

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS PESQUEIRAS NOS
TRÓPICOS – PPG-CIPET

OS EFEITOS DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE A PRODUÇÃO DE
JARAQUIS (*Semaprochilodus spp*) DESEMBARCADOS NA CIDADE DE
MANAUS - AM

MÁRCIA MELO RAMOS

MANAUS - AM

2016

MÁRCIA MELO RAMOS

**OS EFEITOS DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE A PRODUÇÃO DE
JARAQUIS (*SEMAPROCHILODUS* SPP) DESEMBARCADOS NA CIDADE DE
MANAUS - AM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos - CIPET/UFAM, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências Pesqueiras nos Trópicos.

Área de concentração: Uso Sustentável de Recursos Pesqueiros Tropicais.

Linha de Pesquisa: Ecologia de Recursos Pesqueiros e Ambientes

Orientador: Carlos Edwar de Carvalho Freitas, Dr.

Co-orientadora: Lucirene Aguiar de Souza, Dra.

MANAUS - AM

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

R175o Ramos, Márcia Melo
Os efeitos de alterações ambientais sobre a produção de
Jaraquis (*Semaprochilodus Spp*) desembarcados na cidade de
Manaus - AM / Márcia Melo Ramos. 2016
80 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Edwar de Carvalho Freitas
Coorientador: Lucirene Aguiar de Souza
Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. alterações ambientais. 2. Produção pesqueira. 3. Jaraquis. 4.
Modelagem. I. Freitas, Carlos Edwar de Carvalho II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

SINÓPSE

A tese apresentou a influência dos fatores ambientais sobre a produção pesqueira desembarcada no porto da cidade de Manaus utilizando a modelagem.

DEDICATÓRIA

Dedico esta Tese ao meu filho Francisco, aos meus amados pais, Marlene e Osmar, minha grande amiga e companheira irmã, Simone e meu querido esposo, Roosevelt.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma batalha na minha vida acadêmica e a São Francisco de Assis pela busca da tranquilidade nas horas difíceis.

Ao meu orientador Prof. Carlos Edwar de Carvalho Freitas pela orientação e principalmente pelas sugestões valiosas durante essa grande jornada. Mais uma vez, agradeço imensamente meu orientador.

A minha co-orientadora Profa. Lucirene Aguiar de Souza, pela orientação, pelo estímulo, apoio, dedicação e incentivo sempre presentes.

Aos colegas do laboratório PIATAM/UFAM, especialmente a Hostília Lisboa e Liane Galvão pelos conselhos e apoio.

Toda a minha experiência acadêmica como discente só foi possível graças ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo oferecida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

O meu muito obrigada!

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar a existência de relações entre os fatores ambientais com a atividade pesqueira, estoque pesqueiro e o desembarque pesqueiro usando a modelagem de ecossistemas e entender os efeitos desses processos ambientais sobre as variáveis escolhidas. Nesta pesquisa foram buscados dados secundários de séries históricas sobre dados ambientais - desmatamento, vazão do rio Amazonas e temperatura do ar, estoque pesqueiro, produção pesqueira das duas espécies de jaraquis por meio de órgãos competentes. Todas essas informações foram alocadas para a alimentação do modelo final com a ajuda do software Stella. Cada variável foi representada por um símbolo dentro do Stella, onde foi inserida a relação funcional entre as variáveis (externas e de estado), como: funções gráficas, trigonométricas e lógicas. Os resultados da simulação mostraram cenários otimistas e pessimistas sobre a influência do desmatamento e o aumento da temperatura sobre os estoques pesqueiros indicando diminuição destes ao longo dos meses testados. Neste modelo foram realizados quatro tipos de simulações a fim de verificar o comportamento dos estoques pesqueiros em uma situação de alterações dos sistemas.

Palavras-chave: 1. Alterações Ambientais. 2. Produção Pesqueira. 3. Modelagem.

ABSTRACT

This work aimed to analyze the existence of links between environmental factors and fishing activity, stock fishing and fishing landings using the modeling of ecosystems and understand the effects of environmental processes on the chosen variables. In this research we were searched secondary data time series on environmental data - deforestation, the Amazon River flow and air temperature, fish stocks, fish production of the two species jaraquis by competent bodies. All this information was allocated to the power of the final model with the help of Stella software. Each variable is represented by a symbol in the Stella, which was inserted into the functional relationship between the variables (external and state), such as: graphic functions, trigonometric and logical. The simulation results showed optimistic and pessimistic scenarios about the influence of deforestation and the increase of temperature on fish stocks showing decline in these tested over the months. In this model were performed four types of simulations in order to verify the behavior of the fish stocks in a systems change situation.

Keywords: 1. Environmental Changes. 2. Fish Production. 3. Modeling.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	1
2. INTRODUÇÃO.....	3
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Geral.....	7
3.2. Específicos.....	7
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
4.1. O potencial pesqueiro na bacia Amazônica.....	8
4.2. A pesca das espécies do jaraqui escama fina (<i>Semaprochilodus taeniurus</i>) e jaraqui escama grossa (<i>Semaprochilodus insignis</i>).....	10
4.3. Atividade pesqueira na bacia Amazônica.....	12
4.4. A influência de fatores ambientais sobre a atividade pesqueira.....	15
4.5. Modelos tradicionais de avaliação de estoques e modelos ecossistêmicos.....	19
4.6. Modelos aplicados para avaliação da atividade pesqueira da bacia Amazônica.....	23
4.7. Ecossistemas e modelagem ecológica para avaliação da pesca na bacia Amazônica.....	25
5. MÉTODOS.....	27
5.1. Área de estudo.....	27
5.2. Coleta de dados.....	28
5.3. O modelo conceitual.....	29
5.4. A construção do modelo.....	30
5.5. Os componentes do Stella.....	31
5.6. O fenômeno de interesse e a definição das variáveis.....	33
5.7. As relações funcionais.....	33
5.8. As variáveis escolhidas.....	34
5.8.1. Impacto da vazão sobre a área de desova.....	34
5.8.2. Previsão do desmatamento anual (otimista/pessimista).....	35
5.8.3. Impacto do desmatamento sobre a área de desova.....	36
5.8.4. Impacto total sobre a área de desova.....	37
5.8.5. Capacidade de suporte.....	38
5.8.6. Vazão do rio Amazonas.....	39
5.8.7. Taxa de reposição.....	41
5.8.8. Reposição.....	42
5.8.9. Estoque pesqueiro.....	43
5.8.10. Previsão de temperatura (otimista/pessimista).....	43
5.8.11. (k) taxa de crescimento.....	44
5.8.12. L_{∞}	44
5.8.13. Taxa de mortalidade natural.....	45
5.8.14. Mortalidade natural.....	45
5.8.15. Taxa de mortalidade por pesca jaraqui escama grossa.....	46
5.8.16. Taxa de mortalidade por pesca jaraqui escama fina.....	47
5.8.17. Taxa de mortalidade por pesca total.....	48

5.8.18. Pesca.....	48
5.8.19. Produção de jaraquis.....	49
5.8.20. Consumo.....	49
6. RESULTADOS.....	48
6.1. O modelo final	49
6.2. Cenários.....	52
6.2.1. Atividade pesqueira em um cenário pessimista e otimista.....	52
6.2.2. Cenário otimista do desmatamento e temperatura sobre o estoque pesqueiro e a produção de jaraquis.	54
6.2.3. Cenário pessimista do desmatamento e temperatura sobre o estoque pesqueiro e a produção de jaraquis.....	56
6.2.4. Cenário otimista do desmatamento e pessimista da temperatura sobre o estoque pesqueiro e a produção de jaraquis.....	57
6.2.5. Cenário pessimista do desmatamento e otimista da temperatura sobre o estoque pesqueiro e a produção de jaraquis.....	58
7. DISCUSSÃO.....	57
7.1. A influência do desmatamento na produção pesqueira.....	59
7.2. A influência da temperatura na produção pesqueira.....	65
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenvolvimento histórico de modelos em ecologia

Figura 2. Localização da área de estudo (3°04'07.49"S/60°01'23.07"O).

Figura 3: Símbolos usados pelos Software Stella na representação de um estoque; fluxos com taxa de entrada e de saída; conector; conversor ou variável auxiliar.

Figura 4. Variável Impacto da Vazão sobre a Área de Desova em função da vazão.

Figura 5. Variáveis da Previsão do Desmatamento Anual (Otimista/Pessimista) em função do tempo

Figura 6. Variáveis do Impacto do Desmatamento Anual sobre a Área de Desova em função da Previsão do Desmatamento Anual (Otimista/Pessimista).

Figura 7. Função gráfica do Impacto Total sobre a Área de Desova em função dos impactos da vazão e do desmatamento.

Figura 8. Variável Capacidade de Suporte em função do Impacto Total sobre a Área de Desova.

Figura 9. Vazão m³/s do rio Amazonas

Figura 10. Vazão m³/s do rio Amazonas

Figura 11. Taxa de Reposição inserida no modelo

Figura 12: Função logística do fluxo Reposição

Figura 13. Função gráfica da simulação da temperatura Pessimista e Otimista

Figura 14. Função gráfica da taxa de mortalidade e a vazão

Figura 15. Função gráfica da taxa de mortalidade e a vazão

Figura 16: Modelo Final construído

Figura 17. Parte do modelo construído

Figura 18. Resultado do modelo com tendência otimista da pesca em função do tempo

Figura 19. Resultado do modelo com tendência pessimista da pesca em função do tempo

Figura 20. Resultado do modelo com as tendências otimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

Figura 21. Resultado do modelo com as tendências pessimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo

Figura 22. Resultado do modelo com as tendências otimista/pessimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo

Figura 23. Resultado do modelo com as tendências pessimista/otimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

1. APRESENTAÇÃO

A modelagem é uma ferramenta eficaz que pode ser usada para avaliar as relações de diferentes sistemas servindo como base para o gerenciamento pesqueiro. Nesta pesquisa foram incluídos fatores ambientais relacionados com os estoques pesqueiros na região do Amazonas procurando entender os processos que ocorrem na atividade pesqueira e na sua produção.

Na primeira parte do trabalho foi construída uma introdução concisa e uma revisão bibliográfica ampla com o objetivo de esclarecer a problemática do tema em questão, onde foram descritos os tipos de pescarias realizadas no mundo e na Amazônia e a evolução da modelagem sobre os diferentes tipos de sistemas. Para a construção do modelo da pesca e dos fatores ambientais, foi necessário buscar informações de forma expressiva e consistente possibilitando buscar conceitos, promover cenários e desenvolver alternativas para futuro gerenciamento integrado, como foi falado anteriormente.

Na metodologia foi descrita o processo de modelagem que consistiu em um modelo e a sua divisão para submodelos. Para cada variável dos submodelos foi inserida as relações funcionais, descritas como: funções gráficas, trigonométricas e lógicas. Neste tópico foram apresentados os processos de alimentação do modelo, validação e o desenvolvimento de cenários.

Na parte dos resultados foram gerados gráficos a partir dos submodelos, de tal modo, como aqueles pertencentes aos cenários verificados. Para cada submodelo foram gerados gráficos de cada variável de estado e conversores.

A discussão desempenhou a parte da validação do modelo, onde foram comparados dados de saída com as referências existentes na literatura. E finalmente, as considerações finais onde o mesmo aborda o desenvolvimento do modelo, a carência na coleta de dados, alterações ambientais, a atividade pesqueira e sugestões para que o manejo pesqueiro possa ter sucesso com a ajuda da modelagem.

2. INTRODUÇÃO

Na Amazônia, a pesca é descrita por vários autores em suas publicações que destacam o seu alto valor no contexto social, cultural, ecológico e econômico. (VERÍSSIMO, 1895; PETRERE 1978; SMITH; 1979; BAYLEY; PETRERE JR., 1989; FERNANDEZ-BACA, 1998; LEITE; ZUANON, 1991; MERONA, 1993; ALMEIDA; MCGRATH, 2003; ISAAC; BARTHEM, 1995; BATISTA; PETRERE JR, 2003; CARDOSO et. al., 2004; IBAMA, 2007; (JUNIOR, 2013) Bayley e Petrere (1989) estimaram para a bacia Amazônica uma potencialidade produtiva pesqueira entre 200 mil a 902 mil toneladas/ano explorada por uma frota pesqueira diferenciada com grande diversidade de ambientes pesqueiros e empregos de múltiplos aparelhos e métodos de captura que procede a uma produção pesqueira diversificada.

A pesca caracteriza-se como de pequena escala com predominâncias artesanais (BERKES et al., 2001), a qual pode ser identificada pelos desembarques em diferentes locais nos centros consumidores da região, em horários diferenciados, na maioria das vezes, sem controle de desembarque e sem biometria das espécies de peixes, sem ter conhecimento do que entra ou sai das feiras e mercados fazendo com que contribua em originar uma série de lacunas sobre informações da atividade, impedindo a obtenção de dados históricos que permitam auxiliar o manejo da atividade e dos recursos (FAO, 1999). Conforme Freitas (2003), as pescarias artesanais exploram uma variedade de espécies de peixes do maior ao menor porte, de preferência peixes que realizam migrações como o jaraqui (*Semaprochilodus* spp), o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o curimatã (*Prochilodus nigricans*), a matinxã (*Brycon* sp), a piramutaba (*Bachyplatystoma vailantii*), a dourada (*B. flavicans*), a piraíba (*B. filamentosum*) e o surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*).

Devido à grande importância da atividade pesqueira na Amazônia, a implantação de um manejo dos estoques pesqueiros é de grande importância. Alguns estudos relataram que as características multiespecíficas da pesca na região e o desconhecimento de aspectos da dinâmica populacional da maioria das espécies exploradas dificultam o uso generalizado de modelos tradicionais de avaliação dos estoques (SAINSBURY, 1982; MERONA; BITTENCOURT, 1988). Informações sobre a dinâmica populacional de algumas espécies permitiram a aplicação do modelo de rendimento por recruta desenvolvido por Beverton e Holt (1957) aplicado por Petrere Jr. (1983) para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), mostrando que o estoque desembarcado em Manaus de 1977 a 1978, era sobexplorado para valores de mortalidade natural maior que 0,30 anos; por Barthem (1990) para a piramutaba (*Brachyplatystoma vaillanti*) que discorreu que o estoque dessa espécie se encontrava em risco de sobrepesca de crescimento; por Isaac e Ruffino (1996) para o tambaqui (*C. macropomum*) capturado no Baixo Amazonas, onde corroboraram que, o excessivo esforço de pesca e o pequeno tamanho de primeira captura, levaram a uma sobrepesca da espécie na região; e por Isaac et al. (1998) para o caparari (*Pseudoplatystoma tigrinum*) e para o surubim (*P. fasciatum*) do Médio Amazonas, mostrando a sobexploração dessas espécies nessa região.

Outros estudos destinados a obter modelos da identificação dos fatores determinantes das capturas foram buscados por Bayley (1981) que fez comparações entre a produtividade de rios africanos e as estatísticas demográficas com dados da bacia Amazônica, no intuito de estimar o consumo anual desta última em cerca de 200.000 toneladas anuais, Petrere Jr. (1983) realizou uma análise de covariância a fim de avaliar as relações entre a captura, o esforço de pesca e a morfologia de oito rios da bacia amazônica, onde obteve como resposta o número anual de pescadores que foi a

mais importante dessas variáveis para o Estado do Amazonas e que os pescadores estavam buscando os rios de várzea mais produtivos para exercer as atividades de pesca, e, finalmente, Freitas et al. (1999) aplicaram um modelo de regressão múltipla para verificar as relações entre as capturas desembarcadas em Manaus aos fatores relacionados à pesca e os padrões ambientais, onde estas análises mostraram que as flutuações do nível do rio, os números de pescadores e de viagens foram os maiores responsáveis pelo total capturado.

Estudos mais atuais foram desenvolvidos para os peixes curimatã (*Prochilodus nigricans*), jaraqui (*Semaprochilodus* spp), surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) onde a análise desses estoques foram realizados com dados de série histórica de dez anos (FREITAS et al, 2007). E mostrou que o modelo de Fox Jr (1970) foi o que melhor se ajustou aos dados de esforço e captura para todas as espécies supracitadas, concluindo que os estoques de curimatã ainda não se encontram em regime de sobreexploração. Agora, em se tratando das duas espécies de jaraquis (escama grossa e escama fina) devem ser estudadas com mais cuidado (FREITAS et al., 2007).

A utilização de abordagens holísticas para pesquisa no que diz a respeito à exploração dos recursos naturais, especificamente o pesqueiro, parte do reconhecimento de que os problemas mais interessantes e críticos, são complexos, onde são determinados por várias variáveis (SOUZA, 2007). Desta maneira, esses problemas não podem ser resolvidos enfocando aspectos isolados de um problema maior, isso carece de uma visão mais abrangente agregando os processos naturais e humanos (COMAR, 1992). Logo, é importante realizar previsões e estabelecer cenários sobre o processo de fatores ambientais e a sustentabilidade pesqueira, levando em consideração as diversas

variáveis envolvidas no processo (STERGIOU et al., 1997). Alguns estudos mostraram que a alteração ambiental é um fator preocupante sobre os estoques pesqueiros, inclusive na pesca, tanto a nível global quanto regional (EUROPÉIA, 2007).

Os efeitos das mudanças do clima do planeta, decorrentes do aquecimento global, têm dado sinal preocupante ligado as populações humanas de diferentes países e principalmente a comunidade científica (BERTAPELI, 1937). Algumas espécies de peixes já estão sentindo os efeitos de tais alterações ambientais dos mares do Norte e Báltico (EUROPÉIA, 2007). Estudos mostraram que o aquecimento global poderá contribuir para a diminuição dessas populações por conta da complexidade de interação do clima com os ecossistemas (EUROPÉIA, 2007).

Na região Amazônica, os efeitos climáticos podem afetar o regime hidrológico (FEARNSIDE, 2012). De acordo com este autor, a região possui chuvas sazonais onde os grandes rios da bacia Amazônica apresentam ciclos de cheia e vazante e a inundação pode durar por vários meses. A previsão da diminuição significativa das chuvas da região será afetada pelas mudanças climáticas pelo menos na parte leste e nos bordos da bacia sob o efeito do acréscimo dos efeitos do El Niño e La Niña (FEARNSIDE, 2012).

De acordo com Constanza e Voinov (2001), os impactos ambientais e econômicos podem ser previstos por meio de modelagem de ecossistemas. Essa modelagem tem se apresentado como uma ferramenta eficaz para resumir as informações existentes que mais tarde poderá servir como orientação para direcionar futuras gestões. Os modelos são de extrema importância para o entendimento de sistemas, visto que eles nos permitem representar e manipular um fenômeno verídico e então explorar os resultados, fazendo previsões e construindo cenários daquele sistema

(RUTH; HANNON;1997). O modelo não pode ser considerado como um objetivo, mas como uma ferramenta simples para alcançar um determinado objetivo. Ele pode ser utilizado para estabelecer previsões, entendimento dos sistemas, geração de hipóteses que poderão ser testadas experimentalmente (FRAGOSO JUNIOR, 2009).

Este trabalho se propôs analisar a existência de relações entre os fatores ambientais com a atividade pesqueira, estoque e o desembarque das duas espécies de jaraquis (*Semaprochilodus ssp*) utilizando a modelagem de ecossistemas e entender os efeitos desses processos ambientais sobre as variáveis escolhidas.

3. OBJETIVOS

GERAL

Desenvolver um modelo dinâmico sobre o efeito de alterações ambientais na produção de peixes desembarcados no porto da cidade de Manaus.

ESPECÍFICOS

- ✓ Construir um modelo que represente os efeitos do desmatamento, da vazão do rio Amazonas e da temperatura sobre a produção pesqueira de Manaus;
- ✓ Construir cenários simulando alterações aleatórias e periódicas fora do padrão normal de fatores ambientais como o desmatamento, a vazão do rio Amazonas e temperatura afim de verificar possíveis efeitos na quantidade de pescado desembarcado na cidade de Manaus;

- ✓ Contribuir para a compreensão dos efeitos de alterações ambientais sobre os recursos pesqueiros.

4. REVISÃO DE LITERATURA

O POTENCIAL PESQUEIRO NA BACIA AMAZÔNICA

A diversidade de espécies de peixes se iguala a vastidão da Bacia Amazônica (BARTHEM; FABRÉ, 2004). Antigamente, estudos realizados por Roberts (1972) estimaram um número de espécies de peixes para toda a Bacia Amazônica que foi de 1.300 espécies, apontando um número maior ao encontrado em outras Bacias do mundo. E Kullander (1994) calculou um número bem superior, de 3.175 espécies de peixes, para áreas tropicais da América do Sul, incluindo a Amazônia. Dois anos mais tarde, Menezes (1996) avaliou que o número dessas espécies para a América do Sul, eram aproximadamente 3.000 espécies de peixes.

Santos e Santos (2005) mostraram por meio de estimativas que na Bacia Amazônica podem ocorrer aproximadamente 1.500 a 6.000 espécies de peixes. Outros trabalhos mais recentes fixam esse valor em mais de 2.000 espécies (FREITAS et al., 2012). Conforme estes autores, esse número pode estar relacionado a grande complexidade física da Bacia Amazônica, onde esse sistema se mostra favorável à adaptação de inúmeras espécies (SOARES et al., 2007; FREITAS et al., 2010; HOORN et al., 2010).

A ictiofauna da Bacia Amazônica, na sua maior parte, está composta pela superordem Ostariophysi, que agrega 85% das espécies de peixes amazônicos, destas

43% estão inclusos os peixes das ordens Characiformes, 39% dos Siluriformes e 3% os Gimnotiformes (BARTHEM; FABRÉ, 2004). As demais espécies são compostas por 14 famílias de ordens distintas (LOWE-MCCONNELL, 1987). Fato curioso dessa grande diversidade de espécies, é que somente 100 a 200 delas são normalmente comercializadas na região Amazônica e grande parte tratada de maneira peculiar, onde cada gênero recebe o mesmo nome popular, mesmo que isso facilite para o pescador, mas por outro lado dificulta o entendimento da dinâmica pesqueira, já que as espécies podem ocupar nichos diferenciados e ter comportamentos distintos na natureza (SANTOS; SANTOS, 2005).

A ictiofauna amazônica possui importantes características de acordo com a sua ecologia e categoria taxonômica, sendo algumas delas em destaque para a pesca comercial:

- As espécies da ordem **Characiformes** são em sua maioria migradoras que percorrem poucas distâncias entre os rios e lagos. Destaca-se nessa ordem o tambaqui (*Colossoma macropomum*) que, em anos anteriores pela sua abundância pesqueira podia alcançar 1 metro e 30 kg de peso e enquanto que as outras espécies em evidência comercial alcançam apenas 20 a 50 cm de comprimento, é o caso dos jaraquis (*Semaprochilodus* spp), o pacu (*Myleus* spp, *Mylossoma* spp), o curimatã (*Prochilodus* spp), o matrinxã (*Brycon* spp), etc. (SANTOS; SANTOS, 2005);
- Os **Siluriformes** por sua vez são representados pelos chamados na região de “peixes-lisos” que, em sua maioria, efetuam migrações, de até 3000 km, entre o estuário amazônico e a cabeceira dos rios de águas brancas (FABRÉ; BARTHEM, 2005). Os peixes dessa ordem com maior importância comercial

são: o surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), a dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), a piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*), a piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*). Geralmente algumas espécies tem alto valor comercial e tem sua pesca com características industriais que é o caso da dourada e da piramutaba, sendo esta última um dos bagres mais capturados pela pesca na região estuarina na costa do Pará (BARTHEM, 1990). Essa espécie encontra-se em sobrepesca de crescimento, fato notado pela contínua diminuição do tamanho médio dos indivíduos capturados (RAMOS; PEREIRA, 2011);

- As espécies de peixes comerciais que pertencem à ordem dos **Perciformes** são as seguintes: os tucunarés (*Cichla spp*), a pescada (*Plagioscion spp*), vários acarás (Cichlidae) e jacundás (*Crenicichla spp*). São espécies que possuem hábito alimentar carnívoro. O tucunaré é uma espécie muito visada a pesca esportiva, esta atividade vem se intensificando em algumas áreas da região Amazônica, principalmente nos rios de água clara e negra e nos reservatórios de hidrelétricas (SANTOS; SANTOS, 2005).

A PESCA DAS ESPÉCIES DO JARAQUI ESCAMA FINA (*Semaprochilodus taeniurus*) E JARAQUI ESCAMA GROSSA (*Semaprochilodus insignis*)

Na cidade de Manaus, o mercado comercializa duas espécies de jaraquis, o jaraqui escama fina (*Semaprochilodus taeniurus* – Valenciennes, 1817) e o jaraqui escama grossa (*Semaprochilodus insignis* – Jardine e Schomburgk, 1841) (DIAS-NETO, 2015), sendo esta última espécie responsável por 70% da produção desembarcada na cidade e 30% da primeira espécie da produção desembarcada (SANTOS et al., 2006).

Os jaraquis são amplamente distribuídos em diversos tributários da Bacia Amazônica (DIAS-NETO, 2015). São peixes detritívoros e formam cardumes com fins migratórios onde percorrem 1.000 km a 1.300 km (RIBEIRO; PETRERE, 1990). A migração é caracterizada com fins de reprodução e alimentação, que acontecem dentro dos tributários de águas pobres em nutrientes (FREITAS; NASCIMENTO; SOUZA, 2007). No começo da enchente, essas espécies quando maduras, descem os tributários para desovar nas águas do rio Solimões-Amazonas, regressando para os tributários a fim de se alimentar nas áreas de igapó (RIBEIRO, 1983).

Conforme Dias-Neto (2015), as duas espécies realizam migrações duas vezes ao ano. Sendo que a primeira migração, no início da enchente, é com intenção reprodutiva onde saem dos tributários pobres em nutrientes para desovar nos rios ricos em nutrientes. A segunda migração é realizada no intuito de dispersão, que acontece no meio do período de águas altas, quando os peixes saem dos rios subindo outros rios que são ricos em alimentação, entrando e saindo dos tributários em período de águas baixas. Como apontado por Ribeiro (1983), a reprodução acontece geralmente no encontro de rios de águas brancas e pretas, com a espécie *S. taeniurus* desovando entre os meses de novembro e janeiro, e *S. insignis* em janeiro. Conforme Dias-Neto (2015) esse período de reprodução não é, necessariamente, o período de pesca, já que as capturas são maiores durante a temporada de dispersão, que é chamada a safra do “peixe gordo”, cujo o pico acontece nos meses de maio a junho (BATISTA et al., 2012).

De acordo com Batista et al., (2012), a pesca dos jaraquis é realizada por barcos que são equipados com rede de cerco, conhecida como redinha e secundariamente com canoa que levam outros equipamentos de pesca como a rede de emalhe e rede de cerco, além de outros utensílios que vão ajudar nas pescarias.

Vale ressaltar que essas espécies são consideradas a segunda mais importante no desembarque efetuado na região, superado apenas pelo tambaqui (DIAS-NETO, 2015). Conforme este autor, é o peixe mais popular pela sua aceitação no mercado consumidor da região, especificamente, pelas populações de baixa renda. Ainda que esse recurso também ocupa a terceira posição entre as dez espécies mais capturadas da pesca continental nacional no período de 1995 a 2010 (DIAS-NETO, 2015).

A legislação dessas duas espécies, está incluída no Anexo II da IN MMA nº 05/2004 que relaciona as espécies brasileiras sobre pescadas ou ameaçadas de sobreexploração. Por conta das características desses peixes, em função do exposto, do aumento da demanda e do crescente nível de esforço de pesca, é considerado que os jaraquis se encontram em situação de sobre pesca. Por tanto, a regras gerais de gestão para as pescarias de águas interiores se faz valer para a captura dos jaraquis (DIAS-NETO, 2015).

ATIVIDADE PESQUEIRA NA BACIA AMAZÔNICA

Um quarto da produção pesqueira comercializada no Brasil vem da região da Bacia Amazônica (PROVÁRZEA, 2005). Freitas e Rivas (2006) citam que a alta produção pesqueira na região Amazônica é bastante complexa devido ao predomínio artesanal na captura de peixes e da grande variedade de apetrechos de pesca e táticas.

No Estado do Amazonas, a atividade pesqueira envolve diferentes tipos de usuários dos recursos pesqueiros, que se distinguem entre si, tanto, em relação ao objetivo das pescarias, quanto em relação às estratégias e aos níveis de organização (D'ALMEIDA, 2006). Diversos autores já classificaram os tipos de pescadores

existentes na região como: PETRERE JR. (1992); FURTADO (1993); PARENTE (1996); BARTHEM et al. (1992); LEONEL (1998); PRANG (2001); IPAAM (2001), SOUZA (2007). Contudo, de acordo com D'Almeida (2006), geralmente, pode-se agregá-los em duas classes, como: pescadores de subsistência e pescadores comerciais.

A pesca de subsistência já existia antes da Amazônia ser colonizada pelos portugueses, hoje, sendo uma atividade rotineira e praticada de modo artesanal pelas pessoas que moram em entorno de rios, paranás, igarapés e etc., (SMITH, 1979; BATISTA et. al., 1998), este tipo de atividade explora os recursos com apetrechos variados, de habitats diversificados, acessíveis e vulneráveis à pesca de acordo com as alterações da dinâmica no ritmo das enchentes e vazantes (BATISTA et al., 2004). Conforme os mesmos autores, estes pescadores atuam em sistemas aquáticos complexos, localizados a menos de uma hora de suas moradias, deslocando-se em canoas movidas a remo, na qual levam seus apetrechos de pesca.

A captura tradicional de peixes é realizada com apetrechos de pesca simples, como a linha de mão com anzol, arpão ou arco e flecha, com técnicas conhecidas há muito tempo atrás e uma parte dessas técnicas já foram descritas no final do século XIX por VERÍSSIMO (1895). A utilização de redes na pesca de subsistência não era comum, mas passou a ser utilizada a partir da década de 60, com o uso do náilon que se tornou mais acessível e prático, permitindo que a malhadeira se tornasse o aparelho de pesca mais importante nesse grupo (BATISTA et al., 2004).

Segundo Furtado (1981), uma das primeiras atividades econômicas da Amazônia colonial foi à pesca comercial. A exploração pesqueira era mais forte sobre os quelônios, especificamente a tartaruga da Amazônia (*Podocnemis expansa*), em seguida

o peixe-boi (*Trichechus inunguis*) e depois o pirarucu (*Arapaima gigas*). Com o declínio da produção da juta e da borracha, que eram os produtos básicos comercializados na região, a pesca começou a ser uma atividade constante e profissional (BATISTA et al., 2004). Com o aumento da população, houve o aumento da demanda por pescado (MCGRATH et al., 1993). A partir dessa grande demanda, cria-se o papel do pescador profissional (PETRERE, 1992), caracterizado como pescador citadino e monovalente (FURTADO, 1993), ou seja, que tem na pesca a sua única e/ou principal fonte de renda. Meschkat (1961) se referiu ao pescador profissional, como aquele que possui bom conhecimento sobre os sistemas aquáticos, a pesca e os peixes que captura, possuindo habilidades adequadas para o uso dos utensílios de pesca tradicional que emprega.

Deste modo, a pesca comercial é praticada por dois tipos de pescadores: pescadores profissionais citadinos e pescadores moradores ribeirinhos. Na primeira categoria, os pescadores atuam a partir de barcos de pesca ou pescam e vendem grande parte de sua produção. Na segunda categoria, os pescadores ribeirinhos comercializam sua produção nos mercados dos centros urbanos dos municípios do Estado, ou levam diretamente para as sedes dos municípios, transportando a produção em caixas de isopor com gelo nos barcos de linha regionais ou levam indiretamente por meio de intermediação das geleiras (BATISTA et al., 2004).

A composição do custo de produção do pescado, depende do tipo de embarcação, devido as suas características físicas, locais de pesca e duração da viagem aos pesqueiros (BATISTA, 1998; PARENTE, 1996). A estimação dos custos de produção é importante para que se garanta a aquisição de insumos como combustíveis, rancho, gelo e, em alguns casos, adiantamentos (CARDOSO et al., 2004). Os custos de

produção são compensados depois que o pescado é comercializado e o lucro do mesmo é dividido em partes conhecidas como cotas-parte, entre os envolvidos da pesca e os armadores, conforme o papel desempenhado (PARENTE, 1996).

A INFLUÊNCIA DE FATORES AMBIENTAIS SOBRE A ATIVIDADE PESQUEIRA

Uma grande fração das espécies de água doce corre grande risco de extinção sob as alterações das mudanças climáticas previstas durante e após o século 21, com a interação de fatores estressantes como a sobreexploração, poluição, modificação de habitats e espécies invasoras e alguns relatórios do IPCC discorrem sobre esse risco. Algumas espécies poderão se adaptar ao novo clima e aqueles que não conseguirem, vão diminuir em abundância ou se extinguir em parte ou em totalidade (FIELD et al., 2014).

Existe uma grande preocupação, em todo mundo, sobre os efeitos das futuras alterações ambientais sobre a pesca e a aquicultura (BELL; BATTY; GANACHAUD, 2010). Existem recentes variações no clima em escalas de tempo em anos ou décadas terem causados variações significativas na produção pesqueira. Pesquisas realizadas por Brander (2007), indicam que as fortes interações entre os efeitos da pesca e do clima sobre a população pesqueira reduz a idade, tamanho, biodiversidade do ecossistema marinho e a diversidade geográfica tornando-os sensíveis as alterações climáticas. Conforme esse mesmo autor, a pesca em águas interiores são acrescidas por mudanças na precipitação e na gestão hídrica. A frequência e a intensidade dos eventos climáticos extremos, podem ter grandes impactos sobre a produção pesqueira futura em ambos ecossistemas (marinho e de água doce) (BRANDER, 2007). Outros casos de mudanças severas nos oceanos e na sua biologia conhecido como “regime shift” pode persistir por

mais de uma década, resultando em consequências graves para os estoques pesqueiros e para produtividade pesqueira (LEHODEY et al. 2006; BRANDER, 2007).

No Brasil, a região Amazônica possui a maior floresta tropical remanescente do mundo e possui o maior sistema de água doce com alta diversidade de espécies de peixes no globo, aproximadamente 2.000 espécies de peixes já foram identificadas até agora (REIS et al., 2003). Estudos apontam que a diversidade de espécies de peixes, não só na região Amazônica, mas em todo o globo, tende a diminuir devido as mudanças climáticas afetando indiretamente a pesca (FREITAS et al., 2013). Esses autores discorrem que a pesca está associada à produtividade biológica que é a função de um conjunto de características ambientais aquáticos. Uma dessas características é o pulso de inundação que ocorre na bacia do rio Amazonas em conjunto com seus afluentes (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989) que gera uma grande alteração no aporte de nutrientes ao longo do ano (FREITAS et al., 2013). A variação do pulso de inundação se dá entre 8 a 15 metros entre os períodos de seca e cheia e essas mudanças decorrem da ação da subida e descida das águas, em quatro diferentes fases: enchente, cheia, vazante e seca (SANTOS; SANTOS, 2005).

De acordo com Freitas et al., (2013), a intensificação de inundações e temporização são contidos através de vários fatores, um deles de escala global, como no caso, o El Niño e La Niña. Ambos estão relacionados com a seca extrema (El Niño) e inundações fortes (La Niña). De acordo com esses autores, apesar da falta de modelos que descrevem a relação entre a intensidade das inundações e o sucesso das pescarias, é conhecido e as táticas de vida dos peixes amazônicos estão em perfeita sincronização com o ciclo hidrológico, como é o caso de peixes como: o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o matrinxã (*Brycon amazonicus*), o curimatã (*Prochilodus nigricans*)

entre outros Characiformes migradores. Essas espécies começam a sua migração no início do período de maior precipitação quando as águas começam a subir (VIEIRA; ISAAC; FABRÉ, 1999; FREITAS et al., 2013).

As espécies de peixes que realizam migrações no intuito de reprodução, alimentação ou trófica, de acordo com o estado do rio, desempenham uma parte de seu ciclo de vida nos ambientes lacustres no início da enchente (RIBEIRO; PETRERE, 1990; VIEIRA, 1999). Os jaraquis (*Semaprochilodus* spp) migram logo no seu primeiro ano de vida (RIBEIRO; PETRERE, 1990; VIEIRA, 1999) e enquanto o tambaqui permanece alguns anos residindo nos lagos de várzea antes de iniciarem suas migrações no rio (GOULDING, 1980; ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998; COSTA et al., 1999). Esta estratégia de vida foi possivelmente desenvolvida para garantir a colonização das larvas recém-eclodidas na planície de inundação e também da disponibilidade de refúgio e alimentação para essas espécies nessa época (FREITAS et al., 2013).

Alguns estudos apontam evidências que o clima da Terra está se alterando ultimamente do que nos anos anteriores (IPCC, 2007; FREITAS et al., 2013) resultando em possíveis efeitos para a Bacia Amazônica (SHUKLA; NOBRE; SELLERS, 1990; MALHI et al, 2008) e estes resultados incluem mudanças no fluxo de nutrientes dos sistemas fluviais (IPCC, 2007). Outro exemplo é o aumento da temperatura nos sistemas aquáticos, que resulta na migração de algumas espécies de peixes para os ambientes mais frios, como o que acontece com as populações de algumas espécies de plantas que deixam de nascerem em áreas mais baixas e começam a germinar em altitudes mais elevadas (VAL; ALMEIDA-VAL, 2008).

Com o aumento da temperatura no ambiente aquático os peixes podem sofrer consequências sub-letais por meio de respostas fisiológicas (FREITAS et al., 2013). Conforme esses autores, as taxas de reprodução e/ou crescimento da população de peixes podem ser afetadas pelas condições ambientais já que da temperatura do corpo do organismo aquático está diretamente influenciada pelo meio (FICKE et al., 2007). Quando há uma mudança no ambiente, os efeitos da temperatura tende a crescer e pode ser percebível em nível de comunidade e população (FREITAS et al., 2013) e dessa forma, a produção pesqueira poderia ser comprometida.

Alguns pescadores da costa do Pará relataram que o aumento da temperatura da água influencia muito na atividade pesqueira fazendo com que haja diminuição nas capturas da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) (RAMOS, 2010). Outro fator importante levantado para essa região é que alguns locais de desembarque estão mudando constantemente devido à forte erosão provocada pelo aumento do nível das águas na baía do Marajó (RAMOS, 2010). De acordo com Vermeer e Rahmstorf (2009), foi estimado um aumento do nível do mar entre 0,75 metros a 1,90 metros até o final do século XXI (FICKE; MYRICK; HANSEN, 2007).

É sabido que conhecemos muito pouco sobre a biologia e fisiologia dos peixes Amazônicos. Contudo, precisamos estudar o efeito dos processos oriundos de mudanças climáticas sobre a biodiversidade, apesar de algumas espécies terem desenvolvido adaptações ao longo do processo evolutivo, resultando na intensificação ou redução de tais efeitos nas variáveis climáticas (VAL; ALMEIDA-VAL, 2008).

MODELOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO DE ESTOQUES E MODELOS ECOSSISTÊMICOS

Em Ecologia, quando se busca determinar o sistema a ser modelado pensa-se em três níveis de acordo com a sua hierarquia: população, comunidade e ecossistema. Foi seguindo esta sequência que a modelagem ecológica deu o primeiro passo na história da modelagem (ANGELINI, 1999) (Figura 1). De acordo com o mesmo autor, foi dessa maneira que o primeiro modelo matemático emprestado a Ecologia, o modelo de Malthus (1798), se propôs a prever o crescimento populacional. Ele é baseado numa equação diferencial muito simples, como:

$$dN_t / dt = r * N_t \quad \text{para } t=0 \text{ e } N_t=N_0 \quad (1)$$

Com a solução analítica:

$$N_t = N_0 * \lambda^t \quad (2)$$

Onde:

N_t = número de indivíduos da população no instante t ;

N_0 = número inicial de indivíduos da população;

$\lambda = e^r$ = razão finita de aumento populacional;

r = razão intrínseca ($r = b - d$, onde: b é a taxa de nascimento e d é a taxa de mortalidade).

Esta equação é também conhecida como a equação de crescimento geométrico. Segundo estudos desenvolvidos por Malthus a população humana cresceria de forma geométrica enquanto que os alimentos de maneira aritmética, ou seja, através da equação de uma reta (ANGELINI, 1999).

A importância das ideias de Malthus, que publicou no livro Ensaio sobre a população de 1798, reside na decisiva influência exercida sobre Charles Darwin em sua busca sobre a evolução das espécies. Desta maneira, a população crescendo em escala geométrica obtida por meio da equação (2), iria de maneira inevitável superar a oferta de alimentos que só poderia aumentar em escala aritmética. Depois disso, somente os mais adaptados é que sobreviveriam e deixariam descendentes.

Então, como as populações não crescem de modo indefinido seguindo o modelo malthusiano, a equação 1 foi modificada por Verhulst (1838), passando a ser conhecida como equação logística, que será descrita a seguir:

$$dN_t / dt = r * N_t * (1 - N_t/K) \quad \text{para } t=0 \text{ e } N_t=N_0. \quad (3)$$

Cuja solução analítica é dada por:

$$N_t = K / (1 + ((K - N_0)/N_0) * e^{-rt}) \quad (4)$$

O parâmetro K é assíntota da curva que representa o número máximo de indivíduos que a população pode ter, por conta das imposições do ambiente como a falta de espaço ou de alimento. Este parâmetro é chamado de capacidade de suporte. Outro modelo que ficou famoso na ecologia foi o modelo de predador-presa que foi formulado por Lotka (1925) e Volterra (1926; 1931), independentemente.

As equações deste modelo descrevem modificações oscilatórias em duas populações que interatuam:

$$dN_1 / dt = r_1 * N_1 - (k_1 * N_1 * N_2) \quad (5)$$

$$dN_2 / dt = k_2 * N_1 * N_2 - (d_2 * N_2) \quad (6)$$

Onde:

N_1 - número de presas;

N_2 - número de predadores;

r_1 = razão intrínseca de aumento de presas;

d_2 = coeficiente de mortalidade dos predadores;

k_1 e k_2 = constantes.

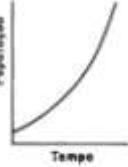
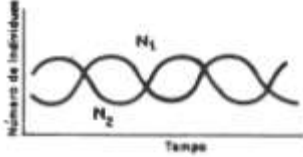
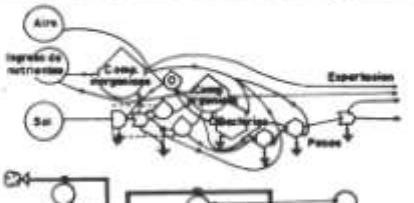
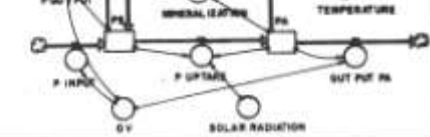
Nível Hierárquico	MODELO	AUTOR	DATA
População		Malthus	1798
		Verhulst	1838
Comunidades		Lotka & Volterra	1925, 1926
		Gause	1934
Ecossistemas		H. Odum & E. Odum	1960-1998
		Jørgensen	1975-1998

Figura 1. Desenvolvimento histórico de modelos em ecologia.

Fonte: Angelini, 1999.

Estas equações ficaram conhecidas na literatura como equações de Lotka e Volterra. Desta maneira, a modelagem ecológica subiu de hierarquia, buscando uma explicação para o comportamento de uma comunidade e não mais de uma população ou espécie. Este modelo serviu de criação para muitos trabalhos, inicialmente em experimentos de laboratório onde Gause (1934) utilizou em seus experimentos laboratoriais, somente, modelos de hipóteses de trabalho. Um ano mais tarde Tansley criaria o termo ecossistema, cujo significado desenvolveu-se rapidamente nos anos 50, por conta do aparecimento da teoria de análise de sistemas elaborada por von Bertalanffy.

No ano de 1969, Odum impôs 24 características quantificáveis aos ecossistemas, consentindo conferir seus estágios de maturidade. Na década de 80 até os dias de hoje, funções emergentes como ascendência e energia, tentam sintetizar as informações sobre fluxos de energia e biomassa em relação a um estado de clímax teórico. Estas características quantificáveis são ajudadas com usos de pacotes de programas que alguns são usados exclusivamente em ecossistemas aquáticos e/ou modelos dinâmicos. Esses modelos ecossistêmicos podem servir como base para trabalhos interdisciplinares e como ferramentas de manejo do ambiente (ANGELINI, 1999).

Souza (2007) construiu e testou modelos predador-presa adequados para indicar humanos como predadores em um sistema lacustre. Esse autor procurou dividir os predadores em dois tipos: pescadores comerciais e pescadores ribeirinhos utilizando o software Stella. Um dos modelos teve como base as equações da função logística e do clássico modelo de Lotka-Volterra, e foi chamado LV-sazonal, o segundo teve como base as equações para modelos predador-presa com resposta funcional, e foi chamado de RF-sazonal. Ainda conforme Souza (2007), o primeiro modelo resultou na criação de

cenários que mostram um ápice e um declínio iminente de valores de estoque. Já o segundo, apresenta o colapso do estoque em um período de tempo muito superior. Empregando os modelos criados foram simuladas diversas situações para constatar o desempenho dos estoques frente a mudanças nas características dos sistemas. Foi verificado que o modelo RF-sazonal mostrou resultados mais condizentes com os conhecimentos existentes sobre a natureza do sistema, sendo dessa forma mais vantajoso para sua avaliação e para previsão de efeitos de medidas de manejo.

MODELOS APLICADOS PARA AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE PESQUEIRA DA BACIA AMAZÔNICA

Os pescadores amazônicos desenvolveram táticas de captura que foram analisadas por diversos estudiosos dentro da bacia Amazônica (MESCHKAT 1961; GOULDING, 1979; PETRERE 1978; ODINETZ- COLLART 1987; CHERNELA 1989, 1994). As informações adquiridas sobre essas táticas permitem identificar pescarias distintas onde é possível aplicar modelos (MÉRONA, 1995).

Alguns trabalhos sobre modelos foram desenvolvidos para as pescarias da bacia Amazônica, o caso mais simples é quando a pesca é direcionada para único estoque e único apetrecho, é o exemplo do modelo construído para o tambaqui (*Colossoma macropomum*) capturado com a rede de cerco (PETRERE, 1983). Foi aplicado para essa espécie o modelo de rendimento por recruta e a pesquisa concluiu que a sobrepesca de crescimento era inexistente até o ano de 1978 (PETRERE, 1983). Outros estudos realizados para a mesma espécie disseram que os dados de desembarque de 1976 a 1986 foram ajustados a um modelo de produção excedente e evidenciaram que houve uma sobrepesca nos anos de 1985 e 1986 (MERONA; BITTENCOURT, 1988).

Outro modelo trabalhado é aquele que teve como foco a pesca industrial da piramutaba na região estuarina dos estados do Pará e Macapá. Os dados foram coletados nos anos de 1976 a 1980 e estes também foram submetidos ao modelo de produção equilibrada no qual não constatou a sobrepesca dessa espécie (MÉRONA, 1995).

Um dos tipos de modelos empregados para pescarias complexas são os modelos analíticos. Esse tipo de modelo foi empregado para a pesca do mapará (*Hypophthalmus edentatus*) no baixo Tocantins. Onde essa população pesqueira é explorada por dois tipos de técnicas: malhadeira de deriva e redes de bloqueio, a primeira é utilizada para captura de peixes maduros durante e logo após a reprodução e a segunda, explora os cardumes imaturos na subida do rio (CARVALHO, 1978, CARVALHO; MÉRONA, 1986; MÉRONA, 1995).

Nas pescarias multiespecíficas é possível trabalhar com modelos lineares. Um exemplo desse tipo de pesca é aquelas executadas nos lagos de várzea na Amazônia Central (MÉRONA; GASCUEL, 1993). Esses tipos de modelos são trabalhados a partir de dados de séries históricas.

Trabalhos mais recentes sobre o uso de modelagem foram desenvolvidos para a região da bacia Amazônica, mais precisamente no baixo Solimões. É o caso da utilização de modelos para avaliar a sustentabilidade da atividade pesqueira de subsistência desenvolvido por (SOUZA, 2003). Este autor concluiu que o modelo é apenas a direção para propor os pontos que devem ser investigados e discutidos para que possa ter um entendimento do sistema e suas relações. Em outro trabalho, a mesma autora aplicou técnicas de modelagem de ecossistemas agregando o conceito da capacidade de suporte do ambiente a fim de avaliar a sustentabilidade da pesca em lagos

de várzea da Amazônia (SOUZA, 2007). Este mesmo autor testou modelos predador-presa incluindo humanos como predadores em lagos de várzea. Esses predadores foram divididos em pescadores ribeirinhos e comerciais e concluiu que as relações predador-presa contribuem para melhorar a compreensão sobre as interações entre os componentes testados e o funcionamento do sistema (SOUZA, 2007). Portanto, é imprescindível utilizar modelos para viabilizar a gestão na atividade pesqueira da bacia Amazônica.

ECOSSISTEMAS E MODELAGEM ECOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA PESCA NA BACIA AMAZÔNICA

Odum (1988) definiu ecossistema como sendo uma unidade funcional fundamental na ecologia, pois está inclusa nos ambientes bióticos e abióticos. Cada unidade funcional vai influenciar nas propriedades da outra e cada uma tem a necessidade de manter a vida, é o exemplo da Terra. Os ecossistemas são sistemas abertos que incluem as variáveis de entrada e saída que devem ser analisadas como partes imprescindíveis do mesmo (ODUM, 1988). Angelini (1999) discorreu que vários autores aceitam que os ecossistemas evoluem e desenvolvem. Com o passar do tempo várias análises de redes tróficas foram se aperfeiçoando e surgiram outras formas de pensamento sobre amadurecimento de ecossistemas (WULFF, et al. 1989; HIGASHI; BURNS, 1991; ULANOWICZ, 1986; ANGELINI, 1999).

A modelagem ecológica está relacionada com os processos ecológicos e com o conjunto de todos os seres vivos de uma região (biota) do ecossistema (FRAGOSO JUNIOR, 2009). Um modelo ecológico, em ecossistemas aquáticos, deve refletir nos processos referentes à cadeia alimentar aquática, a dinâmica dos organismos aquáticos e

a sua influência nos aspectos químicos e físicos do ambiente. Conforme Fragoso Junior (2009), esses modelos podem ser avaliados como ferramentas para identificar estressores antrópicos em sistemas naturais, seus efeitos ecológicos e as características biológicas. Portanto, os modelos ecológicos podem dar uma resposta para avaliações unificadas de ecossistemas aquáticos e podem prover uma aproximação mais realista dos prejuízos causados por uma determinada atividade no meio ambiente (FRAGOSO JUNIOR, 2009).

Os ecossistemas são sistemas complexos, para tanto se utiliza a análise de sistemas para o seu entendimento, este método vai permitir que os fenômenos complexos sejam representados em partes elementares, viabilizando a aplicação de métodos quantitativos (VON BERTALANFFY, 1977). Este tipo de entendimento defendida por von Bertalanffy tem como propósito definir os ecossistemas em um momento como forma de estruturação de pensamento (ANGELINI, 1999). Essa estruturação de pensamento, em estágio atual, consiste na aplicação de métodos quantitativos nestes sistemas, é o chamado de modelagem matemática. Um modelo matemático é qualquer representação de um sistema, mas é a modelagem matemática que vem se tornando uma ferramenta eficaz para fazer previsão de alterações nos ecossistemas (STARFIELD; BLELOCH, 1986). Estes modelos estabelecem a compreensão dos sistemas e ideias fazendo uma avaliação dos dados observados, fornecendo o entendimento das ligações entre os componentes e realizando previsões (ANGELINI, 1999).

O modelo matemático é uma ferramenta desenvolvida para ajudar a entender o comportamento de um determinado ecossistema, avaliando os efeitos de diferentes ações naturais, antrópicas, climáticas e a influência mútua entre os estressantes

(FRAGOSO JUNIOR, 2009). As características climáticas e ambientais da região Amazônica, especificamente os ciclos de precipitação e enchente dos rios, influenciam a ecologia geral dos peixes, na sua distribuição e, conseqüentemente no padrão da pesca, afetando também o comportamento do pescador (SANTOS; SANTOS, 2005). Diante disso, da indústria até o consumidor, como componentes finais da cadeia produtiva do pescado, acabam sendo atingidos de certa maneira por alterações no ecossistema aquático. As interações entre variáveis ambientais, antrópicas e pesqueiras. Essas informações são importantes não somente para a compreensão ecológica, mas também para uma busca de entendimento amplo das variáveis ambientais, buscando conceitos gerais e inclusão de medidas de manejo dos recursos pesqueiros amazônicos (SANTOS; SANTOS, 2005).

5. MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área estudada foi a cidade de Manaus que está localizada na confluência dos rios Negro e Solimões (Figura 2). De acordo com os dados do IBGE (2010), Manaus possui uma área de 11.401 km², representando 0,7258% do Estado do Amazonas, 0,2959% da Região Norte e 0,1342% de todo o território brasileiro. Esta cidade tem como principais produtos agrícolas: banana, cacau, mandioca e dendê (Pró-várzea, 2004), e ainda, conta com o extrativismo de madeira em tora e lenha e de pescado. A cidade possui um porto de desembarque pesqueiro localizado na feira da Panair, considerado o atual e/ou único oficial (SOUZA et al., 2007). Conforme esses autores, o fato curioso da feira da Panair de ter esse nome, é pelo fato de ela ter sido usada como

pista de pouso de aviões da antiga Companhia Aérea Pan Air. O desembarque de pescado nesta feira está sob responsabilidade da FEPESCA (Federação dos Pescadores dos Estados do Amazonas e Roraima) e da SEMAGA (Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento) (SOUZA et al., 2007).

Conforme os últimos estudos realizados por Gandra (2010), são desembarcados aproximadamente 39 mil toneladas/ano de pescado advindos da pesca artesanal comercial, dados estes coletados em 2009. A cidade de Manaus recebe o pescado da maior parte da Bacia Amazônica (FREITAS, cp).

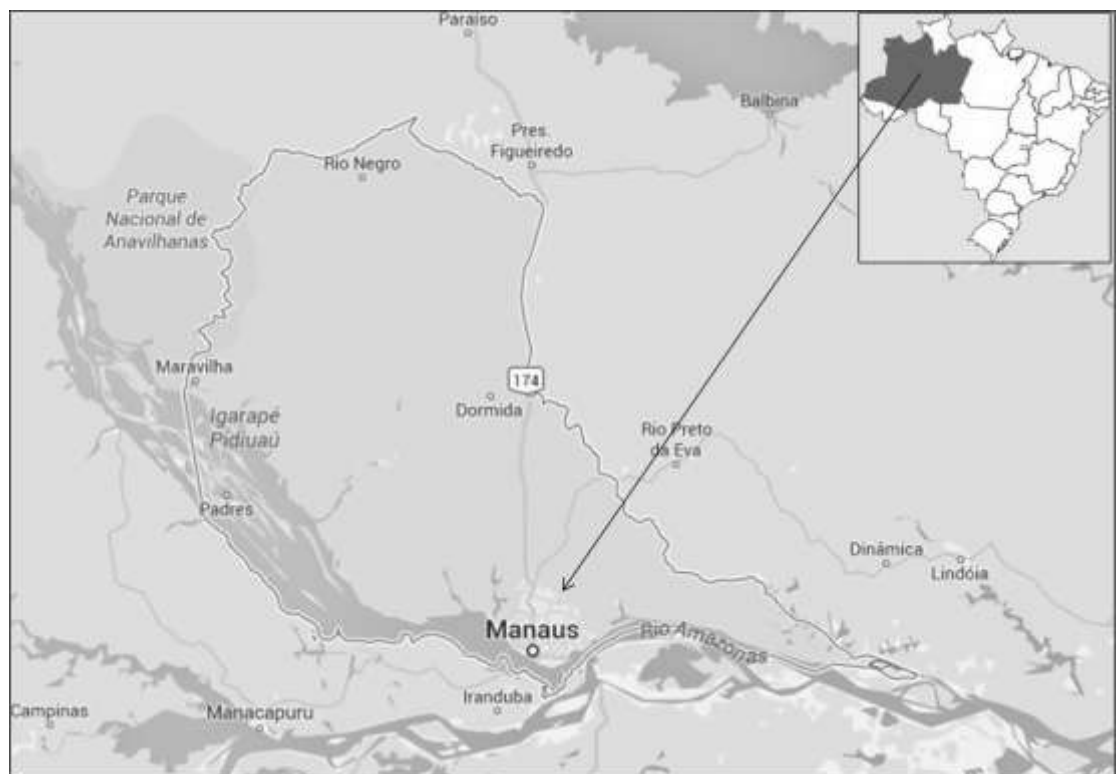


Figura 2. Localização da área de estudo (3°04'07.49"S/60°01'23.07"O).
Fonte: Google Earth, IBGE, 2016.

COLETA DE DADOS

Para as informações de pesquisa foram coletados dados secundários de séries históricas, como: desembarque pesqueiro da cidade de Manaus, e para complementar tais dados, também, foram retiradas informações de desembarque pesqueiro do Estado do Amazonas; vazão do rio Amazonas; dados de desmatamento e temperatura no Amazonas. Esses foram coletados mediante pesquisas nos órgãos competentes [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Agência Nacional de Águas (ANA), Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH - ANA), Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Colônia de Pescadores da Cidade de Manaus (Z-12), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretaria de Estado de Planejamento e Desenvolvimento Econômico (SEPLAN), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)]. Todas essas informações foram alocadas para a alimentação do modelo final.

O MODELO CONCEITUAL

De acordo com Odum (1988), as construções dos modelos são feitas por vários motivos. Eles se ajustam a uma definição simplificada e abstrata de algum sistema e poderão ser empregados somente para dar direção aos esforços de pesquisas ou determinar um problema para um estudo mais planejado.

De uma maneira menos complexa, o modelo de um sistema é uma reprodução da realidade sempre na sua forma de simplificação (SOUZA, 2007). Também pode ser comparado como um processo de mapeamento, idêntico ao processo geográfico onde terra é o sistema a ser simulado (GOODALL, 1972). A forma básica da construção de

um modelo se insere inicialmente na observação humana da realidade sobre o sistema que se pretende modelar (SOUZA, 2007). A definição do modelo conceitual é o primeiro passo dentro do procedimento de modelagem, nesta fase foram escolhidas e combinadas uma série de variáveis objetivando descrever o sistema (SOUZA, 2007). Este processo deve anteceder qualquer coleta de campo (GOMES; VARRIALE, 2001), pois a partir da diagramação dessas variáveis serão definidos os dados que suprirão as necessidades de variáveis do modelo.

A CONSTRUÇÃO DO MODELO

A modelagem usada para a construção do modelo tem a direção metodológica adotada por Fragoso Júnior (2009). Conforme este autor, existem inúmeros métodos com diferentes números de etapas, porém, o importante é que cada método considere os objetivos de suas características do problema. De acordo com Souza (2007), no modelo, é importante considerar as variáveis por meio de seus fluxos energéticos, as fontes, os pontos de armazenamento, as perdas (descargas) e as trocas entre as variáveis. Logo, para este estudo, foram escolhidas as variáveis a partir das informações do sistema, envolvendo componentes ambientais, ecológicos e pesqueiros, suas funções e as interações entre eles, tornando assim possível montar o Modelo Conceitual.

Neste trabalho foi utilizado Software STELLA (RUTH; HANNON, 1997), que é um pacote exclusivamente desenhado para modelagem de sistemas dinâmicos e balanceados (CONSTANZA; VOINOV, 2001; SOUZA, 2007). O programa Stella®, resolve suas funções por meio de equações diferenciais, e o modelador pode optar por um método numérico para resolvê-las (ANGELINI, 1999). Para esse modelo foi utilizado o sistema de derivação Runge-Kutta que é apropriado para sistemas

submetidos a oscilações periódicas (RUTH; HANNON, 1997). Para a construção da simulação foi utilizada a unidade de tempo em meses, para que possa refletir melhor as oscilações do ciclo hidrológico. Dessa forma o modelo foi rodado por 600 meses, equivalente a 50 anos. O Δt que descrevia melhor as variações em função do tempo foi de 0,25, dessa forma as unidades inseridas no modelo foram ajustadas para variarem adequadamente.

OS COMPONENTES DO STELLA

O STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) (RICHMOND et al., 1987) pode ser traduzido da seguinte forma: Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico. Atualmente está disponível uma versão demonstrativa do STELLA para Windows que pode ser encontrada no seguinte endereço <http://www.hpsinc.com/education/new-stella.htm>. É documentado em bibliografia técnica disponível em "High Performance Systems, Inc." (HPS, 1993).

O STELLA utiliza símbolos aplicados para fazer simulações das variáveis que conformam os modelos (Figura 3).

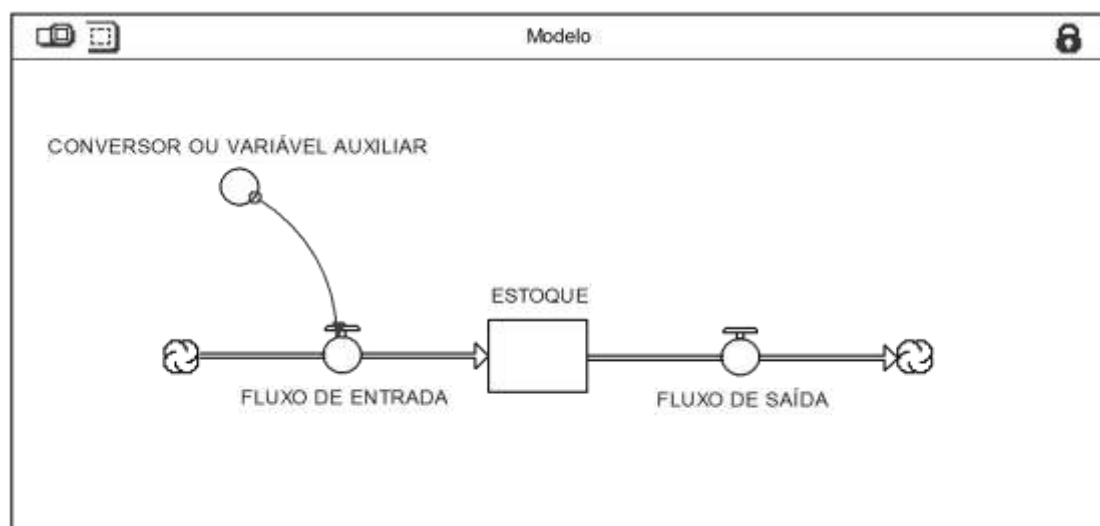


Figura 3: Símbolos usados pelos Software Stella na representação de um estoque; fluxos com taxa de entrada e de saída; conector; conversor ou variável auxiliar.
Fonte: Stella 8.0.

São três tipos de variáveis no modelo de dinâmica de sistemas: as **Variáveis de Estoque**, **Variáveis de Fluxos**, **Conversores** e os **Conectores**. Em seguida serão apresentados cada uma dessas variáveis (FRAGOSO JUNIOR., 2009):

- **As variáveis de Estoque** (Variável de Estado) são representadas por retângulos



e são variáveis de estado que expressam as principais acumulações no sistema e descreve o estado do ecossistema;

- **As variáveis de fluxo** são indicadas por válvulas  e mostram as taxas de mudanças nas variáveis de estoque que refletem as atividades que enchem ou esvaziam o estoque;

- **Os conversores** (Varáveis Externas) são indicados por , são variáveis intermediárias utilizadas para efetuar distintos cálculos (ORELLANA GONZALES, 2006; ORELLANA GONZALES, 2010; INOMATA, 2013). São funções ou variáveis de natureza que influenciam a situação do ecossistema aquático. O modelo é usado para prever a mudança no ecossistema quando

variáveis externas são alteradas no tempo e no espaço. Por exemplo, podem ser consideradas variáveis externas a entrada de carga de poluente, pesca, temperatura, radiação solar, precipitação, evaporação, fluxos da água de entrada e saída no sistema;

- **Os conectores** representados por setas  sinalizam as relações de causa e efeito intrínsecas a estrutura do modelo.

O FENÔMENO DE INTERESSE E A DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os fenômenos são processos naturais que podem ser observados ou analisados (*e.g.* eutrofização, precipitação, escoamento de rios, alteração da estrutura trófica aquática promovida por um distúrbio, etc.) (FRAGOSO JÚNIOR, 2009). Através dessa observação foi possível definir as variáveis do modelo, baseado no qual se buscou fazer o levantamento de dados do sistema. De acordo com Gomes; Varriale (2001), as variáveis devem ser definidas através da escolha dos elementos e ações ecológicas mais significantes dentro do sistema que faz parte do modelo. As informações fornecidas por meio de dados secundários e fontes bibliográficas sobre os fatores ambientais, estoque pesqueiro e a atividade pesqueira nortearam a escolha dessas variáveis.

AS RELAÇÕES FUNCIONAIS

Os processos químicos, biológicos e físicos (*e.g.* produção primária, mortalidade, nitrificação) se apresentam no modelo através de equações matemáticas, que são as relações entre as variáveis externas (Conversor) e variáveis de estado (Estoque) (FRAGOSO JÚNIOR, 2009). Estes processos podem ser encontrados em diversos ecossistemas aquáticos, mostrando que a própria equação pode ser empregada

em distintos modelos. As relações descritas acima, para cada processo, podem ser buscadas a partir de trabalhos de campo ou em literatura (JORGENSEN, 1986; SCHEFFER, 1998; FRAGOSO JÚNIOR, 2009). De acordo com Fragoso Júnior (2009), cada variável pode apresentar várias equações matemáticas dependendo do modelador, decidir qual a equação que poderá representar melhor cada processo com menor número de simplificações.

Cada variável foi representada por um símbolo dentro do Stella, onde foi alocada a relação funcional entre as variáveis (externas e de estado), como: funções gráficas, trigonométricas e lógicas.

AS VARIÁVEIS ESCOLHIDAS

IMPACTO DA VAZÃO SOBRE A ÁREA DE DESOVA

Foi estabelecida a função gráfica do Impacto da Vazão sobre a Área de Desova em função da Vazão. No eixo (x) foram alocados valores máximos e mínimos da média da vazão do rio Amazonas mostrando que quanto maior for a vazão (eixo x), menor será o impacto da vazão sobre a área de desova dos peixes (eixo y) (Figura 4).

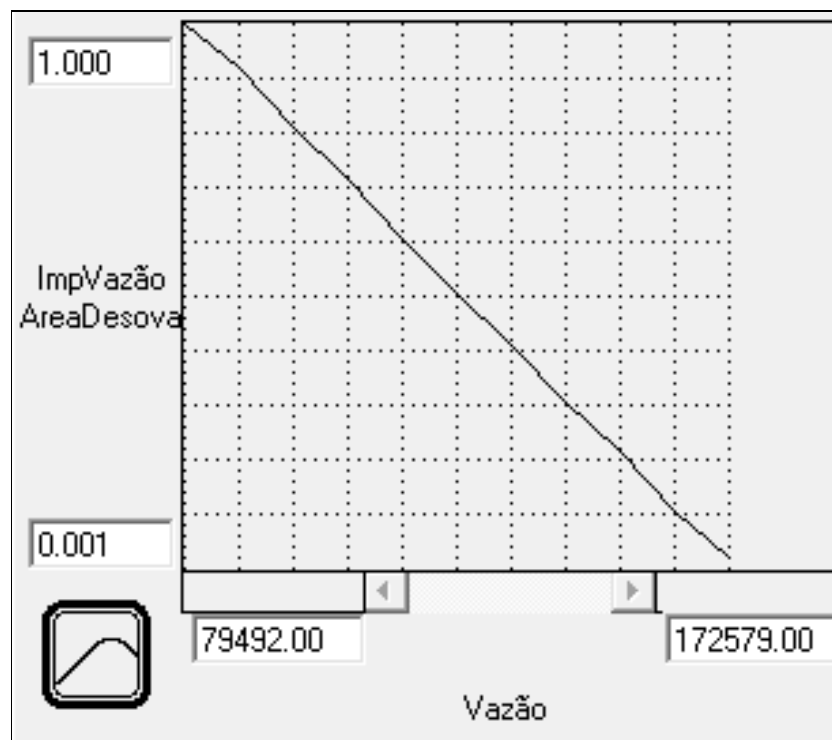


Figura 4. Variável Impacto da Vazão sobre a Área de Desova em função da vazão.

PREVISÃO DO DESMATAMENTO ANUAL (OTIMISTA/PESSIMISTA)

Foram construídas duas funções gráficas das variáveis da Previsão do Desmatamento Anual, sendo o primeiro cenário Otimista e o segundo cenário Pessimista. Cada função foi usada no modelo separadamente para avaliar cenários com maior ou menor desmatamento durante o período modelado. Estas variáveis postas ajudaram a explicar o comportamento dos estoques em frente as alterações ambientais. O valor máximo dos dados de desmatamento no Amazonas (km²) foi buscado na literatura de Fearnside et al., (2009) e o valor mínimo foi retirado do banco de dados da série histórica do PRODES/INPE. Esta variável está em função do tempo (eixo x) (Figura 5).

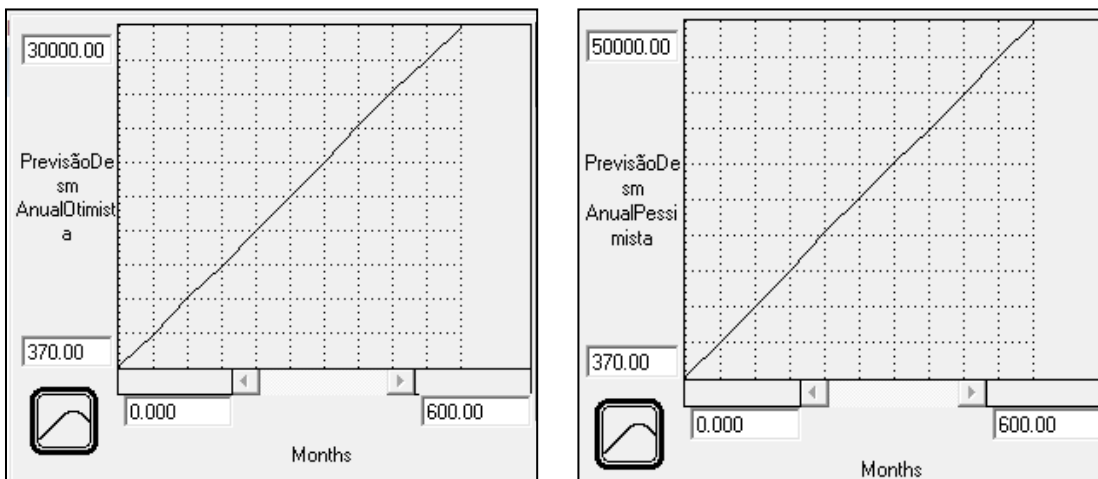


Figura 5. Variáveis da Previsão do Desmatamento Anual (Otimista/Pessimista) em função do tempo

IMPACTO DO DESMATAMENTO SOBRE A ÁREA DE DESOVA

Para a construção da variável do Impacto do Desmatamento Anual sobre a Área de Desova foram estabelecidas duas funções gráficas sendo que uma está sendo influenciada pela Previsão do Desmatamento Anual Otimista e outra pelo Pessimista (eixo x). Indicando que quanto maior for a Previsão do Desmatamento Anual, seja Otimista ou Pessimista, menor será o Impacto do Desmatamento Anual sobre a Área de Desova (Figura 6). Assim como na descrição sobre a previsão do desmatamento, cada função foi testada em modelos separadamente para avaliar cenários com maior ou menor impacto causado pelo desmatamento sobre a área de desova durante o período modelado.

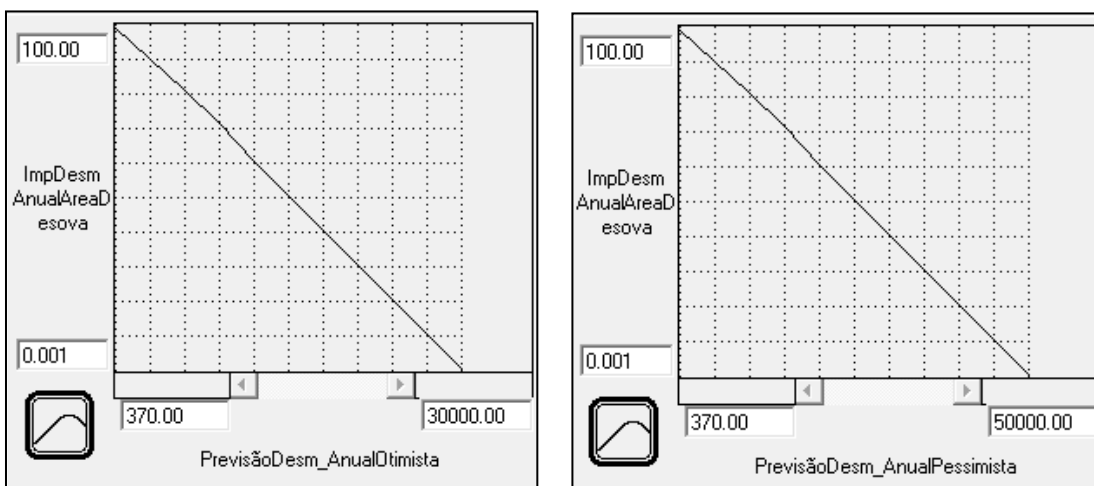


Figura 6. Variáveis do Impacto do Desmatamento Anual sobre a Área de Desova em função da Previsão do Desmatamento Anual (Otimista/Pessimista).

IMPACTO TOTAL SOBRE A ÁREA DE DESOVA

Foi construída a função gráfica do Impacto Total sobre a Área de Desova em função das duas variáveis (Impacto do Desmatamento Anual da Área de Desova mais o Impacto da Vazão na Área de Desova) dividido por dois. (Figura 7).

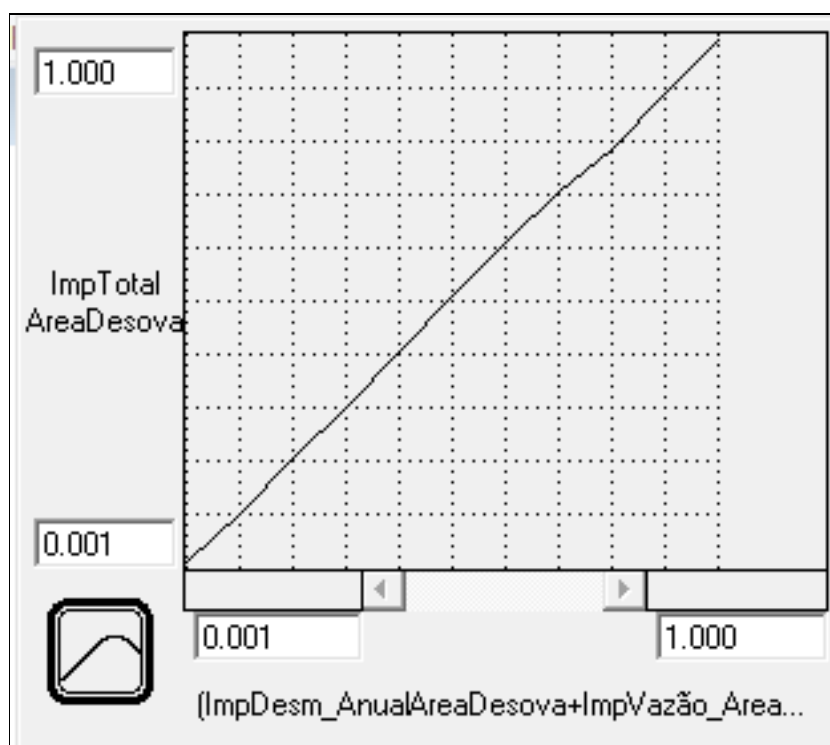


Figura 7. Função gráfica do Impacto Total sobre a Área de Desova em função dos impactos da vazão e do desmatamento.

CAPACIDADE DE SUPORTE

O K, capacidade de suporte de peixes no ambiente aquático foi estabelecido por meio de uma função gráfica, desta forma o mesmo não está estático mas muda conforme as características do sistema. Esta função gráfica foi representada pela relação entre o Impacto Total sobre a Área de Desova e os valores da capacidade de suporte. O valor máximo foi estabelecido pelo ápice da Capacidade de Suporte que foi constituído através dos valores estimados por Bayley e Petrere (1989) para o potencial pesqueiro da bacia Amazônica (eixo y) e o valor mínimo foi inserido pela metade desse potencial pesqueiro. A relação diretamente proporcional entre o Impacto Total da Área de Desova e a Capacidade de Suporte foram utilizadas para poder variar a Capacidade de Suporte, conforme as mudanças ambientais. Quanto maior for o Impacto dessa área (eixo x) menor será essa Capacidade (eixo y) (Figura 8).

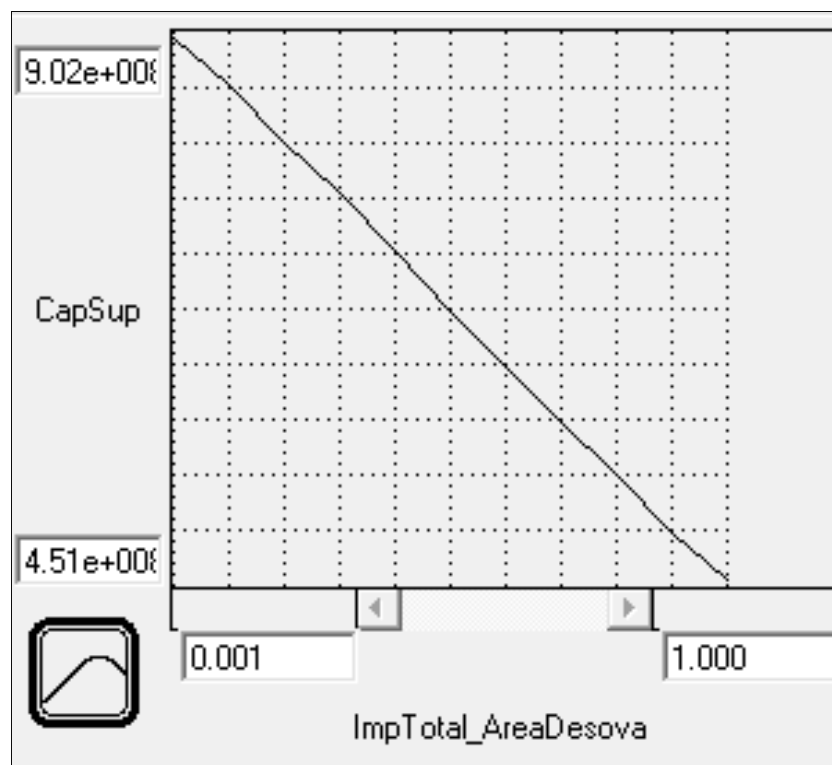


Figura 8. Variável Capacidade de Suporte em função do Impacto Total sobre a Área de Desova.

VAZÃO DO RIO AMAZONAS

Os dados mensais de vazão (m^3/s) foram retirados do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb/ANA), referente aos anos de 1977 a 2014 da estação de Óbidos, no Estado do Pará. A razão da escolha dessa estação é por se tratar de uma das principais estações de referência hidráulico-sedimentológica do rio Amazonas, a vazão líquida média é buscada respectivamente a partir de registros diários de níveis e curvas-chave ajustadas (SILVA, 2009). Acredita-se também que é nesse ponto que o rio Amazonas recebe descarga de outros principais rios da Bacia.

Assim como no desmatamento, também usou a função COSWAVE inversa, para inverter o padrão de onda. A inversão, representada pelo símbolo negativo, foi necessária para que a curva acompanhar o padrão observado nos dados de vazão, onde o início do período modelado (eixo x), correspondentes aos primeiros meses do ano, coincide com valores mais baixos de vazão (eixo y).

A equação construída foi a seguinte:

$$- \cos \left(\frac{\text{maxmédia}}{2}, 12 \right) + \frac{(\text{maxmédia})^2}{2} + \text{minmédia} + \text{qta}$$

Onde:

- coswave (amplitude, período) → representada pela função do cosseno;
- maxmédia → valor máximo da média dos dados da série histórica da vazão (amplitude);
- 12 → meses do ano (período de oscilação);

- minmédia → valor mínimo da média dos dados da série histórica da vazão;
- oscilação extrema → valor calculado a partir das médias máximas e mínimas da vazão.

Para verificar a validação da variável foi plotado no editor da planilha Excel, o gráfico construído a partir dos dados reais, para comparar com o resultado da simulação. Os dados reais mostram um aumento da vazão a partir do mês de fevereiro com o pico no mês de junho (Figura 9), o mesmo ocorre para simulação desta variável mostrando assim, que a simulação da mesma é satisfatória. O padrão da função onda cossenoide tem vários picos no meio do período de 12 meses, entre maio e agosto (Figura 10). Este padrão com maior oscilação da simulação se deve aos efeitos das oscilações extremas, observada pela relação com a variável que representa a oscilação extrema do rio Amazonas.

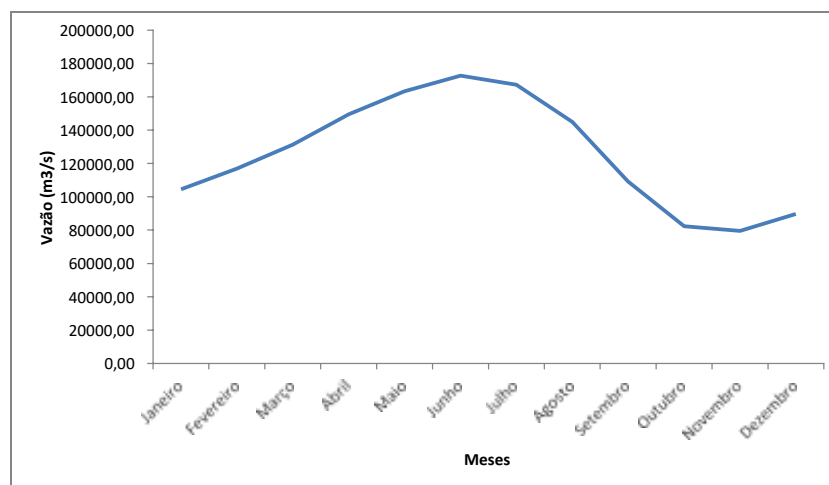


Figura 9. Vazão m³/s do rio Amazonas.

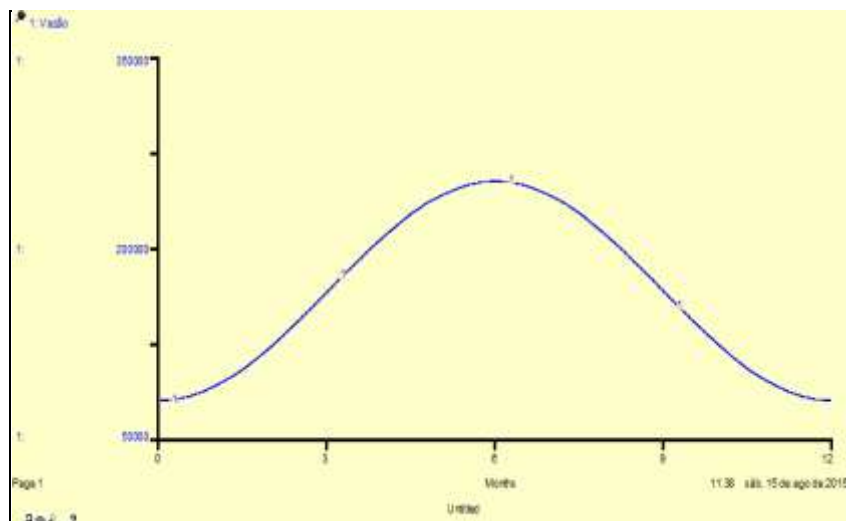


Figura 10. Vazão m³/s do rio Amazonas.

TAXA DE REPOSIÇÃO

Foi estabelecida uma função lógica para representar a Taxa de Reposição. Onde, consideramos que se vazão está acima da média, ou seja, superior a $181374 \text{ m}^3/\text{s}$ então haverá reposição da biomassa em 100% (Figura 11). A simplificação da taxa de reposição atingir 100% na cheia foi adotada pois, a maioria das espécies que são desembarcadas no porto da cidade de Manaus são migradoras, e desovam no período entre a enchente e a cheia, apesar de haver outras espécies que desovam em qualquer período do ano. Este padrão de simplificação já foi adotado anteriormente por Souza (2003; 2007), porém este autor adotou uma função gráfica com padrão diretamente proporcional entre cheia e reposição da população de peixes.

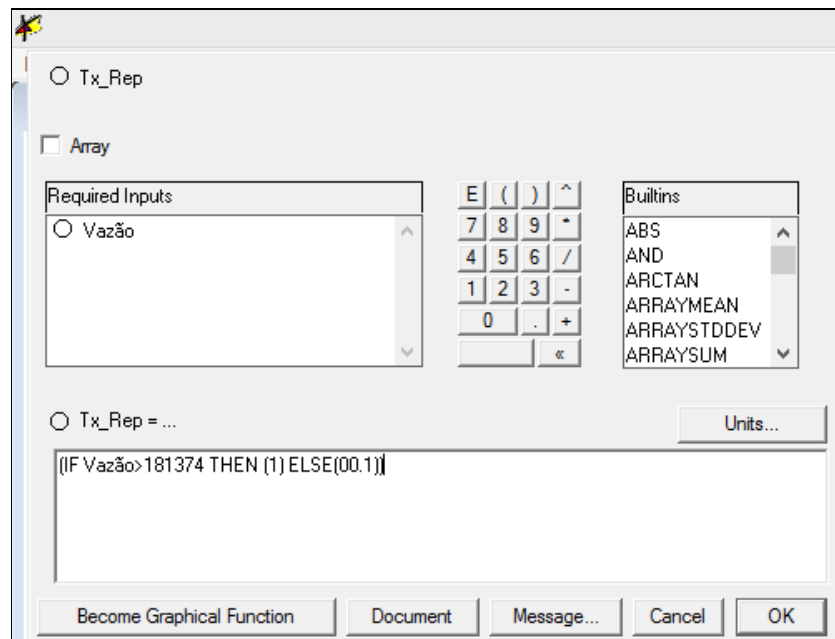


Figura 11. Taxa de Reposição inserida no modelo

REPOSIÇÃO

Foi adotada a função logística para representar o fluxo de reposição:

$$N * (R * (1 - \frac{N}{K}))$$

Onde:

$N \rightarrow$ estoque pesqueiro;

$R \rightarrow$ taxa de reposição;

$K \rightarrow$ capacidade de suporte do estoque no ambiente (Figura 12).

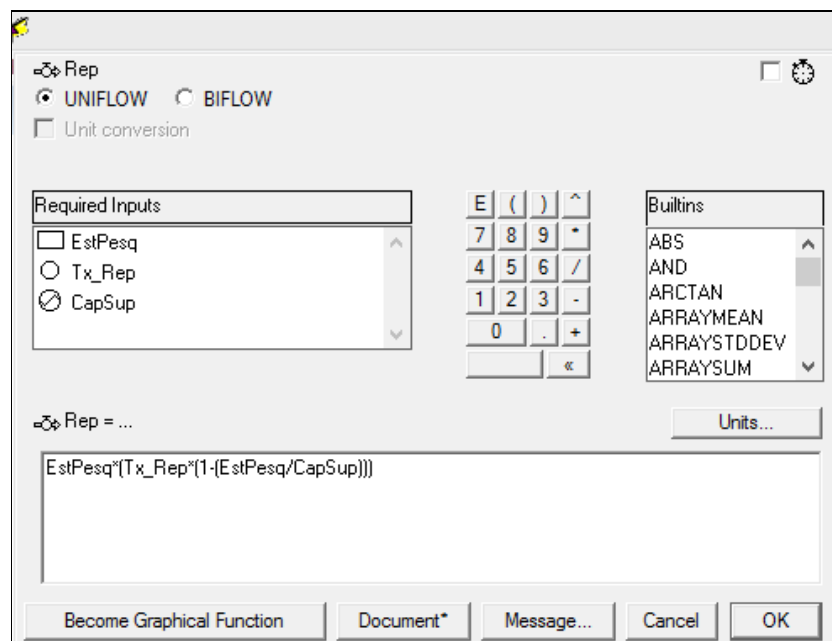


Figura 12: Função logística do fluxo Reposição

ESTOQUE PESQUEIRO

Para a construção do estoque foi estabelecido o valor inicial da produtividade estimado por Bayley e Petrere Jr. (1989), onde eles calcularam o tamanho da área produtiva da região Amazônica para poder estimar o potencial pesqueiro produtivo de todos os estoques peixes. Os valores estimados por estes autores chegaram a 902 mil/toneladas/ano em seguida este valor foi convertido por quilo e inserido no modelo.

PREVISÃO DE TEMPERATURA (OTIMISTA/PESSIMISTA)

Nesta função foram alocados para o valor mínimo a temperatura média de Manaus, retirada do banco de dados da série histórica do INMET e para o valor máximo as estimações de aumento de temperatura pessimista (4°C) e otimista (1,8°C) retirados do Relatório do IPCC (2007) até o ano de 2100. Cada um foi testado separadamente para criação de cenários de maior ou menor aumento na temperatura durante o período

testado. Foi considerado, que quanto mais o tempo passa maior será a temperatura do ar (Figura 13).

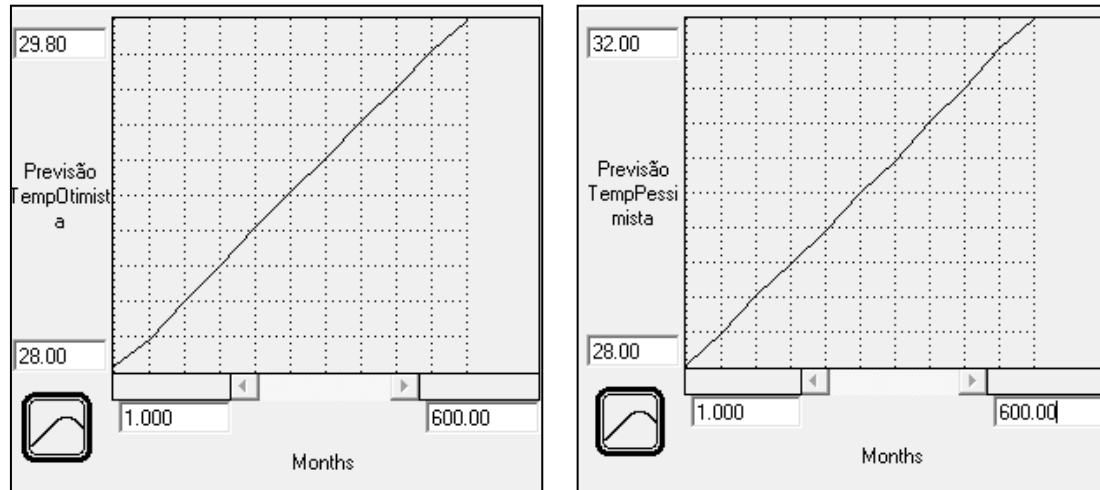


Figura 13. Função gráfica da simulação da temperatura Pessimista e Otimista.

(K) TAXA DE CRESCIMENTO

Foi dado como valor inicial, o K (taxa de crescimento) encontrado para as duas espécies de jaraquis buscado na literatura de Vieira (1999), mostrando que tanto o jaraqui escama grossa e jaraqui escama fina possuem crescimento de 0,50/ano. Onde este influenciará a Taxa de Mortalidade Natural para as duas espécies.

L_{∞}

O L_{∞} da espécie de jaraqui escama grossa foi estipulado como valor inicial e retirado na literatura de Vieira (1999). Onde este autor mostrou que o tamanho máximo desta espécie pode chegar a 28 cm. Dados para o jaraqui escama fina não foram encontrados na literatura. Por esse motivo, utilizou-se somente o valor do jaraqui escama grossa. Assim como na taxa de crescimento das duas espécies, esse L_{∞} influenciará a Taxa de Mortalidade Natural para as duas espécies.

TAXA DE MORTALIDADE NATURAL

Para a taxa de Mortalidade Natural utilizou-se a formula empírica de Pauly (1980_b), onde este autor fez uma análise de regressão de M (por ano) contra K (por ano), L_{∞} (cm) e T (temperatura média da superfície em graus centígrados), com base nos dados de 175 diferentes mananciais de peixes, e estimou a relação linear. A mortalidade natural pode ser correlacionada com a temperatura média do ambiente (Pauly, 1980_a). Para esta variável foi adotada como função a regressão múltipla:

$$\log_{10}M = -0.0066 - 0.279\log_{10}L_{\infty} + 0.6543\log_{10}K + 0.4634\log_{10}T$$

Onde:

- M é a mortalidade natural de um determinado estoque de peixes;
- L_{∞} é o tamanho máximo assintótico ou máximo teórico que um peixe pode atingir;
- K é a taxa específica de crescimento individual; e finalmente
- O valor de T que é a temperatura média anual (em C°) da água ou do ar. No caso desta Tese, foi adotada a temperatura do ar.

De acordo com o Pauly (1983) para peixes pelágicos, como é o caso dos jaraquis, a mortalidade natural é sobrestimada, nestes casos deve-se reduzir a estimativa multiplicando por 0.8, esta correção também foi feita nesse estudo.

MORTALIDADE NATURAL

Para esta variável foi constituída a função matemática. Onde multiplicou-se a variável Estoque Pesqueiro com a Taxa de Mortalidade Natural.

TAXA DE MORTALIDADE POR PESCA JARAQUI ESCAMA GROSSA

Nesta variável foi construída a função gráfica que simulou um acréscimo da taxa de mortalidade da espécie de jaraqui escama grossa em função do aumento da vazão (Figura 14). Este padrão de aumento da captura nos meses onde a água está mais alta se deve a essa espécie se tornar mais suscetível a pesca nessa época ao formar cardumes para reprodução e assim se tornam mais vulneráveis a pesca com redes de cerco principal apetrecho empregado pelos pescadores comerciais. Os dados que representaram os valores máximo e mínimo dessa taxa, foram buscados na literatura onde o coeficiente de mortalidade por pesca dessa espécie foi de $2,9 \text{ ano}^{-1}$ (BATISTA, 1998). Transformando ficou 0,29 % da média anual sendo o valor máximo e o valor mínimo é o resultado da divisão do valor máximo dividido por dois que ficou 0,15 inserido no eixo do y. No eixo x foram alocados os valores máximo e mínimo da média da vazão. E finalmente esses valores foram divididos por 4 por conta do DT no modelo que era de 0,25.

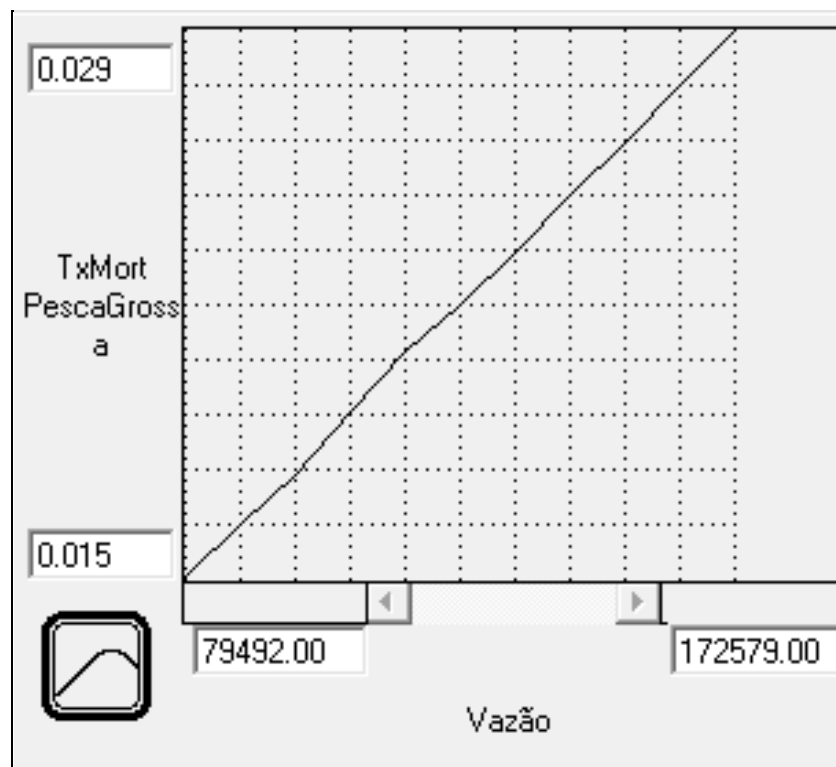


Figura 14. Função gráfica da taxa de mortalidade e a vazão

TAXA DE MORTALIDADE POR PESCA JARAQUI ESCAMA FINA

Foi construída a função gráfica da taxa de mortalidade por pesca do jaraqui escama fina em função do nível de oscilação da vazão (Figura 15). Os valores máximo e mínimo do eixo (y) foram, também, obtidos na literatura por Batista (1999). Sendo que o valor encontrado por este autor foi de $2,2 \text{ ano}^{-1}$. Assim como calculado para o jaraqui escama grossa, também foi realizado o mesmo procedimento para o jaraqui escama fina. Foi considerado que há o aumento da taxa de mortalidade do jaraqui escama fina em função do aumento da vazão do rio Amazonas.

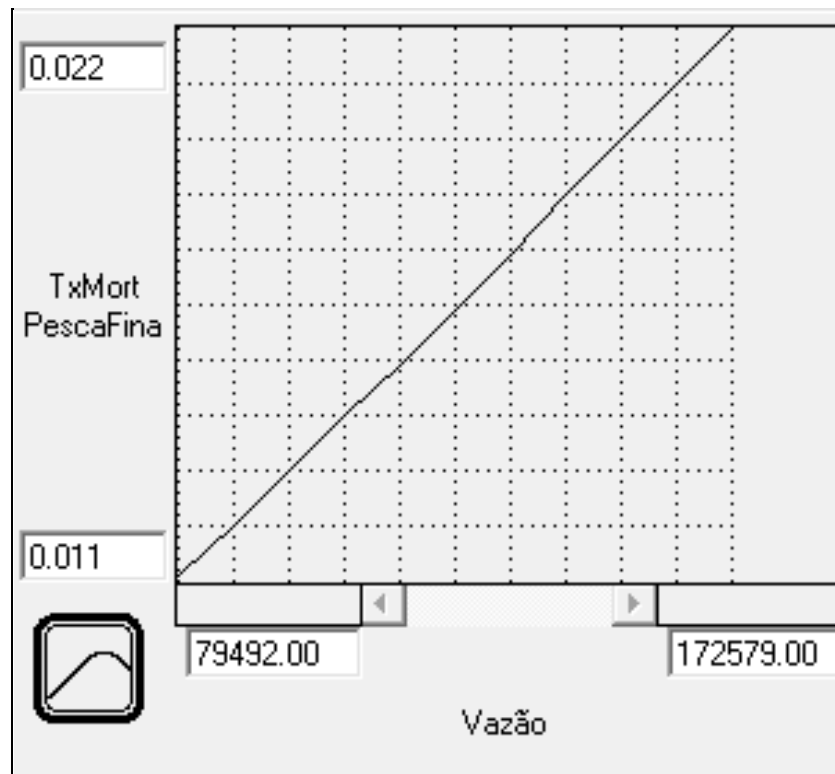


Figura 15. Função gráfica da taxa de mortalidade e a vazão

TAXA DE MORTALIDADE POR PESCA TOTAL

A função matemática estabelecida nessa variável corresponde somatória das taxas das duas espécies estudadas e divididas por dois:

$$\frac{(TxMortJaraquiGrossa + TxMortJaraquiFina)}{2}$$

PESCA

Para esta variável, a pesca foi estabelecida como uma fração do estoque, calculada a partir da multiplicação do estoque pesqueiro pelo valor a taxa total de mortalidade por pesca.

PRODUÇÃO DE JARAQUIS

Para representar a produção desembarcada das duas espécies de jaraquis buscou-se o valor médio desembarcado em quilos de série histórica (1976 a 2004) a fim de alimentar o modelo.

CONSUMO

E por final, o consumo humano será representado por um fluxo de saída, que recebe os valores de produção do jaraqui desembarcado na cidade Metropolitana de Manaus. Será considerado que todo o pescado produzido deverá ser consumido, este procedimento foi necessário para que o estoque “Produção em Manaus”, não se acumule toda a produção pesqueira do Amazonas ano após ano.

6. RESULTADOS

O MODELO FINAL

O modelo final construído apresentou as seguintes variáveis visando representar setores do sistema de interesse:

- Impacto da Vazão sobre a Área de Desova;
- Previsão do Desmatamento Anual Otimista/Pessimista;
- Impacto do Desmatamento Anual sobre a Área de Desova;
- Impacto Total sobre a Área de Desova;
- Capacidade de Suporte;
- Vazão;
- Taxa de Reposição;
- Reposição;
- Estoque Pesqueiro;

- Mortalidade Natural;
- Taxa de Mortalidade Natural;
- Previsão de Temperatura Otimista;
- Previsão de Temperatura Pessimista;
- K Crescimento;
- L_{∞} ;
- Pesca;
- Taxa de Mortalidade por Pesca Total;
- Taxa de Mortalidade por Pesca Escama Fina;
- Taxa de Mortalidade por Pesca Escama Grossa;
- Jaraqui;
- Consumo.

Cada setor do sistema de interesse foi representado por variáveis que estão conectadas entre si. E cada variável externa exerce uma influência para outra variável externa ou fluxo e o fluxo promove a entrada ou saída para dentro do estoque (Figura 16).

Os cenários construídos foram simulados por 50 anos para que pudessem mostrar o comportamento dos estoques pesqueiros, bem como o desembarque das duas espécies de jaraquis, em frente aos fatores ambientais. Esses 50 anos foram alocados em meses no intervalo de 0 a 600 para visualização de variações mensais das variáveis do modelo.

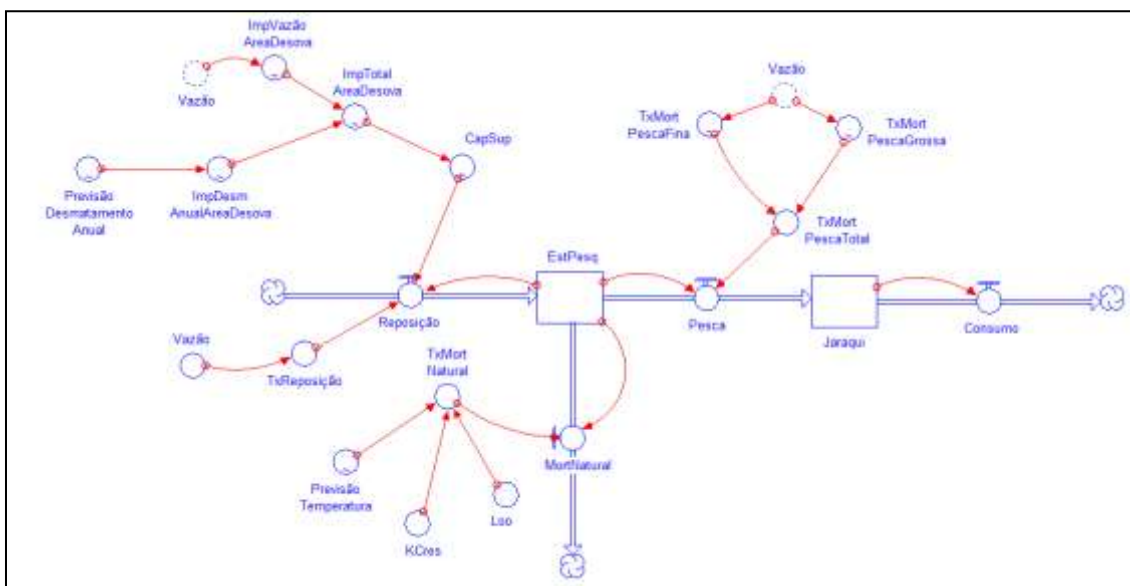


Figura 16. Modelo Final construído

Para a construção de cenários foram estabelecidos, como fatores chave, valores do desmatamento e de temperatura dentro do padrão normal (otimista) e fora do padrão normal (pessimista) para verificar possíveis alterações na produção pesqueira dos jaraquis ao longo dos meses estipulados.

CENÁRIOS

ATIVIDADE PESQUEIRA EM UM CENÁRIO PESSIMISTA E OTIMISTA

No modelo, a vazão do rio Amazonas está influenciando a mortalidade por pesca do jaraqui escama fina e grossa, em conjunto com o estoque pesqueiro, irão influenciar a pesca (Figura 17). Este padrão de aumento da captura nos meses onde a água está mais alta se deve a essas espécies se tornarem mais vulneráveis nessa época, ao formar cardumes para reprodução.

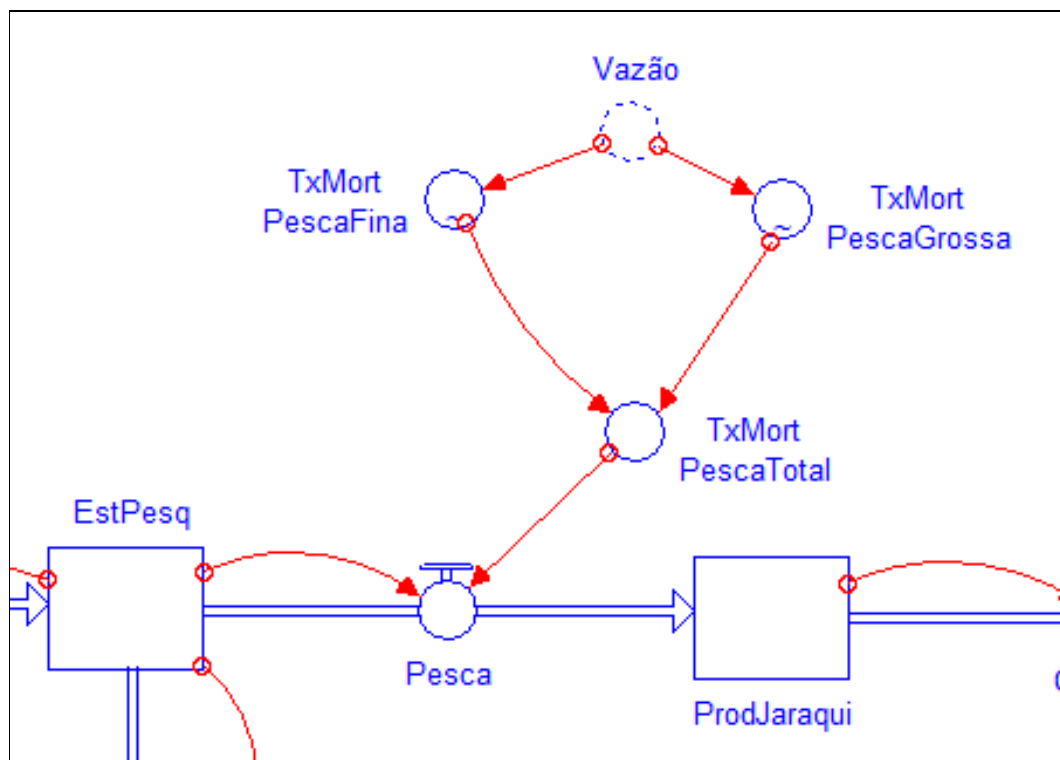


Figura 17. Parte do modelo construído.

Os resultados da pesca em um cenário otimista influenciados pela redução dos estoques pesqueiros e a taxa de mortalidade por pesca total das duas espécies de jaraquis, mostraram uma tendência da diminuição da produção da atividade pesqueira nos meses seguintes que podem ser observados na Figura 18. A partir do 3º mês a pesca começa a mostrar diminuição bem acentuada. Sugerindo que este declínio será oscilante até o final da simulação. No segundo gráfico da Figura 19, relacionada com o cenário pessimista influenciado pela taxa do desmatamento anormal, indicou alterações significantes nos valores máximos e mínimos ao longo de todo o mês.

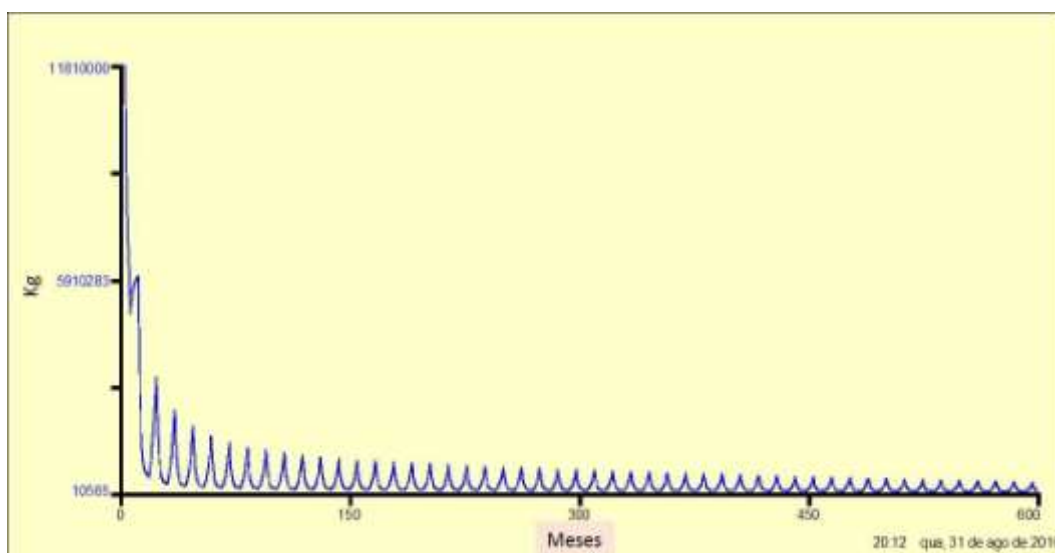


Figura 18. Resultado do modelo com tendência otimista da pesca em função do tempo.

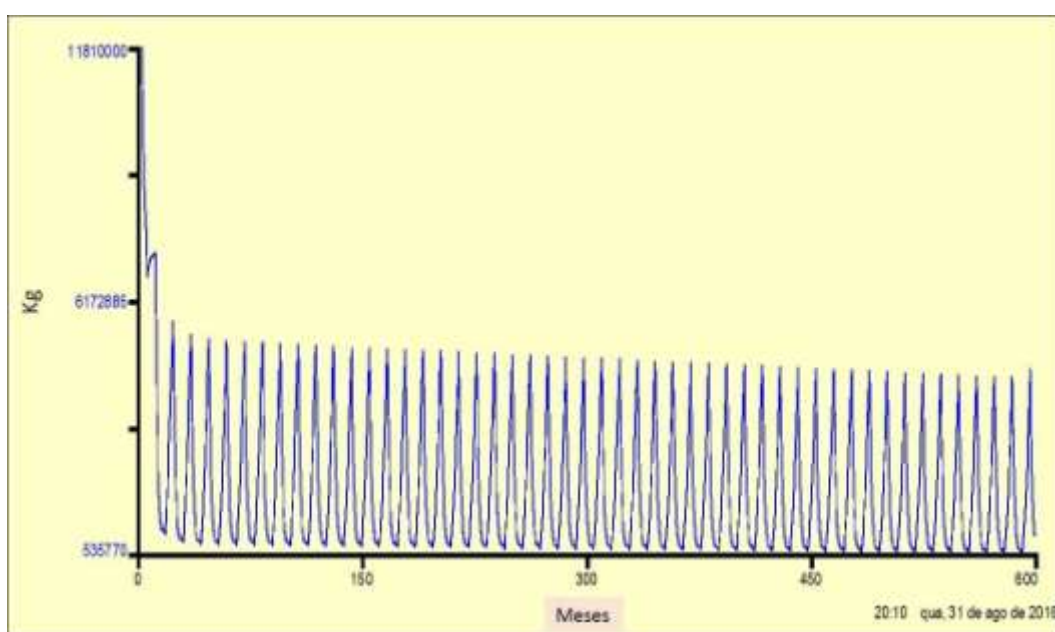


Figura 19. Resultado do modelo com tendência pessimista da pesca em função do tempo

CENÁRIO OTIMISTA DO DESMATAMENTO E TEMPERATURA SOBRE O ESTOQUE PESQUEIRO E A PRODUÇÃO DE JARAQUIS.

O gráfico que representa os valores do estoque pesqueiro (kg) e a produção de jaraquis (kg) em um cenário otimista mostrou uma tendência da diminuição da

produção do estoque pesqueiro e aumento da produção para duas espécies de jaraquis no início do mês (Figura 20). Após o segundo mês tanto o estoque pesqueiro como a produção de jaraquis sofreram uma diminuição ao longo dos meses testados. Conforme a análise do gráfico abaixo, a influência da previsão do desmatamento anual otimista sobre a produção pesqueira, sugere que quanto mais se retira a cobertura vegetal das áreas alagadas, menos ambiente o peixe terá para se refugiar e se alimentar. Sendo que a tendência dessa diminuição chegará no final dos meses rodados (600 meses).

Quando o modelo é simulado pela influência da previsão da temperatura média sobre os estoques pesqueiros e a produção, os valores máximos e mínimos são comprometidos.

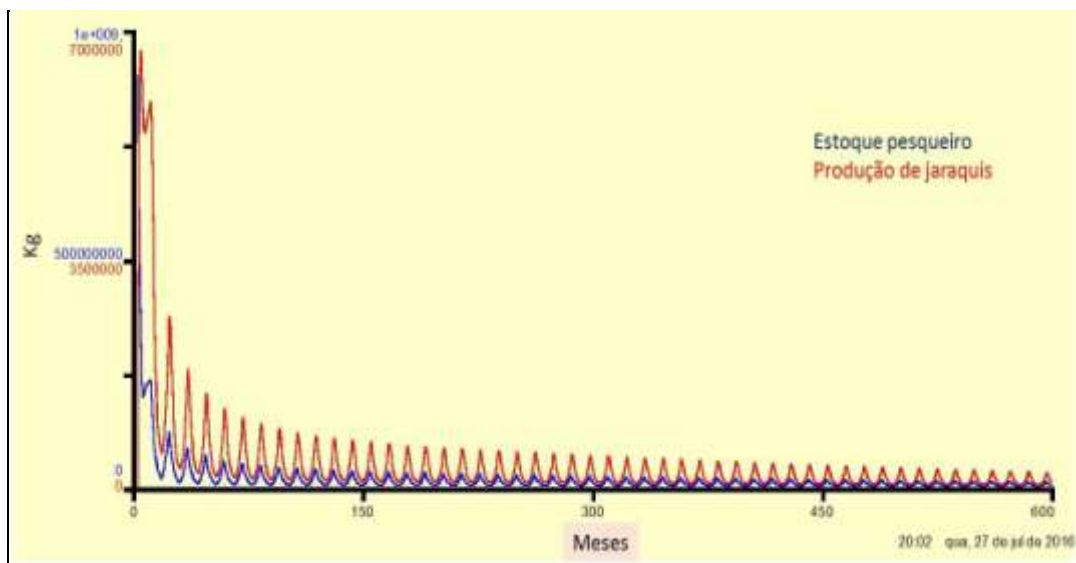


Figura 20. Resultado do modelo com as tendências otimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

CENÁRIO PESSIMISTA DO DESMATAMENTO E TEMPERATURA SOBRE O ESTOQUE PESQUEIRO E A PRODUÇÃO DE JARAQUIS.

O estoque pesqueiro e a produção pesqueira mostraram alterações nos valores máximos e mínimos ao longo dos meses rodados, resultado da previsão anual pessimista do desmatamento e da temperatura (Figura 21). Verificando que estes fatores podem influenciar diretamente a produção pesqueira das duas espécies de jaraquis. O modelo rodado sobre a influência desses dois fatores sugeriu que os valores máximos e mínimos têm queda e subida bem distintos daqueles encontrados nos valores acima. Nota-se que a produção das duas espécies de jaraquis será bem comprometida até o final da simulação. Sugerindo que durante 50 anos o número dessa população se manterá oscilatória a proporção que os fatores ambientais se alterarem.

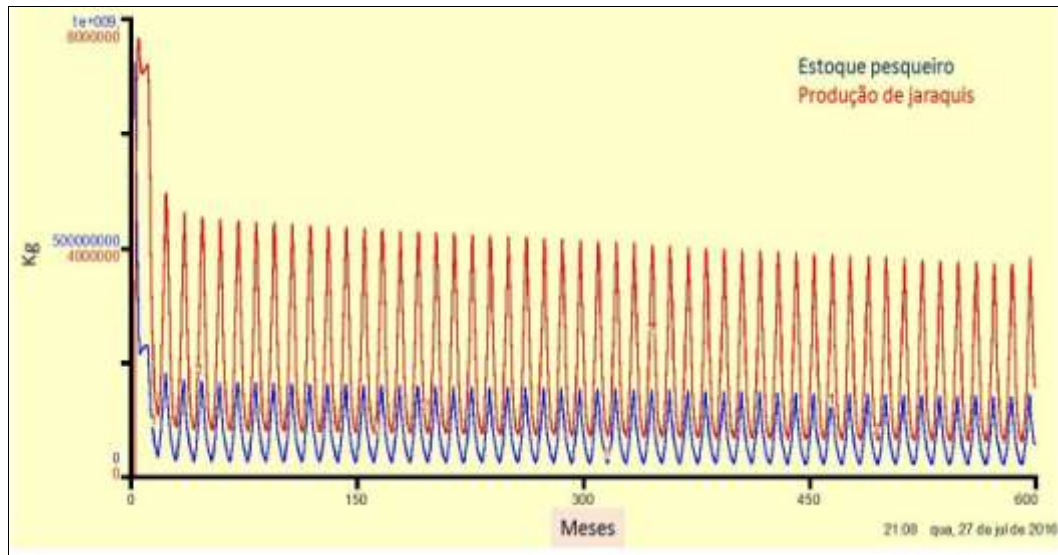


Figura 21. Resultado do modelo com as tendências pessimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

CENÁRIO OTIMISTA DO DESMATAMENTO E PESSIMISTA DA TEMPERATURA SOBRE O ESTOQUE PESQUEIRO E A PRODUÇÃO DE JARAQUIS.

Foi verificada a projeção do cenário otimista do desmatamento anual e pessimista da temperatura onde verificou uma tendência do aumento da produção de jaraquis nos primeiros meses e uma queda no décimo sexto mês (16º) ocasionado pela anormalidade do aumento da temperatura (Figura 22). Para o cenário dos estoques pesqueiros houve um decréscimo dessa produção até o final dos meses testados. Verificou-se que tanto a diminuição da produção dos estoques pesqueiros quanto a diminuição da produção de jaraquis mostraram pouca oscilação dos picos que representam os valores máximos e mínimos.

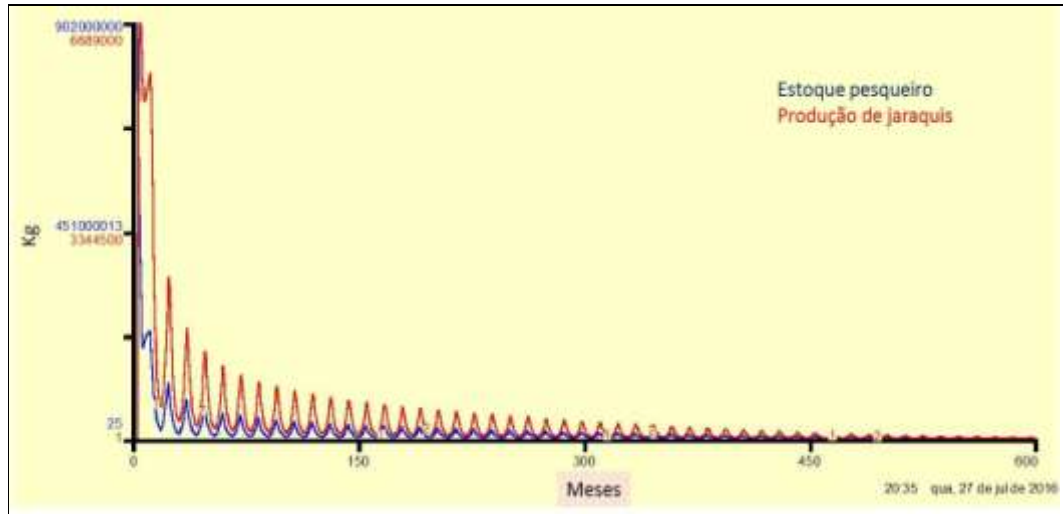


Figura 22. Resultado do modelo com as tendências otimista/pessimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

CENÁRIO PESSIMISTA DO DESMATAMENTO E OTIMISTA DA TEMPERATURA SOBRE O ESTOQUE PESQUEIRO E A PRODUÇÃO DE JARAQUIS.

O modelo mostrou que a produção de jaraquis irá sofrer um declínio ao longo dos 600 meses acompanhada de subida e descida periódica da produção dos estoques pesqueiros (Figura 23). Verifica-se que a produção de jaraquis começa a partir do primeiro mês gerando um aumento no segundo mês, simulando um período de safra das espécies de jaraquis. Essa produção se manterá em declínio ao longo do período simulado por consequência do aumento anormal da taxa de desmatamento anual.

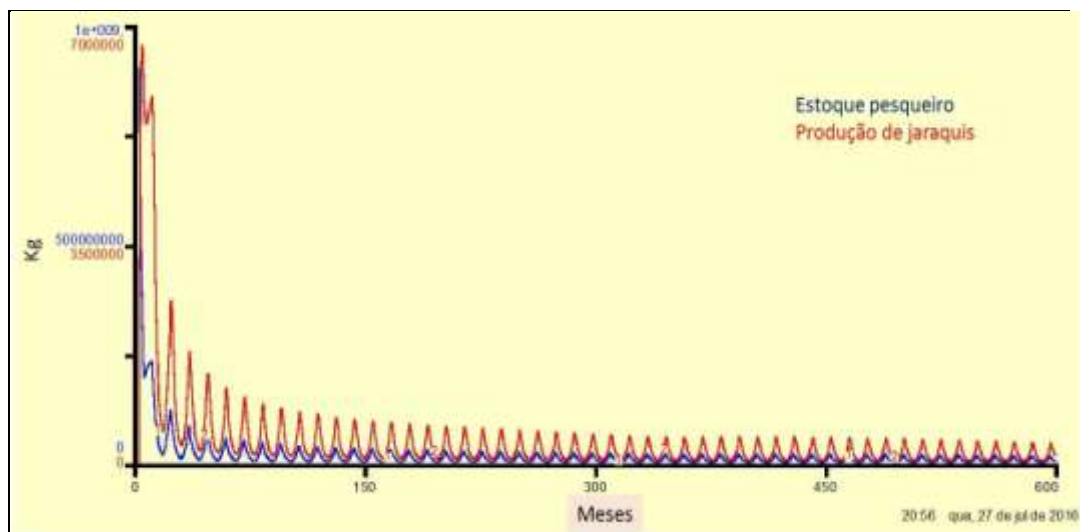


Figura 23. Resultado do modelo com as tendências pessimista/otimista da produção do estoque pesqueiro na Bacia Amazônica e a produção dos jaraquis no Amazonas em função do tempo.

7. DISCUSSÃO

A INFLUÊNCIA DO DESMATAMENTO NA PRODUÇÃO PESQUEIRA

O modelo permitiu analisar a influência dos fatores ambientais, como o aumento do desmatamento e da temperatura, sobre a produção pesqueira. Os resultados no modelo encontrados corroboraram com as informações existentes na literatura, (EUROPÉIA, 2007; FREITAS et al., 2013; HALLWASS, 2011; SCHROEDER, 2009) tanto no que diz respeito às mudanças das características físicas do ambiente e do ciclo hidrológico.

Os resultados da simulação mostraram que tanto os estoques pesqueiros quanto a produção pesqueira das duas espécies de jaraquis poderão ser afetados pela retirada da cobertura vegetal ao longo dos meses testados. Estudos realizados por Junk et al. (1989), indicam que o desmatamento em áreas alagadas, como as várzeas e igapós, pode influenciar o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos diminuindo tanto abrigo para as espécies de peixes, quanto as áreas de alimentação. Nesta tese, foram utilizados dados de desmatamento para as duas áreas, alagadas e não alagadas.

Pesquisas revelaram que o crescimento do desmatamento no estado do Amazonas e Rondônia ainda persiste. Foi verificada que as áreas de florestas que ainda estão de pé no entorno da cidade de Manaus estão em ritmo lento de desmatamento, enquanto que em Rondônia ocorre de forma acelerada, exceto em áreas indígenas e unidade de conservação (FEARNSSIDE et al., 2009). Em suas análises estes autores utilizaram modelo computacional DINAMICA e Vensim com a finalidade de relacionar o desmatamento total e a expansão viária observada em imagens de satélite no noroeste

de Rondônia adjacente a Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP), zona protegida por um decreto criado para reverter a situação do desmatamento ilegal no entorno da rodovia BR-319 (Manaus – Porto Velho). Os cenários testados foram: No cenário pessimista para ALAP mostrou que 5,1 milhões de hectares equivalente a 50 mil km² serão desmatados até 2050; e no cenário otimista com reservas de proteção existentes, o desmatamento alcançará 3,4 milhões de hectares (30 mil km²). Onde esses autores calcularam o desmatamento total relacionando o desmatamento e a expansão viária (Manaus – Porto Velho) observada em imagem de satélite.

A pesquisa desenvolvida nesta tese, mostrou que o desmatamento anual em um cenário pessimista pode provocar danos na produção pesqueira - redução dos estoques pesqueiros - gerando reflexo para os dados de saída, como no caso o consumo humano.

Cenários do IPCC, analisados no modelo HADCM3, sobre os impactos do desmatamento sobre o clima na região Amazônica mostraram previsões de anomalias de temperatura e chuva entre os anos de 2091 a 2100 (IPCC, 2007). Outros modelos desenvolvidos para Amazônia apontaram uma junção do aumento da temperatura e redução da chuva produzindo uma “savanização” para toda bacia (OYAMA, 2003).

A probabilidade de a floresta Amazônica ser substituída por savana é abordada em vários estudos (COX et al., 2000; COX et al., 2004; COLLINS, 2005). Essa “savanização” vem sendo projetada através do modelo climático do Centro Hadley do Reino Unido (COX et al., 2000; COX et al., 2004) que simula a temperatura do Oceano Pacífico equatorial do fenômeno El Niño e também do oceano Atlântico na região tropical do Hemisfério Norte (COLLINS, 2005). As secas nas regiões do norte, central e leste na Amazônia acontecem por conta do El Niño e enquanto que nas áreas da região

sul e sudoeste da Amazônia este fenômeno está associado ao aquecimento do Oceano Atlântico Norte (SCHÖNGART, J.; JUNK, W. J., 2007; MARENGO et al., 2006; SOUZA et al., 2000).

Conforme Melack e Coe (2012), ao analisar simulações de inundação pela influência do uso da terra, resultados das simulações do desmatamento e das mudanças climáticas, sugeriram que a área inundada do canal principal do rio Amazonas – próximo à estação de Óbidos – é sensível a alteração no balanço hídrico e as mudanças de descarga local que podem gerar alterações e com isso constantes inundações que podem ter consequências significantes para o funcionamento do ecossistema.

Outros estudos enfatizam sobre a diminuição da produção pesqueira refletida pelo desmatamento que quanto mais um ambiente for alterado por ações antrópicas, menores serão as chances de sobrevivência das espécies que o habitam (ILHA, 2015). De acordo com Ilha (2015) a retirada da cobertura vegetal provoca grandes alterações ambientais, causando degradação e contaminação do ambiente aquático e solo, afetando negativamente a biodiversidade (FOLEY et al., 2005). Estudos apontam que os peixes de águas continentais são os mais prejudicados do planeta em virtude desse fator negativo (REID et al., 2013).

A diversidade de peixes na bacia do rio Amazonas poderá ser comprometida pelas mudanças climáticas. Conforme Freitas et al., (2012), a anormalidade da seca no ano de 2005 que se instalou sobre a região proporcionou uma oportunidade de se estudar o impacto desses efeitos climáticos. Neste estudo eles concluíram que as alterações ambientais sobre a assembleia de peixes trouxeram respostas positivas e negativas, visto que estas respostas não foram iguais entre as espécies de peixes em

relação à migração e a cadeia trófica, mas por outro lado, estes autores acreditam que não existe uma prova formal que a seca foi a causadora dessas respostas devido à dificuldade de observação do grupo de controle.

As comunidades de peixes de várzea na bacia Amazônica são afetadas, também, por construções de barragens que é um fator ameaçador para a introdução do desmatamento a longo prazo, alterando possivelmente a conectividade de habitats e padrões migratórios de espécies de peixes (HURD et al., 2016). Estes pesquisadores revelaram que não existem estudos que comprovem especificamente o efeito do desmatamento sobre a população de peixes em área de várzea. Mas em compensação, o desmatamento nesta área poderá comprometer fontes de alimentos alóctones e aumentar o assoreamento de escoamento terrestre e modificar o fluxo ciliar (CASTELLO et al., 2013).

A remoção da cobertura vegetal pela continuação do desmatamento também diminuiria a vazão em época de águas baixas, mas em compensação em época de grandes chuvas contribuiria com picos mais altos e a variação dos estágios dos rios aumentaria (FEARNSIDE, 2003). Conforme este autor, estas alterações adicionariam mais complicações a agricultura ribeirinha em área de várzea e poderá afetar, também, a atividade pesqueira, bem como, erodir canais de rios. A interação entre desmatamento e vazão não foram testadas nesse trabalho devido a sua relação complexa e pela ausência de valores que indicassem seu grau de correlação.

Conforme Mateus e Penha, (2007), em áreas alagáveis, os estoques pesqueiros dependem muito da qualidade ambiental, como a complexidade do habitat, a qualidade da água e o pulso de inundação. Da mesma forma os resultados de nosso modelo

mostraram que o estado do estoque pesqueiro apresentou uma redução oscilante ao longo dos meses testados sugerindo que as variações do desmatamento em um cenário otimista e pessimista os influenciam.

A simulação da produção das duas espécies se mostrou decrescente para os dois cenários, e essa diminuição vai até o final do período rodado sendo que o cenário pessimista indicou alterações bem definidas nos valores máximos e mínimos. Os estoques pesqueiros da região Amazônica estão diminuindo, especialmente aqueles que estão próximos aos centros consumidores, aquelas espécies que não eram valorizadas, agora estão no prato de preferência do consumidor, é o caso do jaraqui na Amazônia Central e outras espécies citadas por Santos, Ferreira e Val (2010). Conforme esses autores, a pesca intensa sobre a população dos estoques pesqueiros não é tratada como um perigo de destruição, o máximo que pode ocasionar é a diminuição comercial de alguns estoques pesqueiros e nunca a extinção biológica destes estoques.

Depois disso, vem a deficiência de informações sobre dados estatísticos de séries históricas da produção pesqueira e a biologia da ictiofauna. O estoque do pirarucu (*Arapaima gigas*) sofreu um grande declínio no passado levando essa espécie a sobrepesca. Outros fatores relacionados a diminuição dos estoques estão a alteração do ambiente aquático que vem sofrendo um ritmo preocupante por conta da poluição e do desmatamento (SANTOS; FERREIRA; VAL, 2010).

A produção pesqueira dos jaraquis no modelo, também, foi influenciada pela diminuição dos estoques pesqueiros e pela taxa de mortalidade total por pesca das espécies de jaraquis. Esta última indicou uma pequena tendência de declínio com oscilações até o final dos meses previstos em função da vazão, o que era esperado, pois

para ter uma produção satisfatória não adianta aumentar somente o esforço o estoque tem que conseguir se repor para compensá-lo, o que com o aumento das alterações ambientais testadas no modelo. Com o declínio das taxas de mortalidade por pesca haverá também a redução dessa produção e consequente do consumo humano.

A relação de dependência entre o ciclo hidrológico e parâmetros ligados ao esforço pesqueiro já foi usada em processos de modelagem por Souza (2003) para a Amazônia Central, ao observar que pescadores passavam mais tempo se dedicando a pesca na cheia do que na seca.

Os resultados mostram que os fatores ambientais influenciam claramente a produção pesqueira. Alguns estudos demonstraram que a população de jaraquis é influenciada pelo ciclo hidrológico, sendo que este fator é importante para o agrupamento de cardumes no intuito de migração para a reprodução (SANTOS; FERREIRA; VAL, 2010) corroborando com Freitas et al., (2007) em que o padrão migratório das duas espécies é caracterizado por migrações reprodutivas e tróficas. No período da enchente os cardumes de jaraquis migram passando pelos tributários a fim de desovar no rio Solimões-Amazonas, regressando para os tributários no qual usam os ambientes de igapó para a manutenção e alimentação (ARAÚJO, 2002). Dessa forma, se o desmatamento aumentar conforme as simulações testadas, os recursos pesqueiros seriam muito afetados, uma vez que as áreas alagadas que margeiam os ambientes aquáticos, local de alimentação e abrigo, são as mais visadas para habitação e agropecuária. A dispersão da migração acontece nos afluentes de água preta com intuito de alimentação (RIBEIRO, 1983; FREITAS et al., 2007).

Conforme Fearnside (2009), existem várias características importantes que ficaram de fora dos modelos utilizados pelo IPCC que precisam ser analisados e incluídos. Um deles é os "feedbacks bióticos", especialmente o carbono que seria lançado a partir da biomassa e do solo, caso a floresta Amazônica fosse desaparecer e ser substituída por pastagens com árvores dispersas ou por uma baixa biomassa. Apenas 20 modelos analisados pelo IPCC tinha a capacidade de simular os feedbacks bióticos, mas esses recursos foram retirados, a fim de fazer as simulações de todos os modelos comparáveis. (FEARNSIDE, 2009).

A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO PESQUEIRA

A simulação dos estoques pesqueiros e a produção pesqueira dos jaraquis no modelo mostraram alterações nos valores ao longo dos meses rodados em um cenário otimista e pessimista, sendo que este último indicou mudanças bem significativas nos valores máximos e mínimos. Pesquisas revelaram que em um cenário mais quente influenciado pelo aquecimento global, as temperaturas da região da bacia Amazônica poderiam aumentar expressivamente (CAMPOS; HIGUCHI, 2009). Estes mesmos autores relataram que o aumento da temperatura nesta região deixaria o clima mais seco, levando a morte de muitas plantas e animais. De fato, o aumento da temperatura e a ausência de água (menos água no solo) podem modificar uma parte da região Amazônica em savanas onde poderão sofrer o processo de desertificação (MARENGO, 2008).

Conforme o relatório do IPCC, considerando os organismos aquáticos, especialmente os recursos pesqueiros em áreas costeiras, o aumento da temperatura afetará estes recursos, onde manifestará na perda de importantes habitats costeiros para

eco-biologia das espécies e na redução da produtividade, entre outros (IPCC, 2007) (ALCIDES VARELA et al., 2011). Estudos realizados na Lagoa dos Patos no Rio Grande do Sul relataram que o aumento da temperatura pode influenciar o metabolismo dos recursos pesqueiros, acelerando o seu crescimento e, também, pode influenciar na mortalidade natural das larvas diminuindo a fase juvenil, sendo estes em um período de vulnerabilidade e predação (SCHROEDER, 2009). Estes autores mostraram que a diminuição do tamanho máximo das espécies estudadas poderá refletir no calendário da pesca e aumentar a vulnerabilidade socioeconômica dos pescadores. Nesta tese, a simulação do aumento da temperatura em um cenário pessimista, indicou que as alterações nos valores máximos e mínimos da produção pesqueira das duas espécies de jaraquis é refletida por esse fator corroborando com o descrito acima.

Pesquisas realizadas no continente Europeu sobre a influência da temperatura nos organismos aquáticos, indicaram que existe um deslocamento de algumas espécies de peixes, moluscos e crustáceos para áreas mais frias, seja pelo fato de seus organismos necessitarem de uma intensidade específica de temperatura que os seus habitats (EUROPÉIA, 2007). Corroborando com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2009) que declarou que as alterações de temperatura induzidas pelas modificações no clima do planeta terão um forte impacto sobre a pesca e a aquicultura. A mesma descreve que o Atlântico já mostra indícios de aquecimento de suas águas e muitos organismos aquáticos, incluindo os peixes, estão se descolando em direção da região polar (BERTAPELI; SIMONETTI, 2009).

Teorias e evidências experimentais recentes sugerem que mudanças na temperatura do oceano pode atingir diretamente a parte fisiológica, crescimento e reprodução dos recursos pesqueiros (ARNASON, 2003). Conforme este autor, peixes

em águas de temperatura superior, é esperado que se tenham tamanho máximo de corpo menor, no qual peixes de corpos menores que vivem em ambientes mais quentes são propensos a sofrer taxas de mortalidade natural mais elevadas. Estes fatores são importantes para a determinação da dinâmica populacional e produtividade (ARNASON, 2003).

Fato interessante é a espécie de bacalhau do Atlântico Norte, onde essa região é considerada mais importante para a pesca comercial de estoque do bacalhau. Essa espécie é habitável em baixas temperaturas em determinadas áreas, como é o caso da região da Groelândia. Um aquecimento ligeiro faria dessas áreas habitáveis novamente com a consequente expansão dessa espécie (ALLISON et al., 2009). Estes autores deram como exemplo, um período de aquecimento no Atlântico Norte entre os anos 30 e 60. E verificaram que a população do estoque de bacalhau aumentou. Com isso, os argumentos biológicos e histórico das espécies sugerem que o aquecimento das águas nesta área irá melhorar substancialmente as condições ambientais para o bacalhau, mas que para outro lado poderá afetar outras espécies aquáticas (ALLISON et al., 2009).

As duas espécies de jaraquis são capturadas preferencialmente em ambientes lóticos, no caso, o rio Amazonas. Essa preferência está relacionada com os hábitos migratórios tanto para reprodução quanto para a alimentação, que tem como facilidade a captura desses estoques pela frota pesqueira na bacia Amazônica. Mas nada se sabe sobre a influência das alterações ambientais sobre essas espécies, não tendo sido, especificamente, encontradas referências sobre a influência desses fatores sobre as mesmas, que possibilitassem comparações com os resultados do presente estudo. No entanto, esses cenários poderão ser utilizados como ferramentas na elaboração de

medidas de legislação pesqueira para que possam nortear o monitoramento e conservação das espécies citadas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A análise mostra que os fatores ambientais estão claramente relacionados com a diminuição do estoque e produção pesqueira dos jaraquis.
- Os submodelos apresentados neste trabalho apresentaram respostas condizentes de acordo com as outras referências sobre o tema;
- O modelo rodado pode ser usado para avaliar a dimensão dos fatores ambientais com os outros modelos, contribuindo para aprimorar o entendimento sobre as relações dos componentes testados e o funcionamento do sistema;
- A carência de dados estatísticos de desembarque é um entrave que precisa ser resolvido para a avaliação dos estoques pesqueiros e principalmente para a modelagem dos ecossistemas aquáticos com o objetivo de implementar medidas de manejo;
- Para tanto é importante implementar políticas públicas e regulamentar normas para que possa ser obrigatória a coleta de dados primários de desembarque pesqueiro no principal porto da cidade de Manaus ajudando obter valores reais e não estimados;
- O modelo de ecossistemas é pouco aplicado no Brasil, porém promissora. Em função da carência de dados de desembarque, há muito trabalho a ser desenvolvido como contribuição para a parametrização dos modelos disponíveis. Portanto, existe a necessidade de focar os modelos existentes para a realidade dos ecossistemas aquáticos amazônicos;

- Com base nos resultados acima sugere-se que sejam realizadas avaliações dos estoques de jaraquis sob a influência das mudanças ambientais em conjunto com as informações obtidas nesta pesquisa, para estabelecer planos de manejo das espécies em questão.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCIDES et al. **Análise das Instituições e políticas de pesca em Cabo Verde.** Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas. Relatório Técnico. 77. pg. 2011.

ALLISON, E. H. et al. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. **Fish and Fisheries**, v. 10, n. 2, p. 173–196, jun. 2009.

ALMEIDA, O.T.; LORENZEN, K.; MCGRATH, D.G. **Commercial fishing in the Brazilian Amazon: regional differentiation in fleet characteristics and efficiency.** Fisheries Management and Ecology, 10: 109-115. 2003.

ANGELINI, R. Ecosistemas e modelagem ecológica. p. 1–16, 1999.

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os Frutos do Tambaqui.** Ecologia, Conservação e Cultivo na Amazônia. Belém: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq. 1998.

ARNASON, R. Global warming and North Atlantic fisheries: attempting to assess the economic impact. **A paper presented at the FAME workshop on Climate.** 20 p. 2003.

BARTHEM, R. B. Descrição da pesca da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillanti*, Pimelodidae) no Estuário e na Calha do rio Amazonas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi: Ciências Humanas**, p. 117–130, 1990.

BARTHEM R.B; PETRERE JR., ISAAC V., RIBEIRO M.C.L., MCGRATH D., VIEIRA I.J.A; BARCO M.V. A pesca na Amazônia: problemas e perspectivas para o seu manejo. Seminário sobre “Manejo da vida silvestre”. Centro de Convenções do Centur, Belém (PA). 30 p. 1992.

BARTHEM, R.B. **Development of commercial fisheries in the Amazon basin and consequences for fish stocks and subsistence fishing.** In. Clüsener-Godt, M.S.

Brazilian Perspectives on Sustainable Development of the Amazon region. Cap.15, pp. 175 – 204. 1995.

BARTHEM, R.B.; FABRÉ, N.N. **Biologia e Diversidade dos Recursos Pesqueiros da Amazônia.** In. RUFFINO, M.L. (coord.) A pesca e os recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea, cap.1, p.17-62. 2004.

BATISTA V.S. Distribuição, dinâmica da pesca e dos recursos pesqueiros na Amazônia Central. **Tese de doutorado**, INPA/FUA: 291p. 1998.

BATISTA, V.S.; PETRERE JR., M. **Characterization of the commercial fish production landed at Manaus, Amazonas State, Brazil.** Acta Amazonica, n 33, v. 1, p. 53 – 66, 2003.

BATISTA, V.S.; ISAAC, V.J.; VIANA, J.P. **Exploração e Manejo dos Recursos Pesqueiros da Amazônia.** In. RUFFINO, M.L. (coord.) A pesca e os recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea, 2004, cap.2, p.63 - 152. 2004.

BAYLEY, P. B. Fish yield from the Amazon in Brasil: comparition with african river yields and management possibilities. Trans. Amer. Fish. Soc., 110: 351-359. 1981.

BAYLEY P.B.; PETRERE Jr. M. **Amazon fisheries: assessment methods, current status and management options.** In: Dodge DP (ed), Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106, Ottawa, Ontario, Canada, 385–398p. 1989.

BELL, J.; BATTY, M.; GANACHAUD, A. Preliminary assessment of the effects of climate change on fisheries and aquaculture in the Pacific. **Secretariat of the Pacific ...**, p. 1–15, 2010.

BERKES, F.; MAHON, R.; MCCONNEY, P.; POLLNAC, R.; POMEROY. **Managing small-scale fisheries: Alternative directions and methods.** International Development Center Research - IDCR, Canada. 320pp. 2001.

BERTAPELI, V.; SIMONETTI, M. C. L. **A necessidade de analisar a percepção dos pescadores artesanais quanto ao impacto das mudanças climáticas sobre o ambiente marinho.** In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM - Associação de Universidades do Grupo Montevidéo, 2009, São Carlos. Anais de Eventos da UFSCar. v. 5. p. 1-15. 2009.

BEVERTON, R.J.H; HOLT S.J. **On the Dynamics of Exploited Fish Populations**. Fisheries Investigations. London: Ministry of Agriculture, Fish and Food. Series 2(19), 533pp. 1957.

BRANDER, K. Global fish production and climate change. **of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 50, p. 44–46, 2007.

CAMPOS, M.; HIGUCHI, M. A Floresta Amazônica e seu papel nas mudanças climáticas. **Série Técnica Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**, n. 18, p. 36, 2009.

CARDOSO, R. S. et al. **Aspectos econômicos e operacionais das viagens da frota pesqueira de Manaus, Amazônia Central**. Acta Amazonica, 2004.

CARVALHO, J.L. **Contribuição ao conhecimento da biologia do mapará Hypophtamus perporosuni** (Pisces: Hypophtalmidae) no baixo e médio Tocantins. Bol. FCAP IO: 39-57. 1978.

CARVALHO, J.L.; MÉRONA, B. **Estudos sobre dois peixes migratórios do baixo Tocantins antes do fechamento da barragem de Tucuruí**. Ammoniuna 9(4): 595-607. 1986.

CASTELLO, L., D. G. MCGRATH, L. L. HESS, M. T. COE, P. A. LE- FEBVRE, P. PETRY, M. N. MACEDO, V. F. RENO; C. C. ARANTES. **The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems**. Conservation Letters 6: 217–229. 2013.

CHERNELA, J.M. **Managing river of hunger: the Tukano of Brazil**. Adv. Econ. Bot. 7: 23 8-248. 1989.

CHERNELA, J.M. **Tukanoan fishing**. Natn. Geogr. Res. Washington, IO(4): 440-457. 1994.

COLLINS, M AE. **Climate Dynamics** 24, 89–104, 2005.

CONSTANZA, R.; VOINOV, A. **Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. Modelling Ecological**. Elsevier Science. 143: 7p. 2001.

COSTA, L. R. F. DA, BARTHEM, R. B.; CORREIA, M. A. V. **Manejo da pesca do tambaqui nos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá**. pp. 142-158. In: Queiroz, H.L. & Crampton, W.G.R. (eds). Estratégias para Manejo de Recursos Pesqueiros em Mamirauá Sociedade Civil Mamirauá/ CNPq, Belém. 1999.

COX P.M., R.A. BETTS, M. COLLINS, P.P. HARRIS, C. HUNTINGFORD, AND C.D. JONES. **Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century**. Theoretical and Applied Climatology, 78, 137-156. 2004.

COX, P.M., R.A. BETTS, C.D. JONES, S.A. SPALL AND I.J. TOTTERDELL. **Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model**. Nature 408:184-187. 2000.

DIAS-NETO, J. **O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca**. IBAMA ed. Brasília: [s.n.].

EUROPÉIA, C. Alterações Climáticas: o impacto sobre a pesca. **A pesca e a aquicultura na Europa**, v. 35, n. 1, p. 12, 2007.

FABRÉ, N. N., BARTHEM, B. R. **O Manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo do Solimões-Amazonas**. PRÓVARZEA/IBAMA, Manaus. 2005.

FAO. **Historical consumption and future demand for fish and fishery products: exploratory calculations for the year 2015/30**. On line fao fisheries circular n946.rome; 1999.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta Amazônia nas mudanças globais**. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), 134 p. 2003.

FEARNSIDE, P.M. **A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas**. Conferência no VI Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Curitiba, PR. 20-24/09/2009. 2009.

FEARNSIDE, P. M. et al. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 208–233, 2009.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: unresolved controversies. **Climate Policy**, v. 12, n. 1, p. 70–81, jan. 2012.

FERNANDEZ-BACA, J. **Amazonian Fisheries: Socio Economic Issues and Management Implications**. Environmental economics programme. Discussion Paper. DP 98-02. 38p. 1998.

FICKE, A. D. MYRICK, C. A, HANSEN, L. J. **Potential impacts of global change on freshwater fisheries**. Rev. Fish Biol. Fish. 17: 581–613. 2007.

- FIELD, C. B. et al. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. **Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, n. March, p. 1–44, 2014.
- FOLEY, J. A., DEFRIES, R., ASNER, G. P. et al. **Global consequences of land use**. Science, 309,570–574. 2005.
- FOX, W.W.JR. **An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations**. Trans. Am. Fish Soc., 99: 80-88. 1970.
- FRAGOSO JÚNIOR, C. R. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos/** - São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- FREITAS, C. E. C.; BATISTA, S. V.; SIQUEIRA, M.F.H.; DOS SANTOS, A. L.I. **Relações entre captura, O esforço de Pesca e Parâmetros Ambientais na pesca Comercial do Estado do Amazonas (Brasil)**. Anais do XI CONBEP e do I CONLAEP Vol 2. Recife p. 815-821. 1999.
- FREITAS, C. E. C. **Recursos Pesqueiros Amazônicos: status atual da exploração e perspectivas de desenvolvimento do extrativismo e da piscicultura**. In: Alex Fiuza de Melo. (Org.). O Futuro da Amazônia: Dilemas, Oportunidades e Desafios no Limiar do Século XXI. 1 Ed. Brasília. 2003.
- FREITAS, C.; RIVAS, A. **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Ocidental**. Ciência e Cultura, n. 13, 2006.
- FREITAS C. E. C; NASCIMENTO, F. A; SIQUEIRA-SOUZA, F.K. Levantamento do estado atual de exploração dos estoques de curimatã, jaraqui, surubim e tambaqui. In: M.L. RUFFINO (ed). **O setor pesqueiro na Amazônia: análise da situação atual e tendências de desenvolvimento da indústria da pesca**. Brasília – DF: IBAMA, pp. 11-17. 2007.
- FREITAS, C. E. C., F. K. SIQUEIRA-SOUZA, K. L. L. PRADO, K. C. YAMAMOTO; L. E. HURD. **Factors determining fish species diversity in Amazonian floodplain lakes**. In Rojas, N. & R. Prieto (eds), Amazon Basin: Plant Life, Wildlife and Environment. Nova Science Publishers, New York: 41–76. 2010.
- FREITAS, C. E. C. et al. **An initial assessment of drought sensitivity in Amazonian fish communities**. Hydrobiologia, v. 705, n. 1, p. 159–171, 21 nov. 2012.

- FREITAS, C. E. DE C. et al. **The Potential Impacts of Global Climatic Changes and Dams on Amazonian Fish and Their Fisheries**. INTECH, p. 22, 2013a.
- FREITAS, C. E. C., F. K. SIQUEIRA-SOUZA, R. HUMSTON; L. E. HURD. **Assessing drought sensitivity of Amazonian floodplain fish communities**. *Hydrobiologia* 705: 159–171. 2013b.
- FURTADO, L. G. **Pesca artesanal: um delineamento de sua história no Pará**. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, nova série. Antropologia, Belém, Brazil, 79, 1–50. [History of the artisanal fishery in the state of Pará. 1981.
- FURTADO, L.G. **“Reservas pesqueiras”, uma alternativa de subsistência e de preservação ambiental: Reflexões a partir de uma proposta de pescadores do Médio Amazonas**. pp.243-276. In: Furtado, L.; Mello, A.F. & Leitão, W. Povos das águas: realidade e perspectiva na Amazônia. MPEG/UFPA, Belém. 1993.
- GANDRA, A. L. **O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus**. Série: O mercado de pescado nas grandes cidades latino-americanas. CFC/FAO/INFOPESCA, 91p. 2010.
- GAUSE, G. F. *The Struggle for Existence*. Baltimore, MD:Williams and Wilkins. 1934.
- GOMES, A. G.; VARRIALE, M. C. **Modelagem de Ecossistemas: Uma Introdução**. RS. Santa Maria. Ed da UFSM. 503pp. 2001.
- GOULDING, M. **A ecologia da pesca no rio Madeira**. CNPq/ INPA. Manaus. 172p. 1979.
- GOULDING, M. **The fishes and the forest**. Berkeley, Univ. California Press, 280p. 1980.
- HALLWASS, G. *Ecologia Humana da Pesca e Mudanças Ambientais no Baixo Rio Tocantins , Amazônia Brasileira*. UFRGS, p. 91, 2011.
- HIGASHI. M.; BURNS, T. P. **Theoretical studies of ecoystems**. The network perspective. Cambridge Univ. Press. 364p. 1991.
- HOORN, C., et al., **Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity**. *Science* 330: 927–931. 2010.
- HPS. **"Stella II: Technical documentacion"** (High Performance Systems, Inc., 45 Lyme Road, Hanover, NH 03755). 1993.
- HURD, L. E. et al. *Amazon floodplain fish communities : Habitat connectivity and*

conservation in a rapidly deteriorating environment. **BIOC**, v. 195, p. 118–127, 2016.

IBAMA: **Estatística da pesca de 2005**. Grandes regiões e unidades da Federação o. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Diretoria de Fauna e Recursos Pesqueiros – Difap, Coordenação-Geral de Gestão de Recursos Pesqueiros – CGREP. In: <http://www.ibama.gov.br/recursos-pesqueiros/wp-content/files/estati2005.pdf> (accessed 13 July 2015. [Fishery statistics, 2005, Brazil]. 2007.

ILHA, P. **Efeitos da conversão de florestas em áreas agrícolas sobre assembleias de peixes das cabeceiras do Rio Xingu**. Effects of forest conversion into agricultural areas on fish assemblages in the headwaters of the Xingu River. 2015.

INOMATA, S. **Sustentabilidade ecológica e econômica da pesca comercial do município de Barcelos, região do médio rio Negro, Amazonas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, 2013.

IPAAM. **Plano de gestão da pesca esportiva no estado do Amazonas**, Versão preliminar. Governo do Estado do Amazonas. Manaus-AM. 87 pp. 2001.

IPCC. **Fourth Assessment Report - Climate Change 2007: Synthesis Report**, 2007.

ISAAC, V. J; BARTHEM, R.B. **Os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Sér. Antropologia, Belém, v.11, n.2, p.295-339, 1995.

ISAAC, V.J. & RUFFINO, M.L. **Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier 1818, in the lower Amazon, Brazil**. Fisheries Management and Ecology, UK, (3):315-333. 1996.

ISAAC, V.J.; RUFFINO, M.L.; MCGRATH, D. **In search of a new approach to fisheries management in the middle Amazon region**. In: THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FISHERY STOCK ASSESSMENT MODELS FOR THE 21ST CENTURY, 21., 1998, Alaska. Proceeding... University of Alaska, Sea Grant CollegeProgram, p. 889-902, 1998.

JORGENSEN, S. E. **Fundamental of ecological modelling**. New York: Elsevier, 1986.

JUNIOR, C. H. F. **AVALIAÇÃO DA RENTABILIDADE DA PESCA COMERCIAL ARTESANAL E PRIMEIRA COMERCIALIZAÇÃO DO PESCADO NO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL**. [Tese de doutorado]

Universidade Federal do Amazonas, 2013.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in river-floodplain systems.** In: DODGE, D. P. (Ed.) Proceedings of the International Large River Symposium (LARS) (Honey Harbour, Ontario, Canada, September 14-21, 1986). Ottawa: Department of Fisheries and Oceans. p.110-127. (Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences, 106). 1989.

KULLANDER, S. O. Amazonische Cichliden – jenseits der Flubbiegung. DATZ. Sonderh: 53-59. 1994.

LEHODEY, P., ALHEIT, J., BARANGE, M. et al. **Climate variability, fish and fisheries.** *Journal of Climate*. 19, 5009–5030. 2006.

LEITE, R. G.; ZUANON, J. A. S. **Peixes ornamentais – aspectos da comercialização, ecologia, legislação e propostas de ações para um melhor aproveitamento.** In: Val, A. L.; Figliuolo, R.; Feldberg, E [eds.] Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia: fatos e Perspectivas, Manaus, p.327-330. 1991.

LEONEL, M. **A morte social dos rios.** Coleção Estudos. Perspectiva. FAPESP. São Paulo. 265 p. 1998.

LOTKA, A. J. **Elements of Physical Biology.** Williams & Wilkens Company, Baltimore, USA. 460pp. 1925.

LOWE-MCCONNELL, R. H. **Ecological Studies in Tropical Fish Communities.** Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

MALHI, Y., ROBERTS, J.T., BETTS, R.A., et al. **Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon.** *Science*, 319, 169–72. 2008.

MARENGO, J. A.; DIAS, P. S. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos.** In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências. p.63-109. 2006.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008.

MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F. **Avaliação dos estoques pesqueiros de quatro espécies de grandes bagres (Siluriformes, Pimelodidae) na bacia do rio Cuiabá,**

Pantanal norte, Brasil, utilizando alguns Pontos de Referência Biológicas *Revista Brasileira de Zoologia*, 2007.

MCGRATH, D.; CASTRO, F.; FUTEMMA, C.; AMARAL, B. D. E CALABRIA, J.
Fisheries and the evolution of resource management on the Lower Amazon floodplain. *Human Ecology* 21(2): 167-95. 1993.

MELACK, J.; COE, M. Climate change and the floodplain lakes of the Amazon basin.
Climatic Change and Global Warming of ..., p. 295–310, 2012.

MENEZES, N. A. **Methods for assessing freshwater fish diversity.** Pp. 289-296. In: BICUDO, C. E. de M. MENEZES, N. A. (eds). *Biodiversity in Brazil: a first approach. Proceedings of the Workshop Methods for the Assessment of Biodiversity in Plants and Animals held at Campos do Jordão, SP, Brazil, 26-30.* 1996.

MERONA, B.; BITTENCOURT, M. M. A pesca na Amazônia através dos desembarques no mercado de Manaus: resultados preliminares. **Sociedad de Ciencias Naturales La Salle**, p. 433–453, 1988.

MERONA, B.; GASCUEL, D.. **The effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon floodplain.** *Aquat. Living Resour.* 6. 97-108p. 1993.

MERONA, B. de. **Pesca e ecologia dos recursos aquáticos na Amazônia.** In: L.G. Furtado et al. [eds.] *Povos das Águas: Realidades e Perspectivas na Amazônia.* Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, PA, 1993, p.159-185. 1993.

MERONA, B. DE. Ecologia da pesca e manejo pesqueiro na região amazônica. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum.**, 1995.

MESCHKAT, A. **Reports to the government of Brazil on the fisheries of the Amazon region.** Rome: FAO Report 1305, BRA/TE/Fi. 76p. 1961.

ODINETZ-COLLART, O. **La pêche crevettière de Macrobrachiztm aniazoizicum (Paleamonidae) dans le bas Tocantins, après la fermeture du barrage de Tucuruí (Brésil).** *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 20(2): 131-144. 1987.

ODUM, E.P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A. 434 p. Versão Traduzida do Livro *Basic Ecology*. 1988.

ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G. **Sustentabilidade dos recursos hídricos em São Miguel do Anta, Minas Gerais: um enfoque de dinâmica de sistemas**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ORELLANA GONZÁLEZ, A.M.G. **Modelo de simulação dinâmica para valoração ecológica de serviços ecossistêmicos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 2010. 286 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OYAMA, M. D. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 23, p. 10–13, 2003.

PARENTE, V.M. **A economia da pesca em Manaus: Organização da produção e da comercialização**. 178f. Dissertação (Mestrado em Economia). Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica/RJ. 1996.

PAULY D. **On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stock**. International Council for the Exploitation of the Sea 39, 175–192. 1980.

PAULY, D. **Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks**. FAO Fish.Tech.Pap.,(234):52 p. 1983

PETREIRE JR., M. **Pesca na Amazônia**. In: Seminário Internacional Sobre Meio Ambiente, Pobreza e Desenvolvimento da Amazônia. Belém, Brasil. Anais... Belém, 1992. 72-77 p. 1992.

PETREIRE JR., M. **Yield per recruit of the tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in Amazonas State, Brazil**. J. Fish Biol., 22: 133-144. 1983.

PETREIRE M. JR. **Pesca e esforço de pesca no Estado do Amazonas**. II. Locais, aparelhos de captura e estatística de desembarque. Acta Amazonica 8,1–54. 1978.

PRANG, G. **Aviamento and the ornamental fishery of the Rio Negro, Brazil: implications for sustainable resource use**. In: CHAO, N. L.; PETRY, P.; PRANG, G.; SONNESCHIEN, L.; TLUSTY, M. (eds) *Consevation and management of ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin, Amazonia, Brazil – Project Piaba*. Editora da Universidade do Amazonas – EDUA, Manaus p. 43-74. 2001.

PROVÁRZEA. **A pesca na região Amazônica: debates para uma possível solução.** 2005.

RAMOS, M. M. **A gestão das pescarias da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii* – Valenciennes , 1840) no estuário Amazônico , Pará : situação atual e perspectivas.** [Dissertação de Mestrado.] Universidade Federal do Amazonas, 2010.

RAMOS, M. M.; PEREIRA, H. DOS S. Os ambientes , a pesca e a gestão das pescarias da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) no Estuário. **Novos Cadernos**, v. 14, n. 1, p. 115–129, 2011.

REID, G.MCG. **Introduction to freshwater fishes and their conservation.** International Zoo Yearbook 47: 1–5. 2013.

REIS, R. E; S. O. KULLANDER; C. J. FERRARIS, JR. (Eds.). **The checklist of the freshwater fish of South Central America.** Porto Alegre: EDIPUCRS. 2003.

RIBEIRO, M. C. L. B.; PETRERE Ir., M. **Fisheries ecology and management of the (*Semaprochilodus taeniurus*, *S. insignis*) in the Central Amazonia.** Regul. Rivers. 1990.

RIBEIRO, M. C. L. B. **As migrações dos jaraquis (Pisces, Prochilodontidae) no rio Negro, AM, Brasil.** Manaus. 192 p. Dissertação (Mestrado) – Inpa/FUA. 1983.

RICHMOND, B. **An academic user's guide to STELLA.** High Performance System, In Lime. 163 p. 1987.

ROBERTS, T. **Ecology of fishes in the Amazon and Congo basins.** Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard, n. 143, 117-147p. 1972.

RUTH, M.; HANNON, B. **Modeling dynamic economic systems.** 339 p. 1997.

SAINSBURY, K. S. **The ecological basis of tropical fisheries management.** P. 167-188. In: Pauly, D.; Murphy. G.I. (eds.). Theory and management of tropical fisheries. ICLARM, Conference Proceedings, 9, 360p. 1982.

SANTOS, G. M. DOS; SANTOS, A. C. M. DOS. **Sustentabilidade da pesca na Amazônia.** Estudos Avançados, v. 19, n. 54, p. 165–182, 2005.

SANTOS, G. M. ; FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S. **Peixes comerciais de Manaus.** Manaus: IBAMA/PróVárzea, 2006.

SANTOS, G. M. DOS; FERREIRA, E. J. G.; VAL, A. L. **Recursos pesqueiros e sustentabilidade na Amazônica: fatos e perspectivas**. Revista do Direito Ambiental da Amazônia, v. 53, p. 160, 2010.

SCHÖNGART, J.; JUNK, W.J. **Forecasting the flood pulse in Central Amazonia by ENSO-indices**. Journal of Hydrology 335: 124-132. 2007.

SCHROEDER, F.A. **Um Ensaio Sobre os Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas nas Pescarias da Lagoa dos Patos – RS**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Brazil, 46pp. 2009.

SHUKLA, J.; NOBRE, C.; SELLER, P.J. **Amazon deforestation na climate change**, Science, 247, 1322-1325.1990.

SILVA, I. O. **Distribuição da vazão fluvial no Estuário do rio Amazonas**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

SMITH, N.J.H. **A Pesca no Rio Amazonas**. INPA. Manaus. 154p. 1979.

SOARES, M.G.M.; COSTA, E.L.; SIQUEIRA-SOUSA, F.K.; ANJOS, H.D.B.; YAMAMOTO, K.C.; FREITAS, C.E.C. **Peixes de lagos do médio rio Solimões**. Edua, Manaus. 172 pp. 2007.

SOUZA, E. P.; N. O. RENNO; M.A.F. SILVA DIAS. **Convective circulations induced by surface heterogeneities**. Journal of Atmospheric Sciences, 57, 2915-2922. 2000.

SOUZA, L. A. **Sustentabilidade ecológica e econômica da Pesca de Subsistência na Amazônia Central**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas, 139.pp. 2003.

SOUZA, L. A. **Sustentabilidade da pesca através da inclusão do homem em modelos predador-presa: um estudo de caso no Lago Preto, Manacapuru, Amazonas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Amazonas, 112 pp. 2007.

STARFIELD, A.M.; BLELOCH. **Building models for conservation and wildlife management**. Macmillan Publishing Company. N. Y and Collier Macmillan Publishers. London. 1986.

STERGIOU, K.I.; CHRISOU, E.D.; PETRAKIS, G. **Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods**. Fisheries Research. 29: 55 - 95. 1997.

ULANOWICZ, R.E. **Growth and Development: Ecosystem Phenomenology** Springer Verlag. NY. 203 pp. 1986.

VAL, A. L.; ALMEIDA-VAL, V. M. F. DE. **Mudanças climáticas e Biodiversidade na Amazônia**60 RO SBPC. Anais...2008

VERHULST, P.F. **Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement**. Correspondence Mathematique et Physique 10: 113-121. Tradução inglesa abreviada. 1838.

VERÍSSIMO, J. **A pesca na Amazônia**. Rio de Janeiro, Livr. Alves, 137p. 1895.

VERMEER, M.; RAHMSTORF, S. Global sea level linked to global temperature. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 51, p. 21527–32, 22 dez. 2009.

VIEIRA, E. F. V. **Determinação da idade e crescimento do jaraqui de escama grossa (*Semaprochilodus insignis*) na Amazônia Central**. Dissertação de Mestrado, INPA/FUA, Manaus. 77 p. 1999.

VIEIRA, E. F. V.; ISAAC, V.; FABRÉ, N. N. **Biologia reprodutiva do tambaqui *Colossoma macropomum* (TELEOSTEI, SERRAMIDAE) no Baixo Amazonas**. Acta Amazonica, 29(4): 1-14. 1999.

VOLTERRA, V. **Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie**. Ed. Marcel BreLOT. Paris. 1931.

VOLTERRA, V. **Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi**. Mem. R. Accad. Naz. De Lincei. Ser. VI, vol.2. 1926.

VON BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. Ed. Vozes (RJ). 351 pp. 1977.

WULFF, F.; FIELD, J.G.; MANN, K.H. (eds). **Coastal and estuarine studies**. Network analysis in marine ecology - methods and applications. Ed. Springer-Verlag. 284p. 1989.