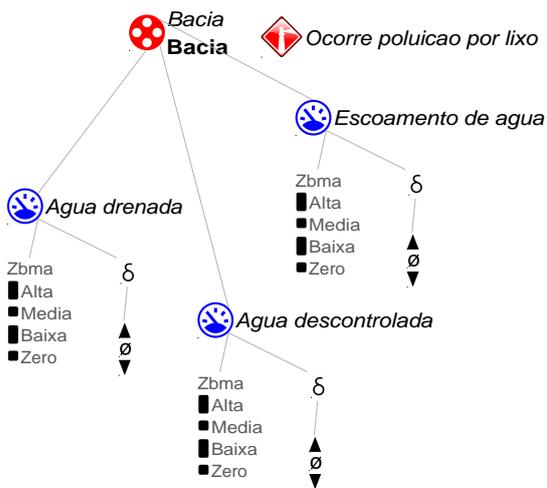
F03 Clima



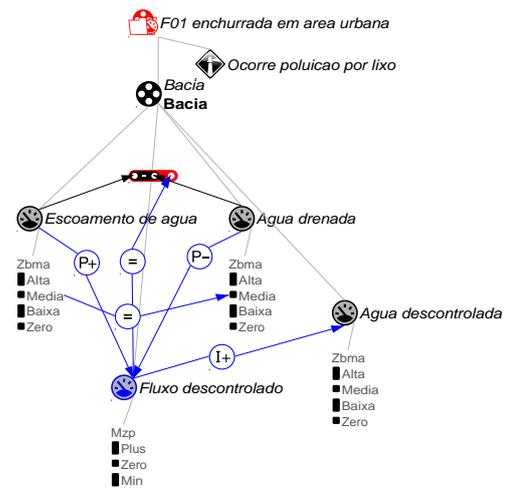
F03a Chuva sobre a bacia



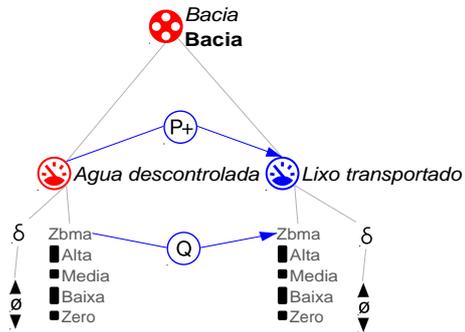
F10 densidade de ocupação



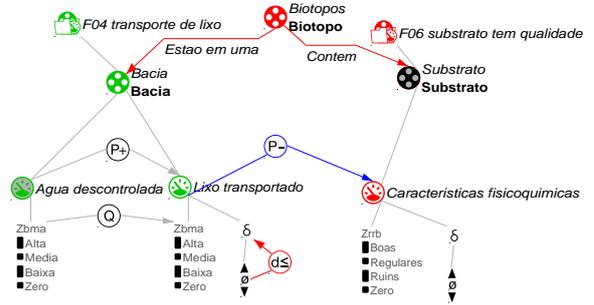
F01 Enchurrada em área urbana



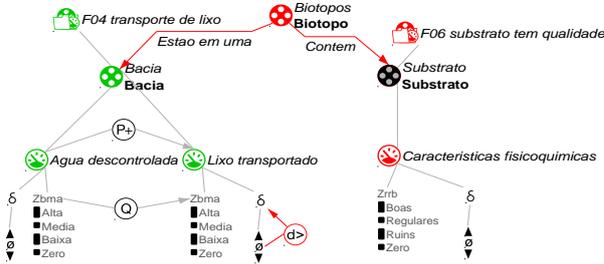
F02 Processo de escoamento da água



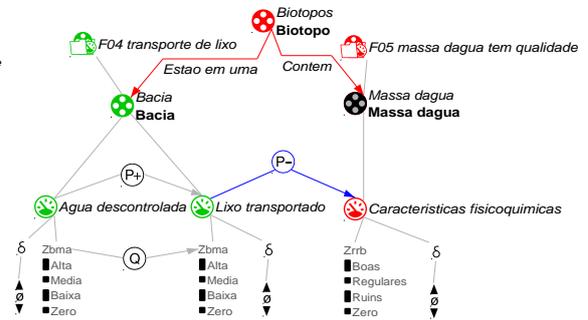
F04 transporte de lixo



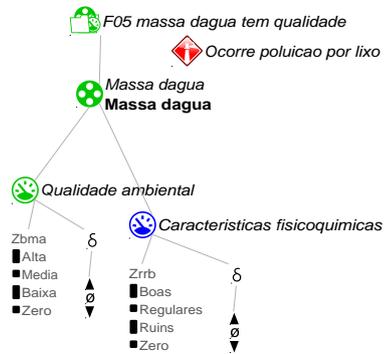
F04a lixo degrada substrato



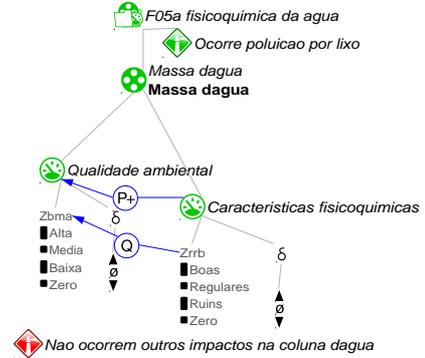
F04b dimin no lixo nao melhora o substrato



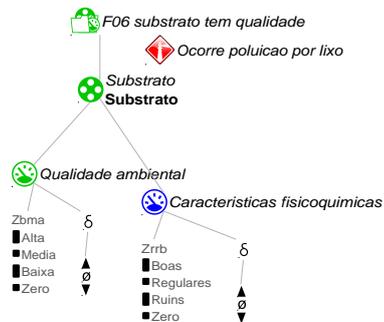
F04c lixo degrada massa dagua



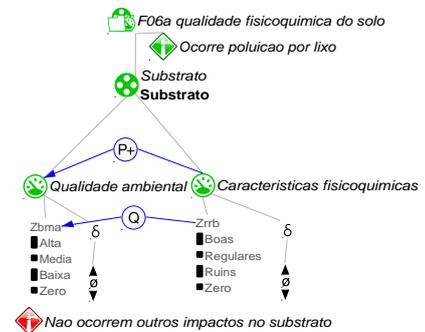
F05a Físico-química da água



F05b Só ocorre poluição por lixo 1



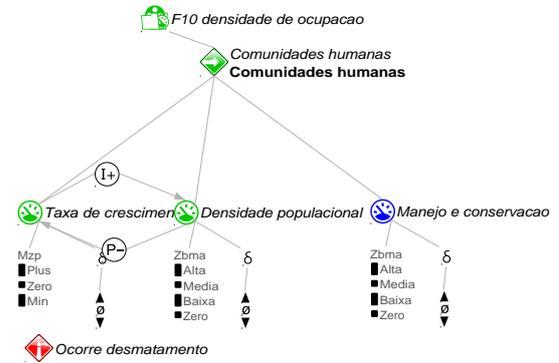
F06a Qualidade físico-química do solo



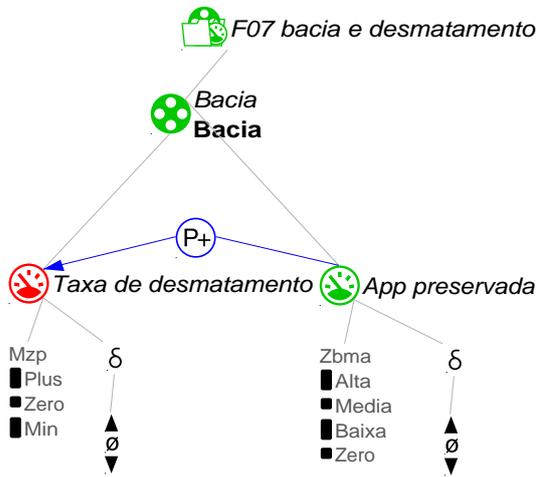
F06b Só ocorre poluição por lixo 2



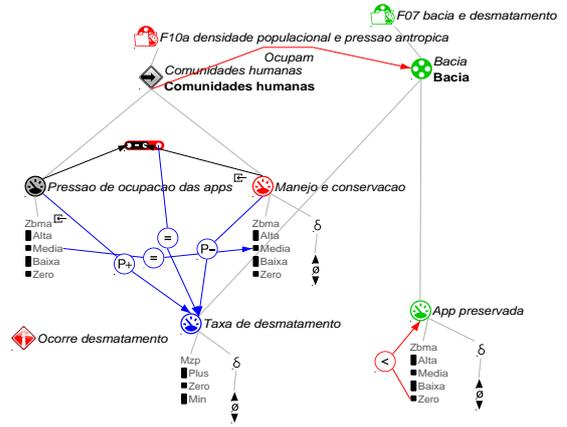
F07 Bacia e desmatamento



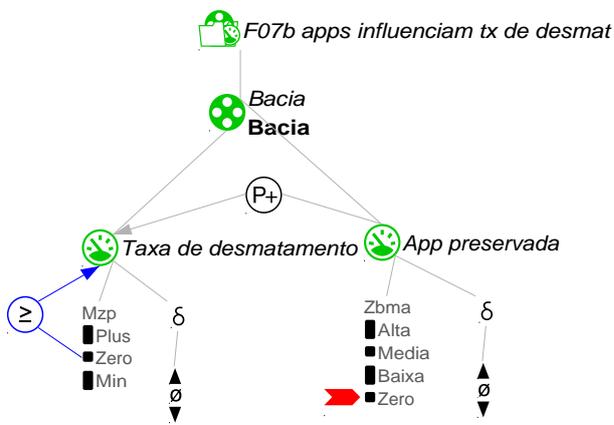
F10a Conservação e manejo



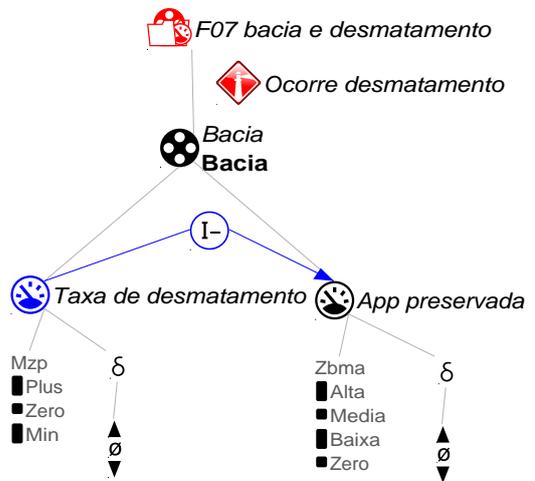
F07b APPs influenciam taxa de desmatamento



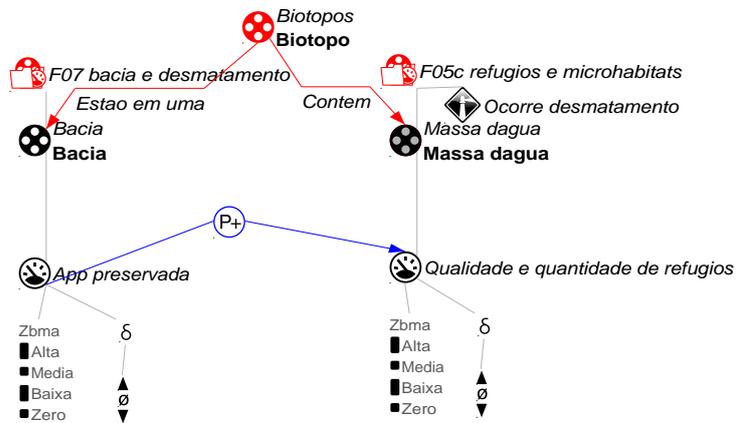
F07a Taxa de desmatamento



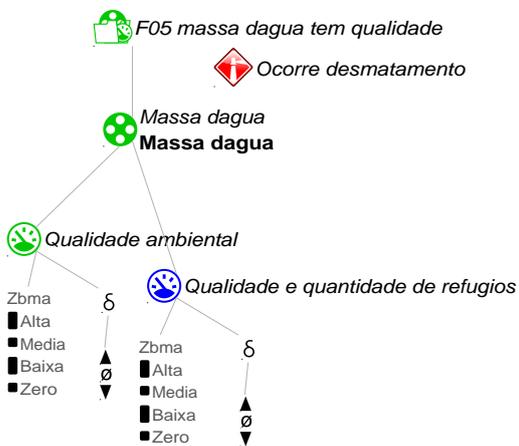
F07c Sem APP não tem desmatamento



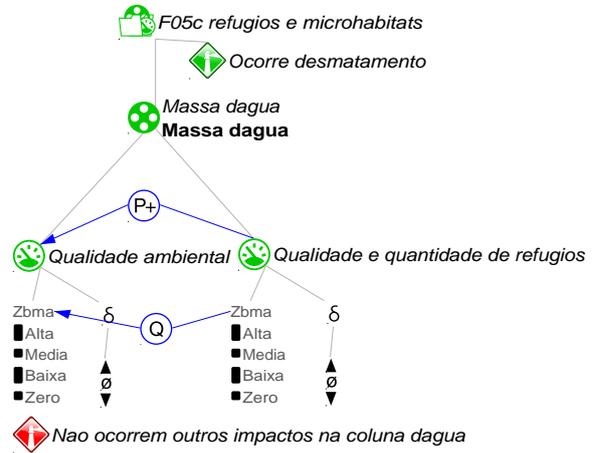
F08 Processo de desmatamento



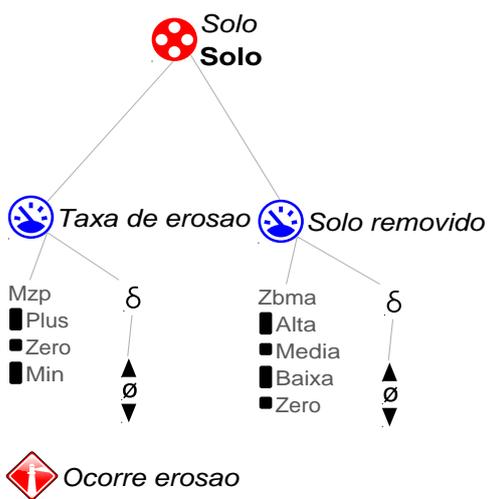
F09 Área desmatada e biótopo



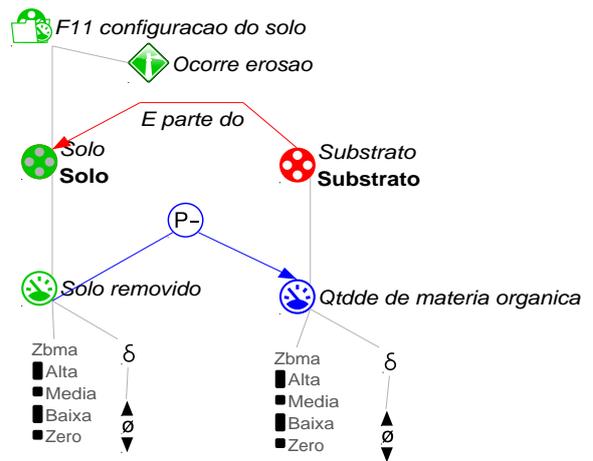
F05c Refúgios e microhabitats



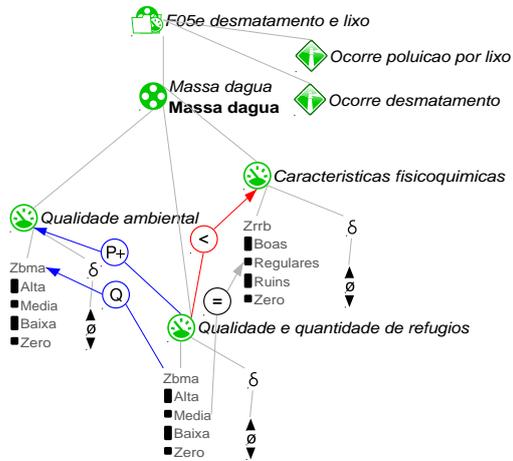
F05d Só ocorre desmatamento



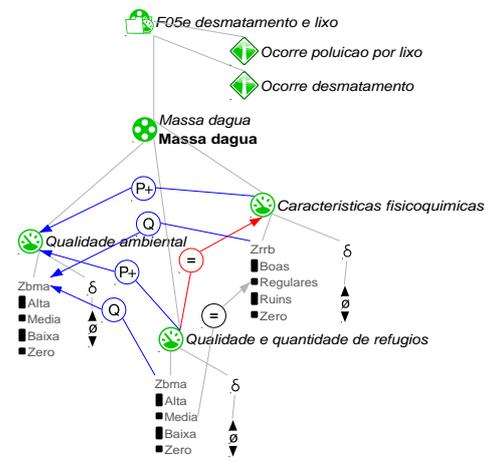
F11 Configuração do solo



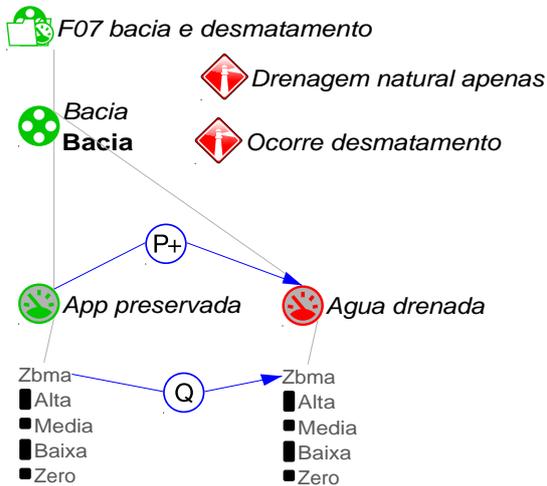
F11a Perda de matéria orgânica



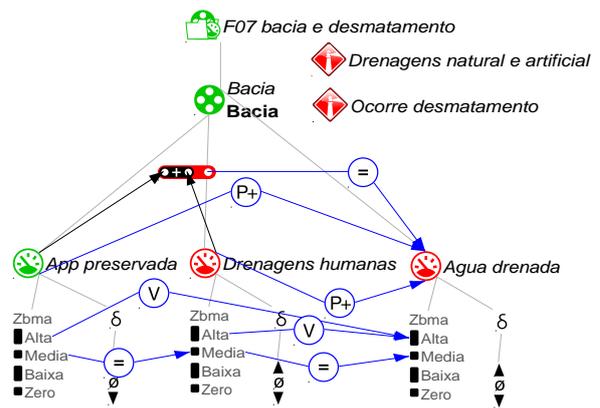
F05g Lixo menor que desmatamento



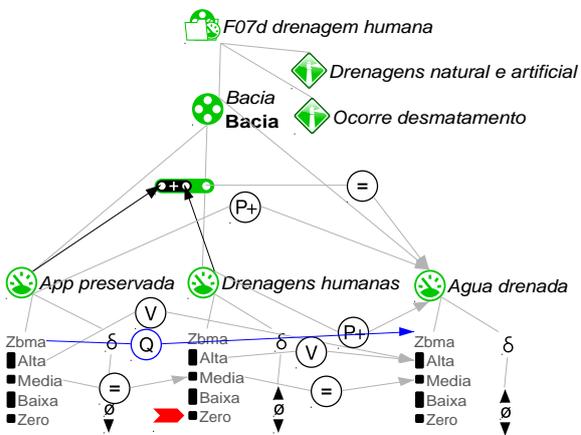
F05h Desmatamento igual lixo



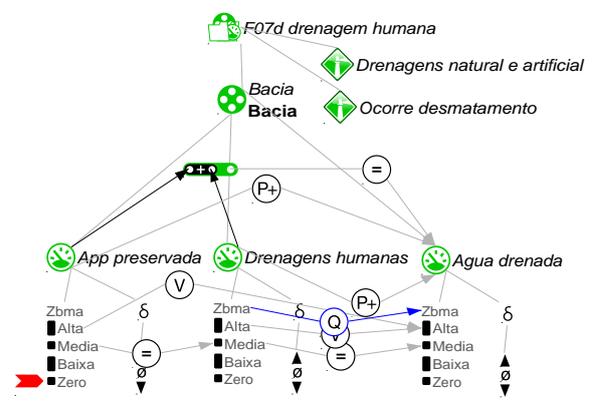
F07d Drenagem natural



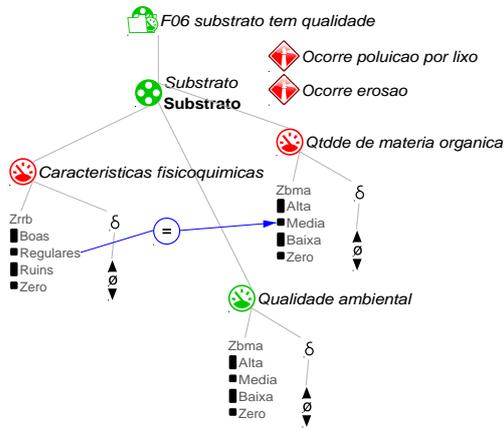
F07e Drenagem humana



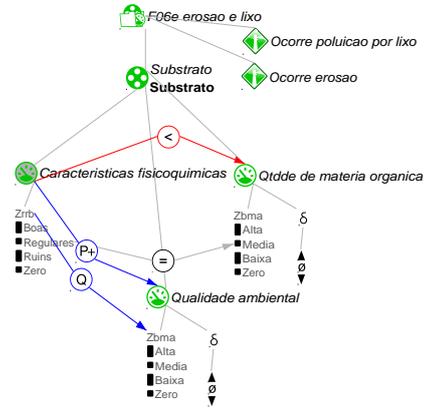
F07f Drenagem humana zero



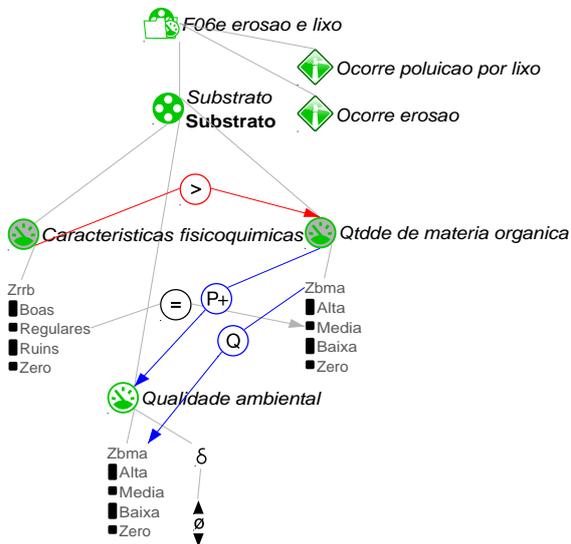
F07g APP zero



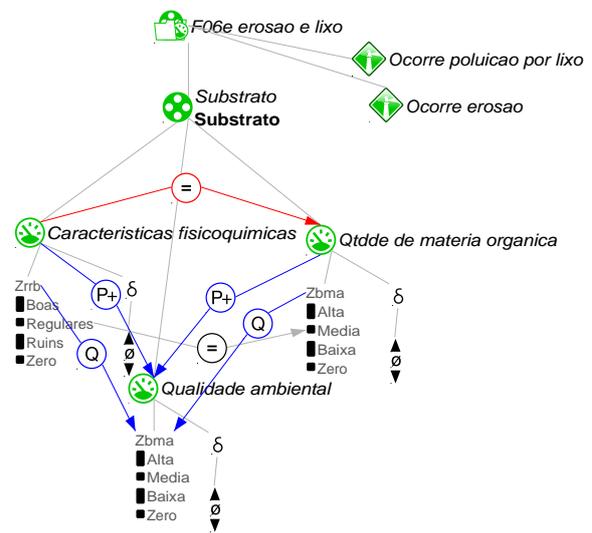
F06e Erosão e lixo



F06f Lixo maior que erosão



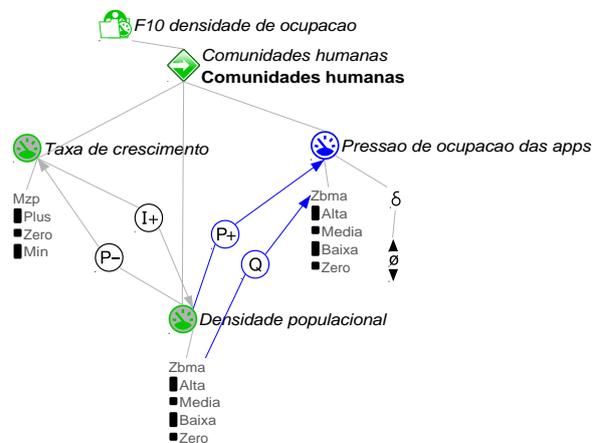
F06g Lixo menor que erosão



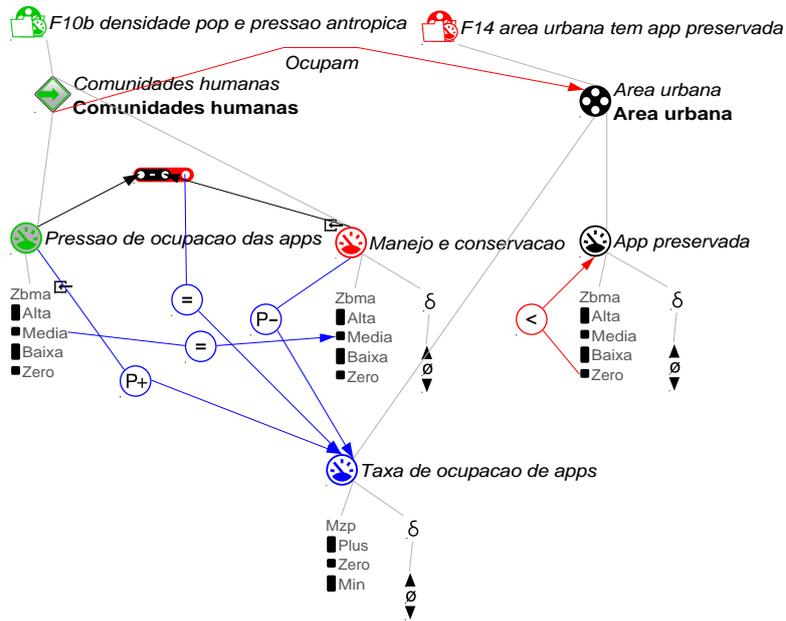
F06h Lixo igual erosão



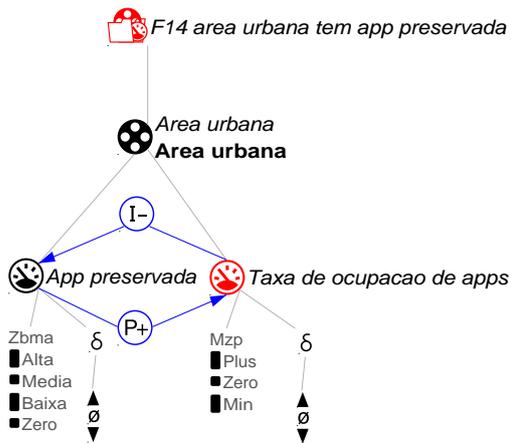
F14 Área urbana tem APP preservada



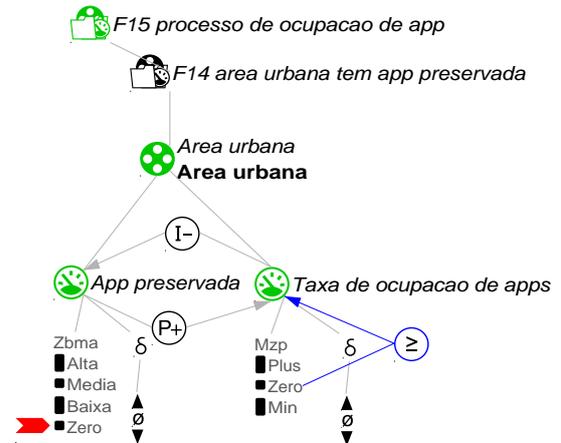
F10b Densidade populacional e pressão antrópica



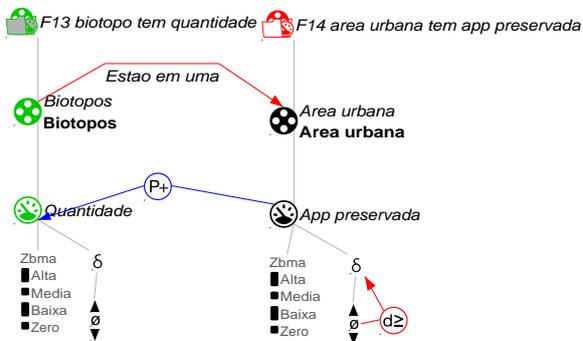
F10c Ocupação urbana



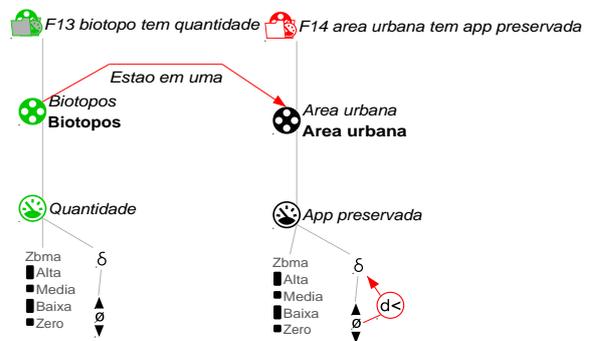
F15 Processo de ocupação de APP



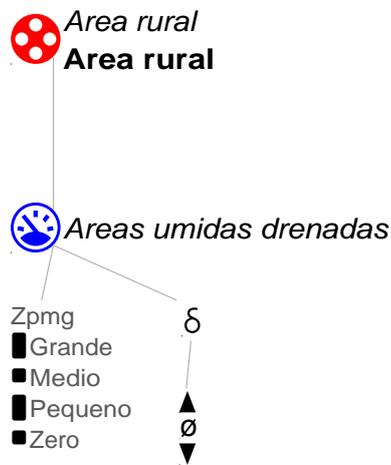
F15a sem APP sem ocupação



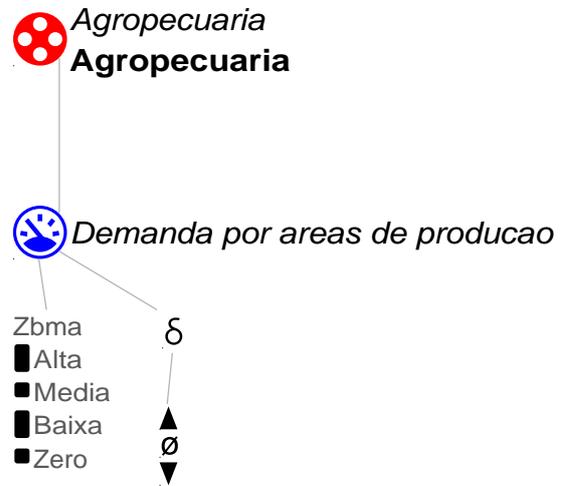
F13a Área urbana e APP diminuindo



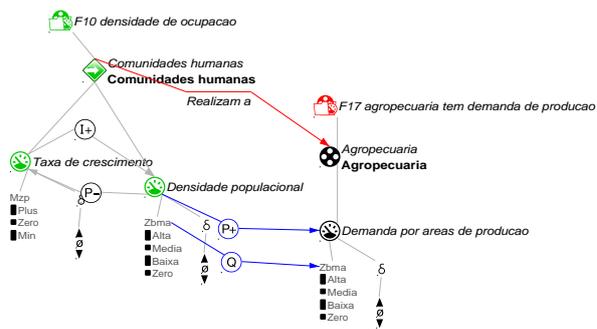
F13b Área urbana e APP aumentando



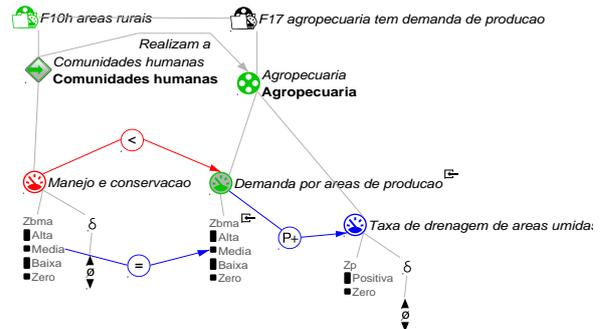
F16 Área rural tem áreas drenadas



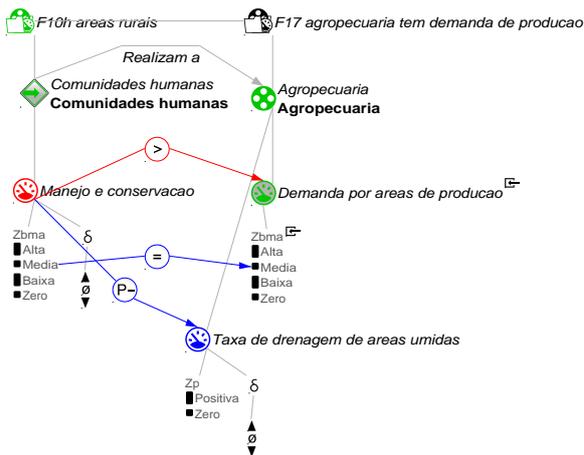
F17 Agropecuária tem demanda de produção



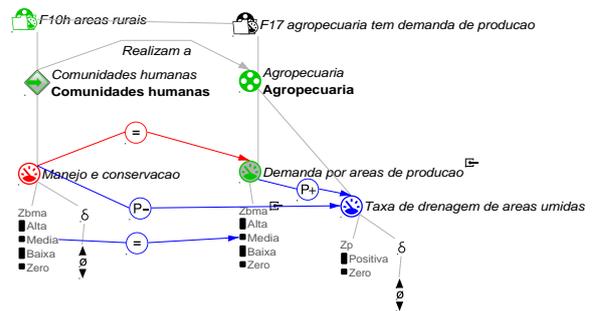
F10h Áreas rurais



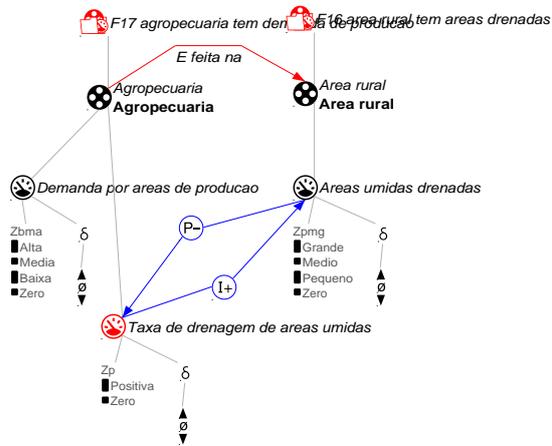
F10i Demanda maior que manejo



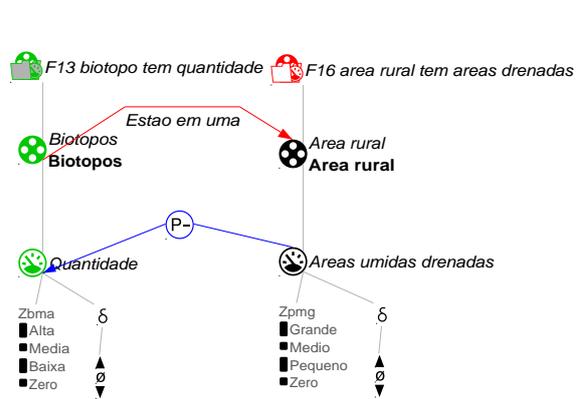
F10j Demanda menor que manejo



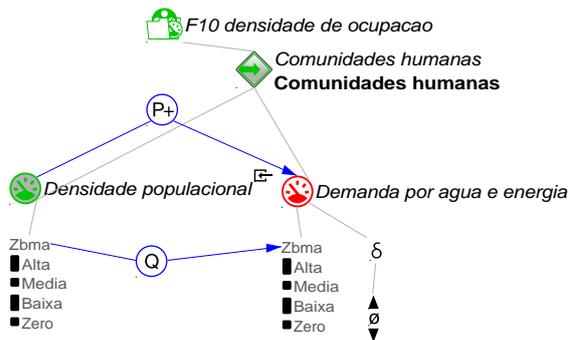
F10k Drenagem igual manejo



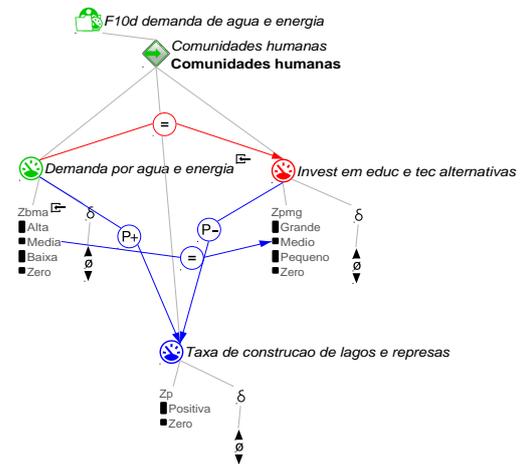
F18 Processo de drenagem



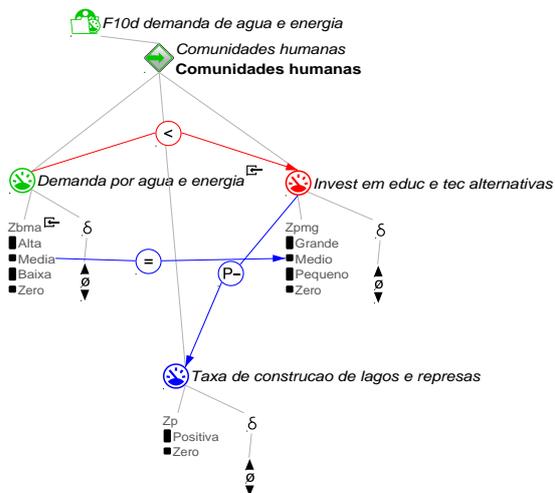
F13d Área rural e drenagem



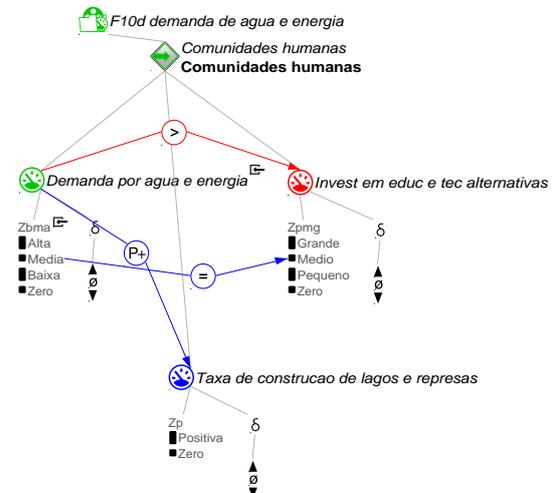
F10d Demanda de água e energia



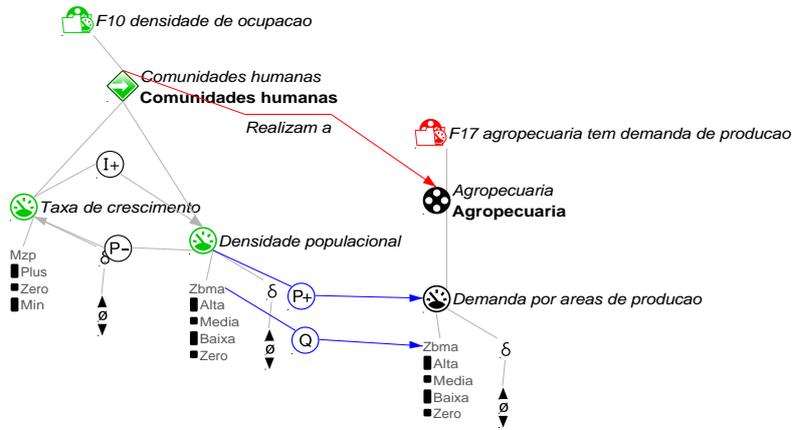
F10e Demanda igual conscientização



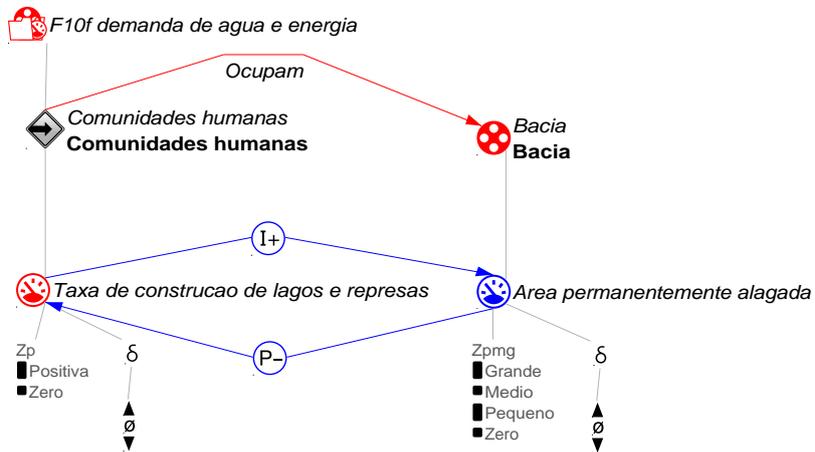
F10f Demanda menor que conscientização



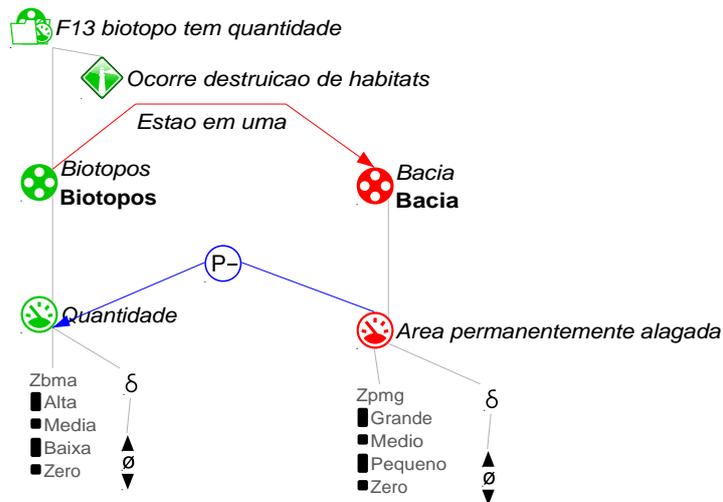
F10g Demanda maior que conscientização



F10h Áreas rurais



F19 Processo de alagamento



F13c Biótopos e represas

ANEXO III
QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO GERAL

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Núcleo de Educação Científica (NECBio/IB)
Aluno: Henrique Anatole Cardoso Ramos
Orientador: Prof. Paulo Salles

AVALIAÇÃO DO MODELO SOBRE O CICLO DE VIDA DO PIRÁ-BRASÍLIA
(Projeto integrante dos trabalhos para a dissertação de mestrado do aluno Henrique Anatole Cardoso Ramos)

*Prezado colega, grato pela sua disponibilidade em avaliar os modelos qualitativos sobre a influência de atividades antrópicas em biótopos de Pirá-Brasília - *Simpsonichtys boitonei* (Carvalho, 1959) e possíveis implicações ecológicas para a espécie! Este modelo é o produto principal de minha dissertação de mestrado, desenvolvida junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília. O objetivo principal é a construção de modelos qualitativos de simulação, que contribuam para aumentar a compreensão sobre o ciclo vital do Pirá-Brasília e suas relações com o ambiente, de modo a identificar pontos vulneráveis para sobrevivência dessa espécie diante das grandes mudanças a que seus biótopos estão sujeitos por ação antrópica.*

Procuramos colocar perguntas simples, que requerem respostas diretas, para obter suas opiniões sobre aspectos do uso de modelos qualitativos na gestão de espécies chaves de nossa biodiversidade. Acrescente comentários sempre que julgar necessário. Suas respostas serão de grande valor para o trabalho!

Identificação do avaliador:

Ocupação: _____

Idade: _____

Experiência com gestão de recursos naturais ou com peixes anuais:

(01) Modelos qualitativos apresentam o conhecimento de uma maneira compreensível

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(02) A abordagem do Raciocínio Qualitativo permite uma representação clara de fenômenos reais, como o ciclo de vida e a degradação de habitats de peixes anuais?

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(03) O Raciocínio Qualitativo e o GARP3 podem servir como uma ferramenta adequada para entendimento de relações causais verdadeiras, relacionadas a problemas ambientais e estratégias de conservação?

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(04) Os modelos apresentados podem contribuir de maneira significativa para o entendimento de tomadores de decisões e outros atores sobre as entidades e processos relacionados ao ciclo de vida da espécie e aos problemas ambientais enfrentados pela mesma.

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(05) Qual a parte do modelo mais interessante pra você?

(06) Qual a parte do modelo deveria ser aprimorada?

(07) O modelo pode ser utilizado por tomadores de decisão com o propósito de elaborar programas de conservação e recuperação para a espécie?

(08) Para que propósitos você acredita que esse tipo de abordagem possa ser mais adequados?

- a) Integração entre atores
- b) Aulas universitárias
- c) Tomada de decisão
- d) Outras (especificar)

(09) Comente a possibilidade de usar os modelos qualitativos sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília e os fatores ambientais influenciando os biótopos nas seguintes situações:

Pesquisa:

Programas de conservação da espécie alvo

Programas de conservação para outras espécies de peixes anuais

COMENTÁRIOS FINAIS:

(10) Outros comentários:

ANEXO IV
QUESTIONÁRIO DE VALIDAÇÃO PARA ESPECIALISTAS

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Núcleo de Educação Científica (NECBio/IB)
Aluno: Henrique Anatole Cardoso Ramos
Orientador: Prof. Paulo Salles

AVALIAÇÃO DO MODELO SOBRE O CICLO DE VIDA DO PIRÁ-BRASÍLIA
(Projeto integrante dos trabalhos para a dissertação de mestrado do aluno Henrique Anatole Cardoso Ramos)

*Prezado colega, agradeço pela sua disponibilidade em avaliar os modelos qualitativos sobre a influência de atividades antrópicas em biótopos de Pirá-Brasília - *Simpsonichthys boitonei* (Carvalho, 1959) e possíveis implicações ecológicas para a espécie! Este modelo é o produto principal de minha dissertação de mestrado, desenvolvida junto ao Programa de Pós Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília. O objetivo principal é a construção de modelos qualitativos de simulação, que contribuam para aumentar a compreensão sobre o ciclo vital do Pirá-Brasília e suas relações com o ambiente, de modo a identificar pontos vulneráveis para sobrevivência dessa espécie diante das grandes mudanças a que seus biótopos estão sujeitos por conta da ação antrópica. O modelo consiste de duas partes: a primeira trata do ciclo de vida da espécie e sua interação com aspectos ambientais, e a segunda trata dos problemas ambientais mais presentes na área de influência da espécie.*

Procuramos colocar perguntas simples, que requerem respostas diretas, para obter suas opiniões sobre aspectos do uso de modelos qualitativos na gestão de espécies chaves de nossa biodiversidade. Acrescente comentários sempre que julgar necessário. Suas respostas serão de grande valor para o trabalho!

Identificação do avaliador:

Ocupação: _____

Idade: _____

Experiência com gestão de recursos naturais ou com peixes anuais:

DIVISÃO DO MODELO

A divisão em sub-modelos foi uma necessidade observada ao longo do desenvolvimento do trabalho devido à grande quantidade de estados observados nos cenários criados nos modelos iniciais.

Noble et al. (2007) teve dificuldades semelhantes ao trabalhar com simulações envolvendo ciclos de vida completos de peixes, nos estudos de caso sobre a reabilitação dos Rios Trent e Great Ouse, na Inglaterra.

Dessa forma, logo no início dos trabalhos optou-se pela construção de dois sub-modelos: um primeiro abrangendo as várias fases do ciclo de vida do Pirá-Brasília e suas interações com o ambiente; e um segundo sub-modelo com foco na degradação e na destruição de biótopos dentro de uma bacia. Dessa forma se espera diminuir a quantidade de estados nas simulações e facilitar a interpretação e o entendimento dos comportamentos observados ao longo dos trabalhos.

SUB-MODELO 1: O CICLO DE VIDA DO PIRÁ-BRASÍLIA

Esse primeiro sub-modelo pretende englobar os fatores bióticos e abióticos considerados mais relevantes dentro do ciclo de vida do peixe Pirá-Brasília. Os principais elementos considerados dentro desse contexto foram o clima, o biótopo e os peixes.

Dentro do contexto do primeiro sub-modelo, a principal pergunta é: Como o conhecimento das relações existentes entre o Pirá-Brasília, nas diferentes fases de seu ciclo de vida, e os fatores físicos e biológicos de seu habitat contribuíram para a compreensão de aspectos relevantes para a sobrevivência desses peixes nos ambientes onde são encontrados?

Entidades do sub-modelo sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília

As nove entidades utilizadas no primeiro sub-modelo foram definidas com base nas fases de vida dos peixes e as porções dos biótopos com as quais elas interagem. Apenas dois agentes foram utilizados no modelo. As árvores de entidades e agentes foram organizadas conforme as figuras abaixo.



(01) As entidades selecionadas para descrever compõem o ciclo de vida do Pirá-Brasília e o ecossistema no qual estão inclusos os biótopos da espécie são suficientes para modelar as questões mais relevantes quanto ao ciclo de vida da espécie?

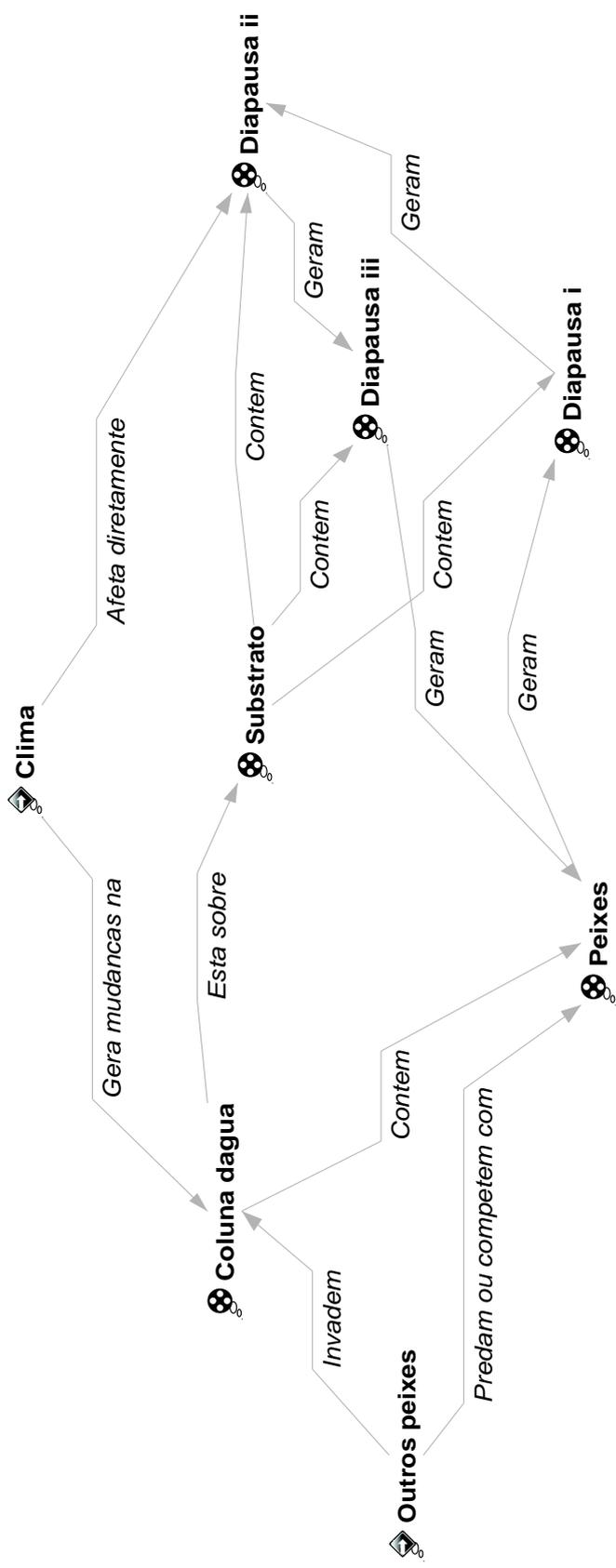
1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

Explique sua resposta:

Entidades e configurações do sub-modelo sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília



(02) As entidades e as configurações mostradas acima são relevantes e suficientes para uma representação clara e abrangente do ciclo de vida do Pirá-Brasília?

- 1 = sim
- 2 = mais ou menos
- 3 = não

Explique sua resposta:

Quantidades utilizadas no sub-modelo sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília

Quantidades representam as propriedades variáveis das **entidades** e **agentes**. Tipicamente, nelas se pode visualizar as propriedades que emergem da dinâmica e do comportamento do sistema. São representadas por seus valores qualitativos, que consistem da magnitude (quantidade da coisa) e da derivada (direção da mudança) (Bredeweg 2009).

Os espaços quantitativos especificam a amplitude de valores possíveis que uma quantidade pode ter. Toda quantidade tem seu espaço quantitativo definido pelo usuário na magnitude e pré-definido para as derivadas, sendo $\{-, 0, +\}$. Todo valor quantitativo é um ponto ou um intervalo de valores, e esses tipos se alternam consecutivamente (Bredeweg 2009). A tabela abaixo informa as quantidades e espaços quantitativos utilizados no primeiro sub-modelo:

Entidade	Quantidade	Espaço Quantitativo	Observações
TAXAS DE PROCESSOS			
CLIMA	Balanco de evap precip	Mzp	Representa o saldo entre a precipitação e a evaporação da água
EMBRIÕES	Taxa de embriogenese	Zp	Representa o desenvolvimento dos embriões entre os estágios de diapausa, incluindo a eclosão – no caso da diapausa III
OUTROS PEIXES	Taxa de invasão	Zp	Representa a entrada de peixes de outras espécies, não anuais, no sistema.
	Taxa de mortalidade	Zp	Representa a mortalidade dos peixes e reduz sua quantidade
PEIXES – RIVULIDEO	Taxa de desova	Zp	Representa a desova efetuada por peixes maduros que gera embriões em diapausa I
	Taxa de mortalidade	Zp	Representa a mortalidade dos peixes e reduz sua quantidade
OUTRAS QUANTIDADES			
CLIMA	Estacao do ano	Spc	Representa a variação cíclica entre períodos de seca e chuva
	Fotoperiodo	Bma	Representa as variações relativas ao período diário de incidência de luz
MASSA D'AGUA	Nivel da água	Zpmg	Representa a altura da massa d'água no biótopo
	Area alagada	Zpmg	Representa a área alagada pelo biótopo
OUTROS PEIXES	Quantidade	Zpmg	Representa a população de outros peixes no biótopo
RIVULIDEO	Quantidade	Zpmg	Representa a população de rivulideos – tanto para ovos quanto para peixes
SUBSTRATO	Oxigenio no substrato	Zmm	Representa quantidade de oxigênio dissolvido no substrato

	Umidade	Mmm	Representa umidade media no solo do biótopo
--	---------	-----	---

zp={zero, positivo}; mzp={minus, zero, plus}; zpmg={zero, pequeno, médio e grande}; mmm={mínima, media, máxima}; spc={secas, períodos intermed, chuvas}; zmm={zero, médio, Maximo}; bma={baixa, media, alta}

(03) As *quantidades* escolhidas capturam as propriedades mais interessantes das Entidades?

1 = sim

2 = mais ou menos

3 = não

Explique sua resposta, discutindo particularmente aquelas em que há problemas:

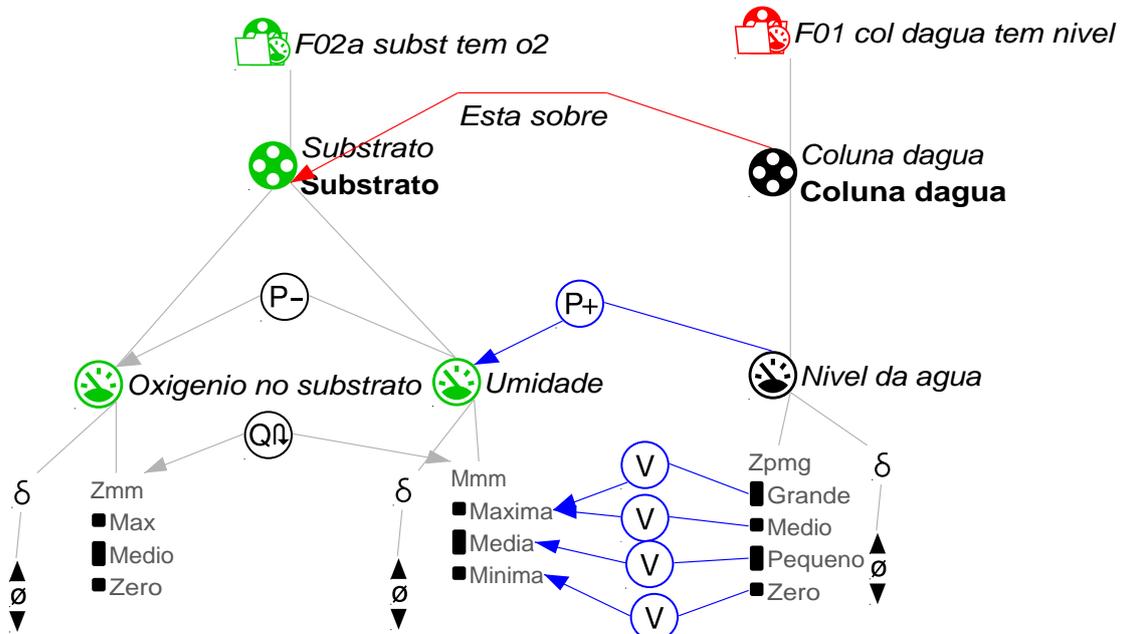
Fragmentos de modelo do sub-modelo sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília

O sub-modelo do ciclo de vida do Pirá-Brasília foi construído com 73 fragmentos de modelo, dos quais 50 são fragmentos estáticos, para descrever a estrutura do sistema e especificar conceitos utilizados. Os outros 9 descrevem processos como a eclosão dos ovos, a mortalidade e a embriogênese. Os últimos 14 fragmentos de modelo envolvem a influência de agentes externos ao modelo, como o clima e espécies de peixes invasores. A seguir serão apresentados alguns dos fragmentos de modelo criados.

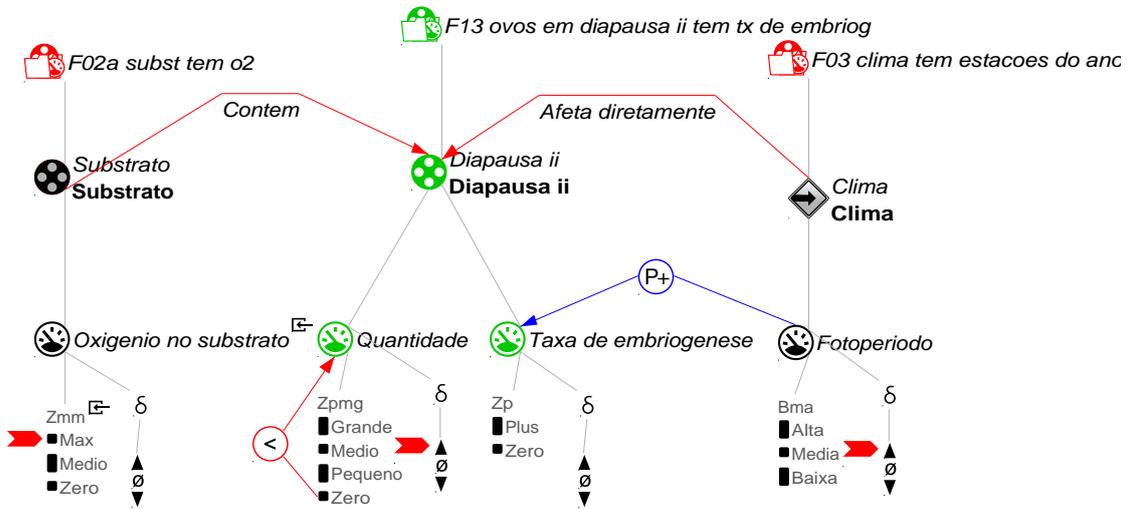
O Biótopo

De maneira simplificada, o biótopo foi dividido entre o substrato e a massa d'água. Inicialmente foram pensadas configurações mais complexas, mas devido à grande quantidade de estados gerados nas simulações após a adição dos outros componentes do modelo optou-se por tornar a abordagem do biótopo o mais simplificada possível.

Avalie o fragmento de modelo abaixo, que se aplica ao biótopo no contexto do ciclo de vida:



F11d, apresentado na figura abaixo. A diapausa, propriamente dita, perduraria enquanto o *Fotoperiodo* estivesse constante ou diminuindo.



(04c) O *fragmento de modelo* acima é conceitualmente claro e correto?

1 = sim

2 = mais ou menos

3 = não

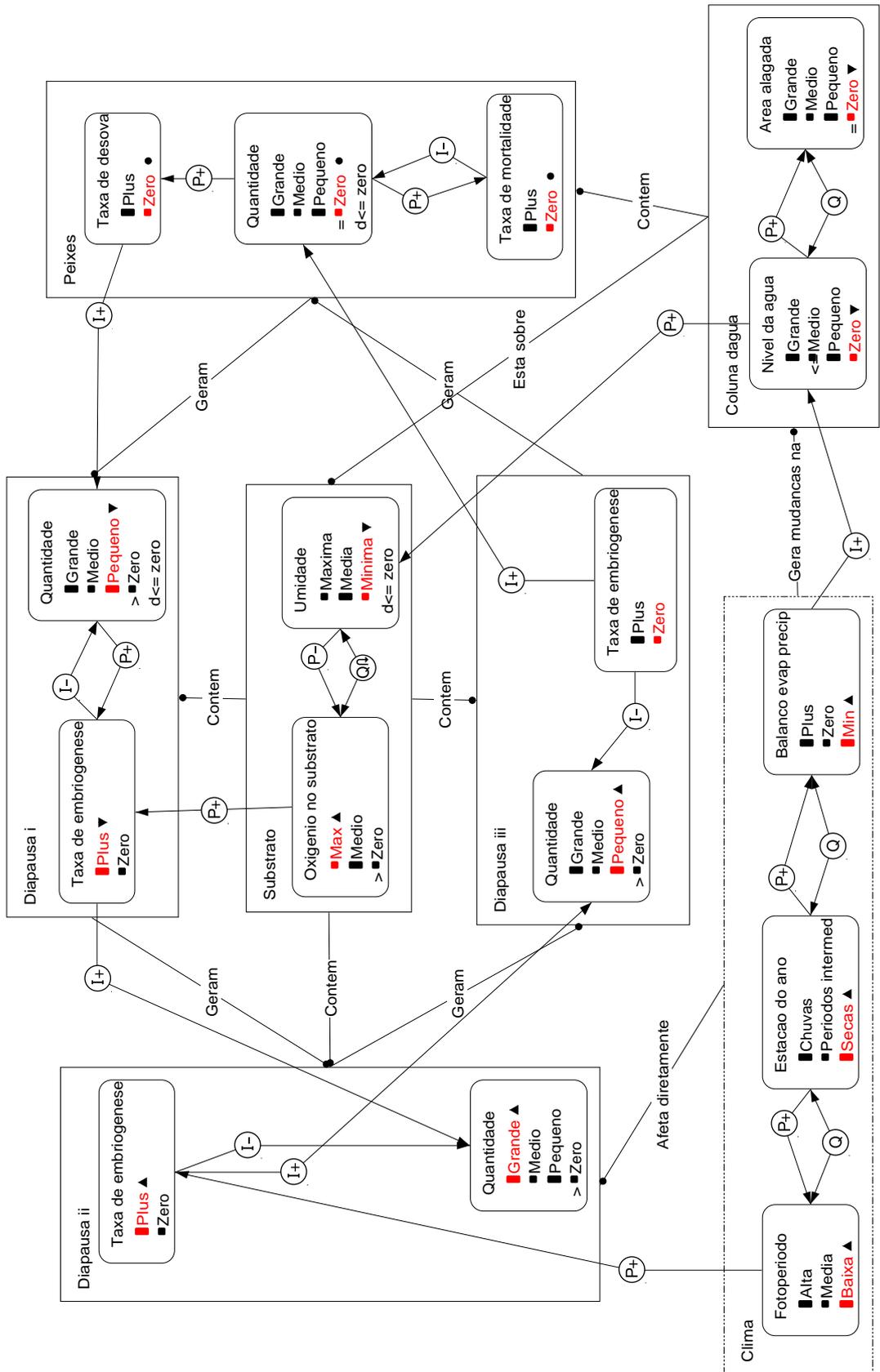
Explique sua resposta:

Cenário de simulação sobre o ciclo de vida completo do Pirá-Brasília

Esse cenário traz o ciclo completo sem a presença de espécies invasoras. A quantidade Estações do ano, associada ao clima, foi colocada sobre influência exógena e apresenta comportamento em parábola positiva. Foram incluídas todas as entidades e quantidades inicialmente previstas, exceto aquelas relativas às espécies invasoras.

A proposta é de possibilitar a visualização de todo o ciclo de vida dos peixes anuais, com as respostas dos processos e quantidades de embriões e peixes às variações do ambiente e do clima.

Modelo causal da simulação envolvendo o ciclo de vida completo do Pirá-Brasília



(06) As relações de causalidade (I's e P's) mostradas na figura abaixo podem ser justificadas por conhecimentos científicos disponíveis?

1 = sim, todas

2 = algumas

3 = não, nenhuma

Explique sua resposta:

(07) As relações de causalidade (I's e P's) que não têm base científica podem ser justificadas pelo senso comum?

1 = sim, todas

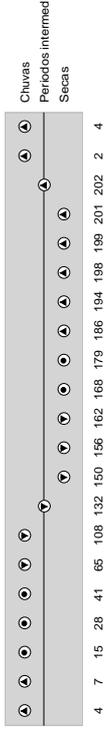
2 = algumas

3 = não, nenhuma

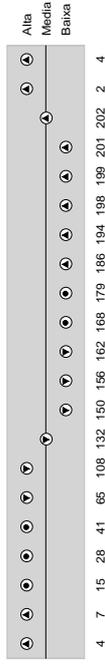
Explique sua resposta:

Valores das variáveis da simulação envolvendo o ciclo de vida completo do Pirá-Brasília

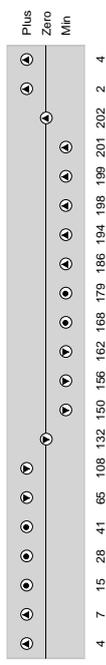
Clima: Estado do ano



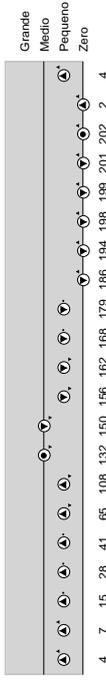
Clima: Fotoperíodo



Clima: Balanço evap precip



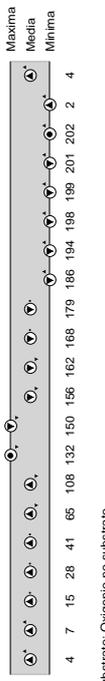
Coluna água: Nível de água



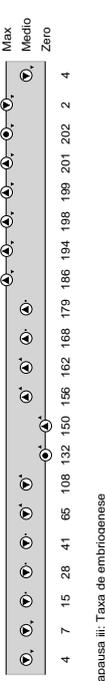
Coluna água: Área alagada



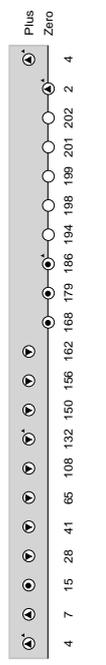
Substrato: Umidade



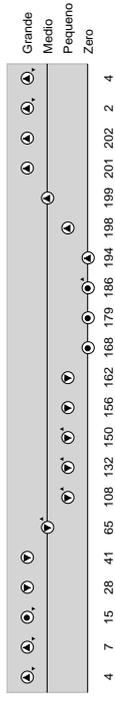
Substrato: Oxigênio no substrato



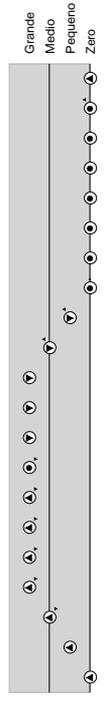
Diapausa iii: Taxa de embriogenese



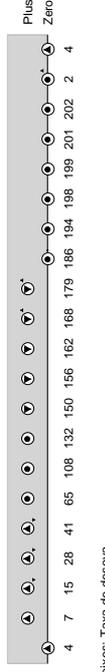
Diapausa iii: Quantidade



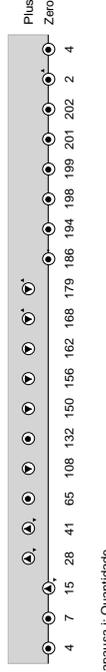
Peixes: Quantidade



Peixes: Taxa de mortalidade



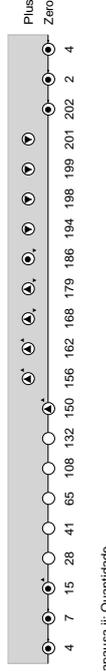
Peixes: Taxa de desova



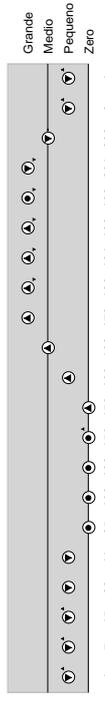
Diapausa i: Quantidade



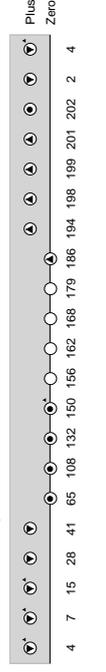
Diapausa i: Taxa de embriogenese



Diapausa ii: Quantidade



Diapausa ii: Taxa de embriogenese



(08) A trajetória de comportamento do sistema formada pelos estados selecionados, isto é, o conjunto de mudanças observadas no sistema ao longo do tempo, corresponde a trajetória que se espera observar no sistema em condições naturais?

Entidade	Quantidade	Corresponde a trajetória esperada?		
CLIMA	Estação do ano	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Fotoperíodo	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Balço de evap precip	1 = sim	2 = talvez	3 = não
MASSA D'AGUA	Nível da água	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Área alagada	1 = sim	2 = talvez	3 = não
SUBSTRATO	Oxigênio no substrato	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Umidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
DIAPAUSA I	Taxa de embriogênese	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Quantidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
DIAPAUSA II	Taxa de embriogênese	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Quantidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
DIAPAUSA III	Taxa de embriogênese	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Quantidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
PEIXES – RIVULÍDEO	Taxa de desova	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Taxa de mortalidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Quantidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não

Se desejar, explique sua resposta:

(09) Os valores assumidos pelas quantidades na trajetória de comportamento do sistema estão corretos?

1 = sim, completamente 2 = parcialmente 3 = não, de modo algum

Explique sua resposta:

(10) É possível explicar o comportamento do sistema com base no fluxo da causalidade representada no modelo causal e nos valores das quantidades?

1 = sim, completamente 2 = parcialmente 3 = não, de modo algum

Explique sua resposta:

SUB-MODELO 2: PROBLEMAS AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE E NA QUANTIDADE DOS BIÓTOPOS DE PIRÁ-BRASÍLIA

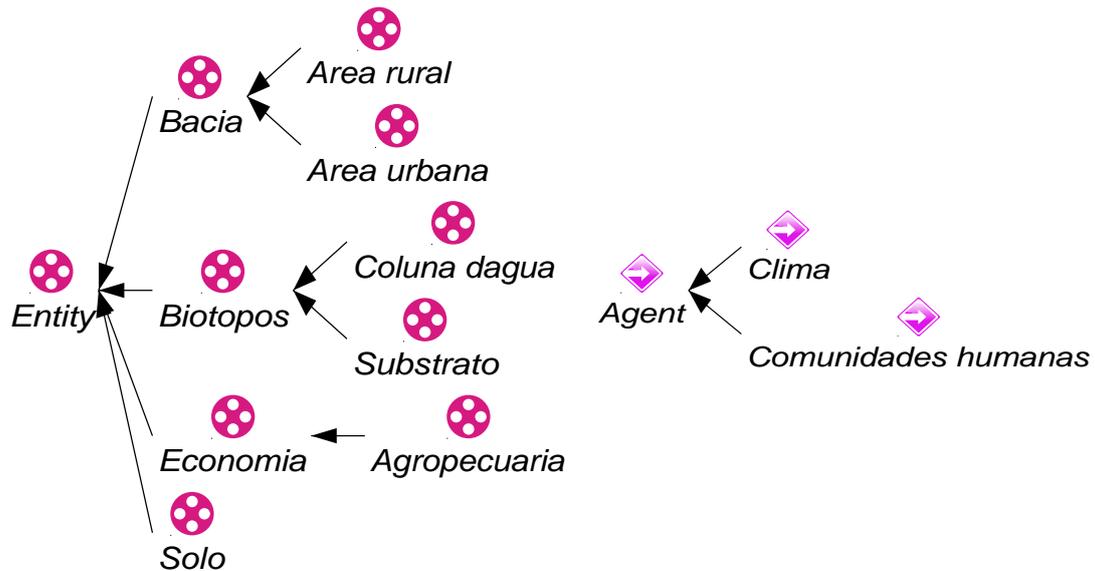
O segundo sub-modelo foca nos fatores ambientais e as atividades humanas que influenciam tanto na qualidade quanto na quantidade de biótopos de peixes-anaís presentes em determinada bacia hidrográfica. Nesse contexto, os principais elementos trabalhados foram os biótopos, a bacia hidrográfica e as comunidades humanas.

Os possíveis impactos ambientais foram divididos entre aqueles que são graduais e alteraram a qualidade ambiental dos biótopos, e os que são catastróficos e destroem totalmente os biótopos.

No contexto do segundo sub-modelo a pergunta a ser respondida é: quais são os principais efeitos das mudanças causadas pelo homem nos biótopos ocupados por populações de Pirá-Brasília no Distrito Federal?

Entidades do sub-modelo sobre problemas ambientais

As nove entidades utilizadas no segundo sub-modelo foram definidas com base na composição dos biótopos e nos diferentes usos e áreas de uma bacia. Apenas dois agentes foram utilizados no modelo. As árvores de entidades e agentes foram organizadas conforme as figuras abaixo:



(11) As entidades selecionadas representam os aspectos mais relevantes dos problemas ambientais que influenciam a qualidade e a quantidade de biótopos de Pirá-Brasília?

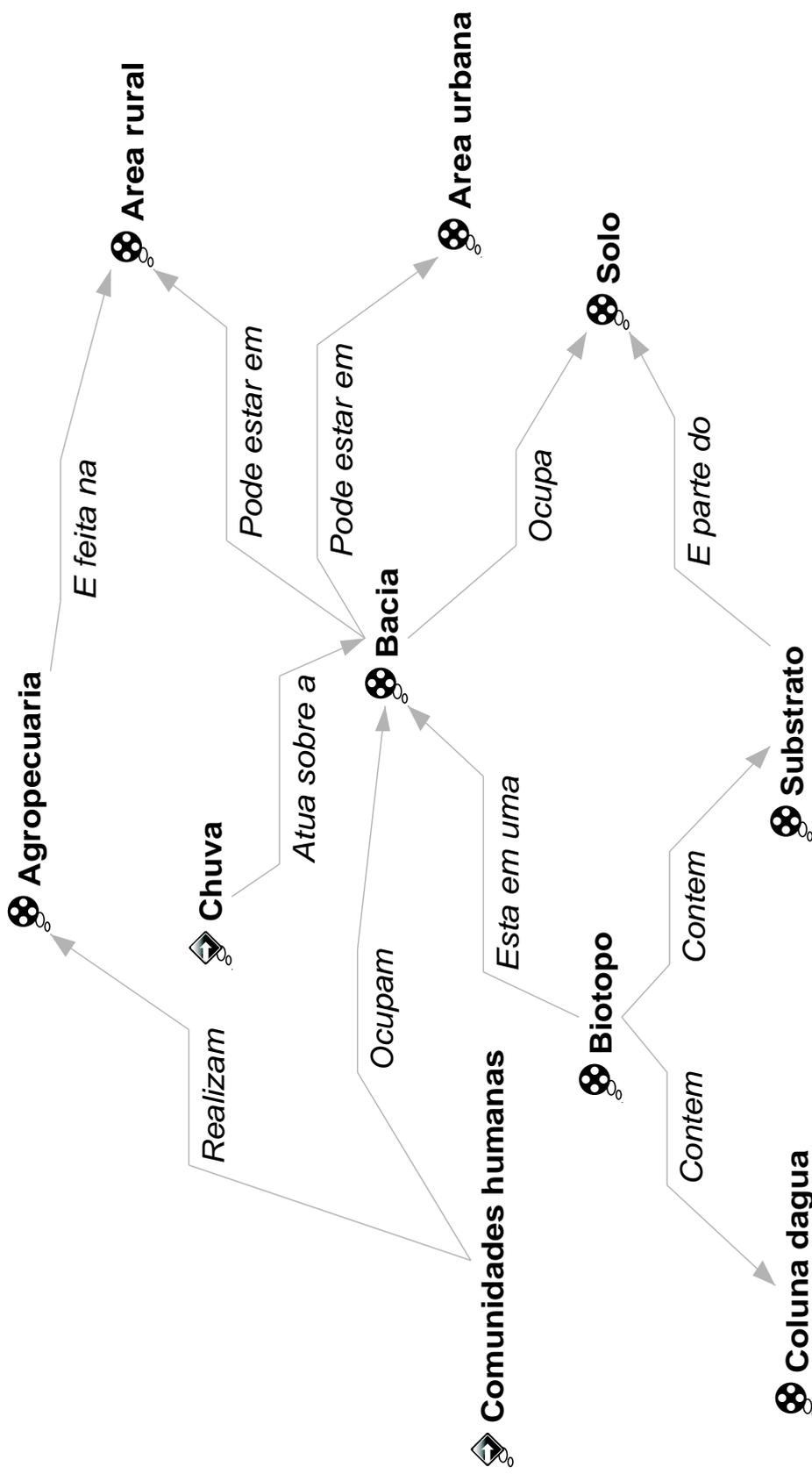
1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

Explique sua resposta:

Entidades e configurações do sub-modelo sobre problemas ambientais



(12) As entidades e as configurações mostradas acima são relevantes e suficientes para uma representação clara e abrangente dos problemas ambientais que influenciam na qualidade e na quantidade dos biótopos de Pirá-Brasília?

1 = sim 2 = mais ou menos 3 = não

Explique sua resposta:

Quantidades utilizadas no sub-modelo sobre problemas ambientais

A tabela abaixo informa as quantidades e espaços quantitativos utilizados no segundo sub-modelo:

Entidade	Quantidade	Espaço Quantitativo	Observações
TAXAS DE PROCESSOS			
BACIA	Fluxo descontrolado	Mzp	Representa a diferença entre a água da chuva escoada e a água drenada dentro de uma bacia
	Taxa de desmatamento	Mzp	Representa a intensidade com que é realizado o desmatamento nas áreas de preservação permanente de uma bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Taxa de construção de lagos e represas	Zp	Representa a intensidade com que uma comunidade constrói lagos e represas para se abastecer de água e energia
	Taxa de crescimento	Mzp	Representa a intensidade com que uma comunidade aumenta ou diminui sua densidade populacional
AGROPECUARIA	Taxa de supressão de áreas úmidas	Zp	Representa a intensidade com que é drenada a água das áreas úmidas de uma bacia
SOLO	Taxa de erosão	Mzp	Representa a intensidade com que se perde ou se recompõe o solo perdido no processo de erosão
AREA URBANA	Taxa de ocupação de apps	Mzp	Representa a intensidade com que se ocupa ou desocupa áreas de preservação permanente, realizando a completa alteração da área ocupada
OUTRAS QUANTIDADES			
BACIA	Água descontrolada	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva que não foi efetivamente drenada
	Água drenada	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva drenada
	APP preservada	Zbma	Representa o percentual de preservação da Área de Preservação Permanente daquela bacia
	Área permanentemente alagada	Zpmg	Representa a quantidade de área permanentemente alagada dentro da bacia por ação

			humana
	Áreas úmidas suprimidas	Zpmg	Representa a quantidade de área úmida drenada dentro da bacia por ação humana
	Biodiversidade	Pmg	Representa a diversidade biológica encontrada dentro daquela bacia
	Drenagens humanas	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva drenada por obras de intervenção humana
	Escoamento de água	Zbma	Representa a quantidade de água da chuva escoada pela bacia
	Lixo transportado	Zbma	Representa a quantidade de lixo transportado pela enxurrada em uma bacia
CLIMA	Chuva	Zbma	Representa a intensidade das chuvas naquele determinado momento.
BIOTOPOS	Quantidade de biotopos	Zbma	Representa a quantidade de biótopos em uma determinada bacia
	Conectividade entre biotopos	Zbma	Representa a conectividade entre os biótopos de uma bacia
COMUNIDADES HUMANAS	Demanda por água e energia	Zbma	Representa a pressão de uma comunidade por empreendimentos geradores de água e energia
	Demanda por áreas de produção	Zbma	Representa a pressão de uma comunidade por áreas para uso pela agropecuária
	Densidade populacional	Zbma	Representa a quantidade de pessoas por uma área determinada
	Invest em educ e tec alternativas	Zpmg	Representa o volume de investimentos de uma comunidade em educação ambiental e desenvolvimento de tecnologias alternativas para produção de energia e disponibilização de água
	Manejo e Conservação	Zbma	Representa o volume de investimentos em manejo de Áreas de preservação permanente e de medidas de conservação diversas, como criação de áreas protegidas, fiscalização, etc.
	Pressao de ocupacao das apps	Zbma	Representa a pressão exercida pela população para converter

			áreas de preservação permanente em áreas habitáveis
SUBSTRATO	Quantidade de matéria orgânica	Zbma	Representa a quantidade relativa de matéria orgânica no substrato de um biótopo
	Características físico-químicas	Zrrb	Representa as variações nas características físico-químicas geradas por ação humana em relação às características originais do substrato.
	Qualidade ambiental	Zbma	Representa a qualidade ambiental em relação às características originais do substrato.
MASSA D'ÁGUA	Qualidade ambiental	Zbma	Representa a qualidade ambiental em relação às características originais da Massa d'água.
	Características físico-químicas	Zrrb	Representa as variações nas características físico-químicas geradas por ação humana em relação às características originais da Massa d'água.
	Qualidade e quantidade de refúgios	Zbma	Representa a qualidade e a quantidade de refúgios e nichos ecológicos da massa d'água em relação às características originais da mesma.
SOLO	Solo removido	Zbma	Representa a quantidade de solo removido de uma bacia pela erosão

zp={zero, positivo}; mzp={minus, zero, plus}; zpmg={zero, pequeno, médio e grande}; mmm={mínima, média, máxima}; spc={secas, períodos intermed, chuvas}; zmm={zero, médio, Maximo}; bma={baixa, media, alta}

(13) As *quantidades* escolhidas capturam as propriedades mais interessantes das Entidades?

1 = sim

2 = mais ou menos

3 = não

Explique sua resposta, discutindo particularmente aquelas em que há problemas:

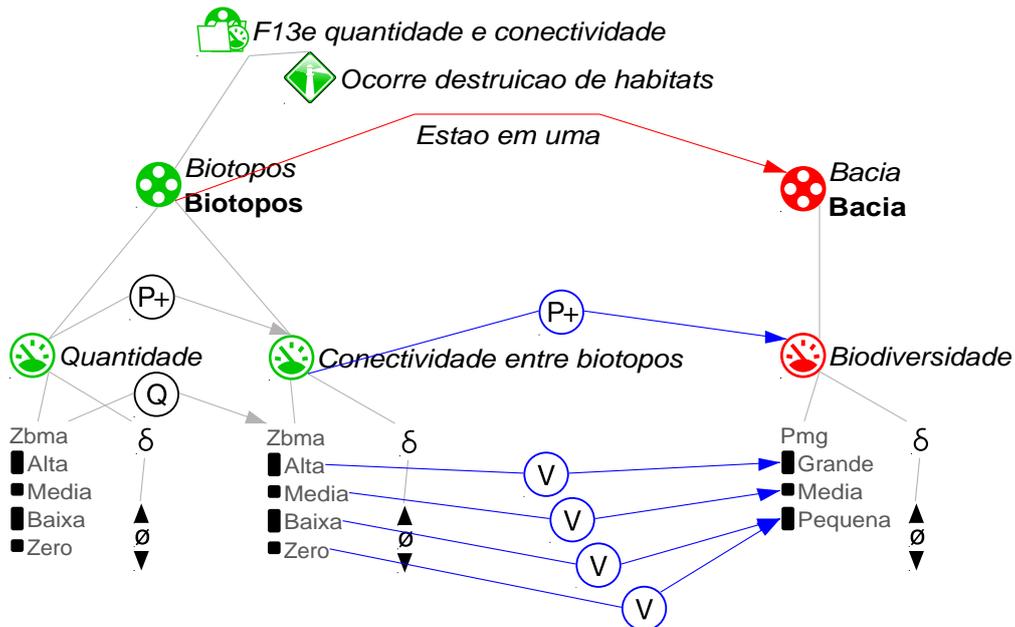
Fragmentos de modelo utilizados no sub-modelo sobre problemas ambientais

O sub-modelo de conservação de biótopos foi construído com 65 fragmentos de modelo, sendo que 44 são fragmentos de modelo estáticos, para descrever a estrutura do sistema e especificar conceitos utilizados. Outros 7 descrevem processos como a erosão, o desmatamento ou a drenagem de biótopos. Os últimos 14 fragmentos de modelo envolvem a influência de agentes externos ao modelo, nesse caso o clima e as comunidades humanas.

A seguir serão apresentados alguns dos fragmentos de modelo criados.

Biotopo e biodiversidade

Quando o cenário for relativo a ações que destroem o biótopo, essa entidade será composta por *Quantidade de biotopos* e *Conectividade entre biotopos*, sendo a última diretamente proporcional à primeira. Da mesma forma, a *Conectividade entre os biótopos* exerce influencia sobre a *Biodiversidade* da bacia que contém os biótopos, tal como está exposto no fragmento de modelo apresentado na figura abaixo:



(14a) O fragmento de modelo acima é conceitualmente claro e correto?

1 = sim

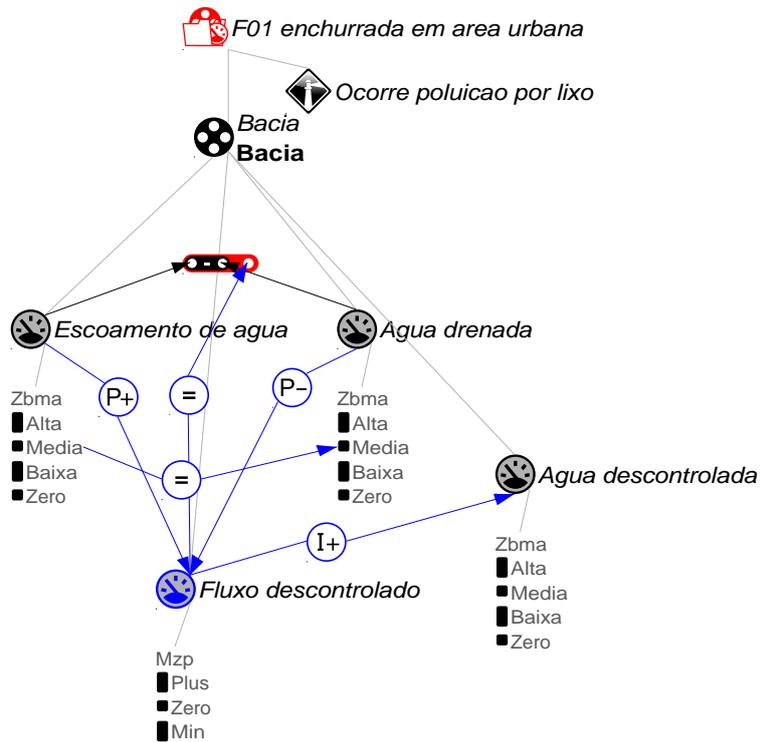
2 = mais ou menos

3 = não

Explique sua resposta:

O carregamento de lixo pela água

A diferença entre o *Escoamento de água* e a *Água drenada* resulta na quantidade *Fluxo descontrolado*, que influencia diretamente a *Água descontrolada*. A *Água descontrolada* esta ligada a outra quantidade associada à bacia, o *Lixo transportado*, que varia de maneira diretamente proporcional à primeira. Todo esse processo é descrito no fragmento de modelo apresentado na figura abaixo.



(14b) O *fragmento de modelo* acima é conceitualmente claro e correto?

1 = sim

2 = mais ou menos

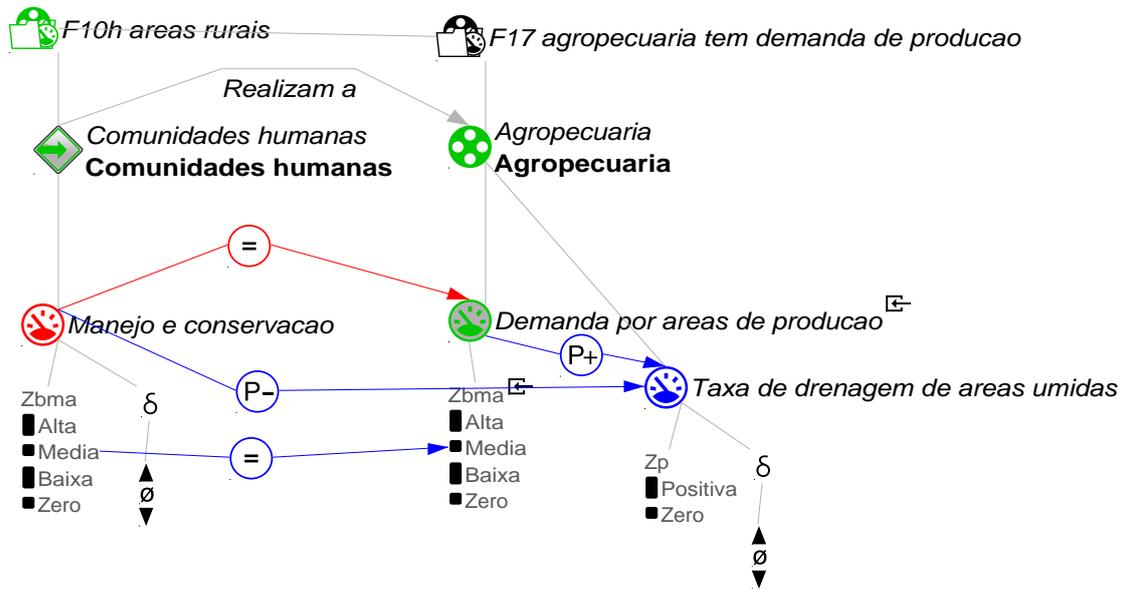
3 = não

Explique sua resposta:

Destruição de habitats pela agricultura

Um outro problema trabalhado quanto a destruição de biótopos é focado na área rural da bacia, que contém a quantidade *Áreas úmidas suprimidas*.

O problema é gerado pela *Demanda por áreas de produção* da agropecuária. A agropecuária é realizada pelas comunidades humanas e a *Demanda por áreas de produção* é diretamente proporcional à *Densidade populacional*. A *Taxa de supressão de áreas úmidas* pela agropecuária será proporcional ao que for maior entre a *Demanda por áreas de produção* ou o *Manejo e conservação* pelas comunidades humanas, ou pelas duas quantidades quando estas forem iguais, conforme descrito no fragmento de modelo apresentado na figura seguinte:



(14c) Os *fragmentos de modelo* são conceitualmente claros e corretos?

1 = sim

2 = mais ou menos

3 = não

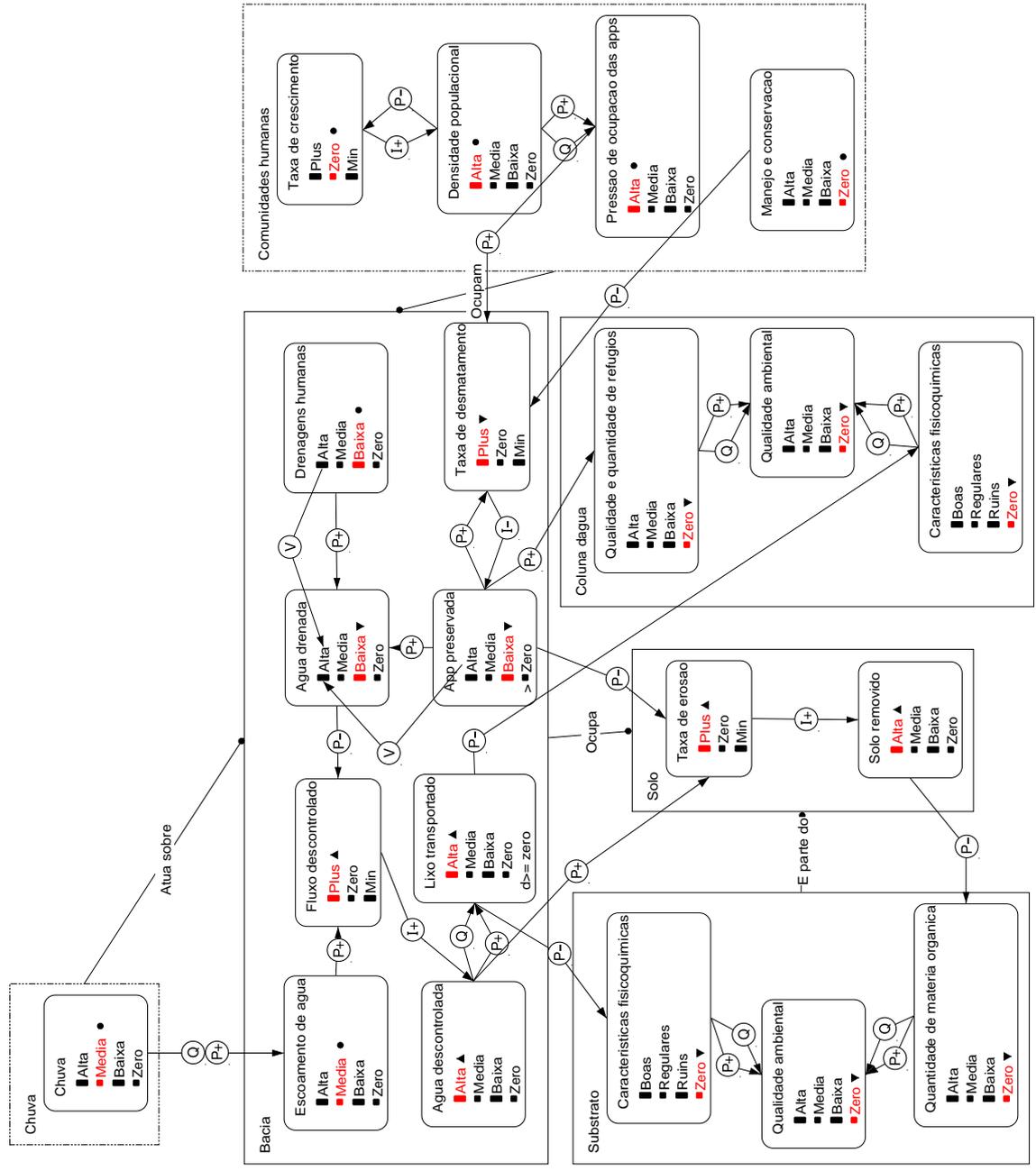
Explique sua resposta:

Cenário de simulação sobre vários fatores influenciando a qualidade ambiental do biótopo do Pirá-Brasília

O segundo cenário de simulação mostrado aqui apresenta todos os 3 problemas envolvendo a perda de qualidade ambiental nos biótopos. O cenário inicial envolve uma comunidade humana com baixa densidade populacional e taxa de crescimento positiva. Todas as outras variáveis exógenas se mantêm estáveis; o manejo e conservação em zero, as drenagens humanas em baixas e a chuva em média.

Espera-se nesse cenário, onde a população cresce indefinidamente desacompanhada do manejo ambiental, que a qualidade ambiental do biótopo seja reduzida a zero pelos mais diversos motivos.

Modelo causal da simulação sobre vários fatores influenciando a qualidade ambiental do biótopo do Pirá-Brasília



(16) As relações de causalidade (I's e P's) mostradas na figura abaixo podem ser justificadas por conhecimentos científicos disponíveis?

1 = sim, todas

2 = algumas

3 = não, nenhuma

Explique sua resposta:

(17) As relações de causalidade (I's e P's) que não têm base científica podem ser justificadas pelo senso comum?

1 = sim, todas

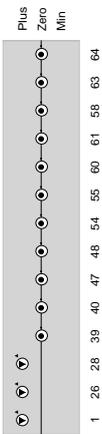
2 = algumas

3 = não, nenhuma

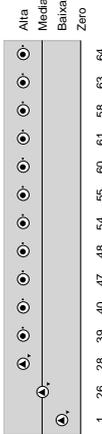
Explique sua resposta:

Valores das variáveis da simulação sobre vários fatores influenciando a qualidade ambiental do biótopo do Pirá-Brasília

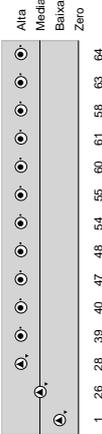
Comunidades humanas: Taxa de crescimento



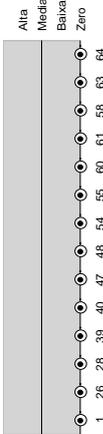
Comunidades humanas: Densidade populacional



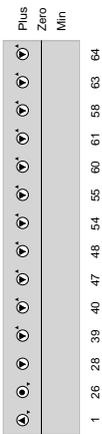
Comunidades humanas: Pressão de ocupação das apps



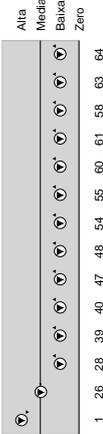
Comunidades humanas: Manejo e conservação



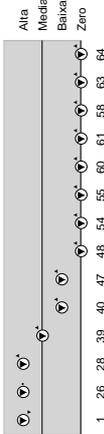
Bacia: Taxa de desmatamento



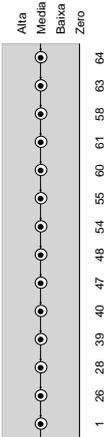
Bacia: App preservada



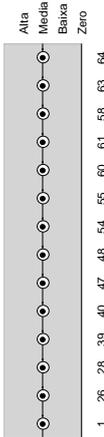
Coluna dgagua: Qualidade e quantidade de refugios



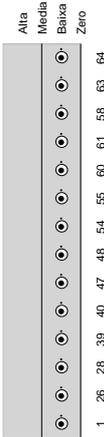
Chuva: Chuva



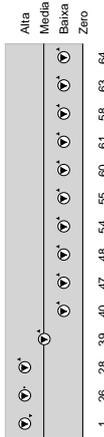
Bacia: Escoramento de água



Bacia: Drenagens humanas



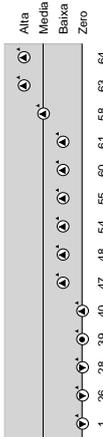
Bacia: Água drenada



Bacia: Fluxo descontrolado



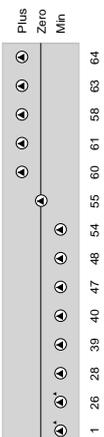
Bacia: Água descontrolada



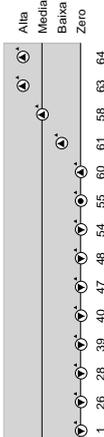
Bacia: Lixo transportado



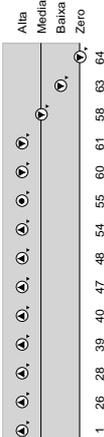
Solo: Taxa de erosão



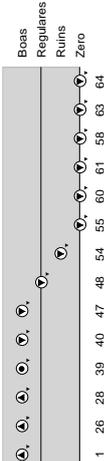
Solo: Solo removido



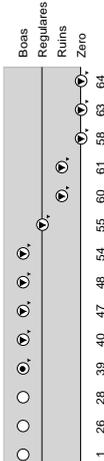
Substrato: Quantidade de matéria orgânica



Coluna dgagua: Características físicoquímicas



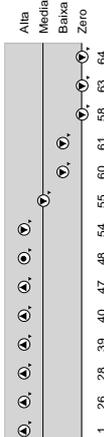
Substrato: Características físicoquímicas



Coluna dgagua: Qualidade ambiental



Substrato: Qualidade ambiental



(18) A trajetória de comportamento do sistema formada pelos estados selecionados, isto é, o conjunto de mudanças observadas no sistema ao longo do tempo, corresponde a trajetória que se espera observar no sistema em condições naturais?

Entidade	Quantidade	Corresponde a trajetória esperada?		
COMUNIDADES HUMANAS	Taxa de crescimento	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Densidade populacional	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Manejo e Conservação	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Pressao de ocupacao das apps	1 = sim	2 = talvez	3 = não
BACIA	Fluxo descontrolado	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Taxa de desmatamento	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Água descontrolada	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Água drenada	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	APP preservada	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Área permanentemente alagada	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Áreas úmidas suprimidas	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Biodiversidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Drenagens humanas	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Escoamento de água	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Lixo transportado	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Biodiversidade	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Drenagens humanas	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Escoamento de água	1 = sim	2 = talvez	3 = não
Lixo transportado	1 = sim	2 = talvez	3 = não	
CLIMA	Chuva	1 = sim	2 = talvez	3 = não
SOLO	Solo removido	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Tx de erosão	1 = sim	2 = talvez	3 = não
SUBSTRATO	Quantidade de matéria orgânica	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Características físico-químicas	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Qualidade ambiental	1 = sim	2 = talvez	3 = não
MASSA D'ÁGUA	Qualidade ambiental	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Características físico-químicas	1 = sim	2 = talvez	3 = não
	Qualidade e quantidade de refugios	1 = sim	2 = talvez	3 = não

Se desejar, explique sua resposta:

(19) Os valores assumidos pelas quantidades na trajetória de comportamento do sistema estão corretos?

1 = sim, completamente 2 = parcialmente 3 = não, de modo algum

Explique sua resposta:

(20) É possível explicar o comportamento do sistema com base no fluxo da causalidade representada no modelo causal e nos valores das quantidades?

1 = sim, completamente 2 = parcialmente 3 = não, de modo algum

Explique sua resposta:

PERGUNTAS GERAIS

Por favor, se possível, explique suas respostas

(21) Modelos qualitativos apresentam o conhecimento de uma maneira compreensível para gestores e para o público em geral (nível educacional correspondente ao ensino médio)?

1 = sim 2 = parcialmente 3 = não

(22) A abordagem do Raciocínio Qualitativo permite uma representação clara de fenômenos reais, como o ciclo de vida e a degradação de habitats de peixes anuais?

1 = sim 2 = parcialmente 3 = não

(23) O Raciocínio Qualitativo e o GARP3 podem servir como uma ferramenta adequada para entendimento de relações causais verdadeiras, relacionada a problemas ambientais e estratégias de conservação?

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(24) O modelo apresentado pode contribuir de maneira significativa para o entendimento de tomadores de decisões e outros atores sobre as entidades e processos relacionados ao ciclo de vida da espécie e aos problemas ambientais enfrentados pela mesma.

1 = sim

2 = parcialmente

3 = não

(25) Qual a parte do modelo mais interessante pra você?

(26) Qual a parte do modelo deveria ser aprimorada?

(27) O modelo pode ser utilizado por formuladores de políticas públicas com o propósito de elaborar programas de conservação e recuperação para a espécie?

(28) Para que propósitos você acredita que esse tipo de abordagem possa ser mais adequados?

- e) Integração entre atores
- f) Aulas universitárias

- g) Tomada de decisão
- h) Outras (especificar)

(29) Comente a possibilidade de usar os modelos qualitativos sobre o ciclo de vida do Pirá-Brasília e os fatores ambientais influenciando os biótopos nas seguintes situações:

Pesquisa:

Programas de conservação da espécie alvo

Programas de conservação para outras espécies de peixes anuais

COMENTÁRIOS FINAIS:

(30) Outros comentários:
