

ESTIMATIVA DA FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO NA REPRESA DO LOBO - SP ATRAVÉS DO BALANÇO DO NITROGÊNIO

Fernanda Valeriano Macarenko

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017040

ORIENTADOR: Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar



São Carlos
1998

Classe.	TESE-EESC
Curr.	3229
Tombo	T0102/98

31100017040

Ciências da Engenharia Ambiental

st 0964714

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

M115e Macarenko, Fernanda Valeriano
Estimativa da fixação de nitrogênio na represa
do Lobo - SP através do balanço do nitrogênio /
Fernanda Valeriano Macarenko. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Bohdan Matvienko Sikar.

1. Represa do Lobo. 2. Balanço de nitrogênio.
3. Fixação de nitrogênio. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Bacharela **FERNANDA VALERIANO MACARENKO**

Dissertação defendida e aprovada em 30-03-1998
pela Comissão Julgadora:

Bohdan Matvienko

Prof. Associado **BOHDAN MATVIENKO SIKAR (Orientador)**
(Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Evaldo Luiz Gaeta Espíndola

Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

José Eduardo dos Santos

Prof. Titular **JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

Maria do Carmo Calijuri

Profa. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental

José Carlos A. Cintra

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Dedico este trabalho à minha
mãe Vera Thelma que está
sempre à frente do seu tempo*

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao Prof. Bohdan Matvienko Sikar pela atenção e gentileza durante a orientação ao longo deste trabalho.

À minha família, meu porto-seguro.

À vó Ana e tio Geraldo que sempre me ajudaram.

Ao Má por sua sensibilidade em todos os anos de convivência.

À Férmand's, amiga e irmã, que está comigo em todas as horas.

Ao Prof. Fazal Hussain Chaudhry que muito me incentivou no início do mestrado.

Aos amigos do CRHEA, principalmente William, Ricardo, Mário, Nilo, Yutaka, Assis, Glaucia, Érica e Paulo pelo companheirismo e boas risadas.

Ao Sebastião agradeço a ajuda nas coletas.

À Val e Jaque pelas horas de boa conversa.

À Prof. Mirna Januária Leal Godinho agradeço a gentileza ao emprestar o coletor de sedimentos.

Aos professores, funcionários e técnicos do CRHEA pois sem eles este trabalho não teria sido realizado.

Ao Daniel, agradeço toda sua dedicação e incentivo,
imprescindíveis para a finalização deste trabalho.

"...entender que nós seres humanos que queremos compreender o mundo em que vivemos, estamos mirando um grande milagre que de longe ultrapassa a nossa capacidade de pensar e dispõe de dimensões para nós inimagináveis."

Harald Sioli

Acta Limnologica Bras. Vol. IV, p.3

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Importância do nitrogênio	3
2. OBJETIVOS	12
3. CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Descrição da área de estudos	13
4.2 Justificativa dos pontos de coleta	15
4.3 Periodicidade das coletas	16
4.4 O cálculo da fixação de nitrogênio	18
4.5 Procedimento de amostragem	19
4.5.1 De água	19
4.5.2, De sedimento	19
4.6 Velocidade da correnteza e vazão	20
4.6.1 Medição	20
4.6.2 Cálculo da vazão	21
4.7 Água proveniente do lençol freático	21
4.7.1 Vazão do lençol freático	22
4.8 Sedimentação de nitrogênio	23
4.9 Precipitação e evaporação	24
4.10 Desnitrificação e decomposição de aminoácidos	24
4.11 Comentários gerais sobre cálculos e procedimentos de coleta	25
4.12 Análises em laboratório	25

4.12.1 Amônio	25
4.12.2 Nitrato e nitrito	26
4.12.3 Nitrogênio orgânico	26
4.13 Procedimentos com os cálculos	27
4.13.1 Cálculo da carga de nutrientes a partir da absorbância	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Fixação	29
5.2 Afluentes	32
5.3 Lençol freático	34
5.4 Sedimentos	38
5.5 Perspectivas da fixação de nitrogênio	38
6. CONCLUSÕES	39
ANEXOS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
OBRAS CONSULTADAS	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Representação simplificada do ciclo do nitrogênio	5
FIGURA 2: Localização dos pontos de coleta na Represa do Lobo	17
FIGURA 3: Representação esquemática das entradas e saídas de nitrogênio na Represa do Lobo	19

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Balanço de nitrogênio na Represa do Lobo (KgN/mês) - 1996	31
TABELA 2: Contribuição relativa (%) de nitrogênio total dos diversos componentes do balanço (KgN/mês)	31
TABELA 3: Nitrogênio, vazão de água (Q, unidade L/s) e carga (C, unidade KgN/mês) no efluente da Represa do Lobo	32
TABELA 4: Nitrogênio (mg/L), vazão (L/s) e carga (KgN/mês) nos afluentes da Represa do Lobo	33
TABELA 5: Dados sobre o lençol freático: nitrogênio orgânico (mg/L), vazão (Q- unidade L/s) e carga (C - unidade KgN/mês)	34
TABELA 6: Contribuição relativa (%) de água dos afluentes e lençol freático na Represa do Lobo.	35
TABELA 7: Concentração de nitrogênio no lençol freático (unidade mg/L).	36
TABELA 8: Dados sobre sedimento na Represa do Lobo (H= Hobby Clube; P= Perdizes; B= Barragem)	39
TABELA 9: Balanço de água (unidade L/s) na Represa do Lobo- 1996.	40

LISTA DE ABREVIATURAS

Geraldo - Ribeirão do Geraldo

Água Branca - Córrego da Água Branca

Itaqueri - Ribeirão Itaqueri

Lobo - Ribeirão do Lobo

Perdizes - Córrego das Perdizes

Efluente - Rio Jacaré-Guaçu

LISTA DE SÍMBOLOS

Q - vazão do efluente, afluentes e lençol freático (L/s)

N-tot - concentração de nitrogênio total (orgânico + inorgânico) em mg/L

C - aporte de nitrogênio, em massa de nitrogênio por unidade de tempo (KgN/mês)

N-inorg. - concentração de nitrogênio inorgânico (mg/L)

N-org. - concentração de nitrogênio orgânico (mg/L)

%mat seca - quantidade de matéria seca no sedimento (%)

%água - quantidade de água no sedimento (%)

RESUMO

A Represa do Lobo foi tratada como “caixa-preta” para se fazer o balanço de nitrogênio. Foram quantificadas mensalmente as entradas de nitrogênio através dos afluentes e do lençol subterrâneo e as saídas através do efluente, processos de desnitrificação e decomposição de aminoácidos e fossilização. A fixação de nitrogênio realizada pelos microrganismos foi determinada numericamente e resultou em 154.080 kg N ano⁻¹. Se o nitrogênio gasoso desprendido pela represa for considerado como não proveniente da desnitrificação a taxa de fixação que resulta é de 62 082 Kg N ano⁻¹. O valor de fixação variou mensalmente, correspondendo de 31 a 90% da entrada total de nitrogênio para a represa. O balanço de água na Represa do Lobo mostrou que o lençol subterrâneo contribui com 20 a 80% da vazão de água para a Represa, mas o aporte de nitrogênio através dele não é a maior contribuição (em relação aos outros componentes do balanço) pois a concentração de nitrogênio total é baixa.

ABSTRACT

The Lobo Reservoir was treated as a black-box to establish its nitrogen budget. Nitrogen inputs were quantified considering river and ground water inflows and the outputs through effluent, denitrification and aminoacid decomposition and fossilization. The nitrogen fixation realized by microorganisms was determined numerically and was $154.000 \text{ kg N y}^{-1}$. If the gaseous nitrogen released by the reservoir is considered as originating through some mechanism other than denitrification, the fixation rate is calculated to be $62.082 \text{ kg N y}^{-1}$. The fixation value changed monthly and accounts for 31 to 90% of the nitrogen input to the reservoir. The water budget shows groundwater to contribute with 20 a 80% of the inflow but with its low nitrogen concentration it is not the largest source of nitrogen.

1. INTRODUÇÃO

A Represa do Lobo é um sistema amplamente estudado desde a década de 70, onde diversos estudos sobre as características físicas, químicas e biológicas do sistema já foram apuradas. No entanto, estudos sobre balanço de massa ainda não foram desenvolvidos, não se encontrando informações, por exemplo, sobre o balanço do nitrogênio para esse sistema. Sendo assim, a Represa do Lobo, nesse estudo, será tratada como “caixa-preta” quantificando-se as entradas e saídas de nitrogênio sem preocupação com os processos internos tais como ciclagem de nutrientes e dinâmica de microrganismos.

A “caixa-preta” é considerada estável, não havendo nela aumento ou diminuição do estoque de nitrogênio no período amostrado. Antecipando o resultado que mostra alta taxa de fixação pode-se comentar que se o estoque do nitrogênio na “caixa-preta” aumentar, deverá haver um correspondente aumento da taxa de nitrogênio que entra no reservatório. Ou seja, um reservatório em vias de eutrofização, por razões de consistência, exigiria maior taxa de entrada de nitrogênio que um ambiente estável.

Este é um primeiro balanço no sistema e concluído o trabalho, a taxa anual de fixação surpreendeu pela taxa de fixação bastante grande encontrada. Para pôr em perspectiva o modo de se obter o resultado foram feitos balanços adicionais com suposições drásticas. Estas sendo que não haja desnitrificação e que a água da chuva tenha a concentração de nitrogênio total como sendo a média da concentração de nitrogênio dos afluentes; ambas suposições com certeza excessivas. Com isto, obtém-se ainda uma taxa anual de fixação de nitrogênio muito alta. Não se tem explicação para ela, razão pela qual adverte-se para se usar este número com precaução.

Para o entendimento da dinâmica dos ambientes aquáticos é necessário a obtenção de dados limnológicos básicos em relação às principais variáveis físicas, químicas e biológicas como transparência da água, concentração de oxigênio e nutrientes dissolvidos, material em suspensão, composição e interação entre a comunidade de organismos e outros. A ação conjunta dessas variáveis interagindo com o clima, relevo, vegetação e solo irá caracterizar o ambiente aquático, seja ele lótico (rio) ou lântico (lago, lagoa, reservatório ou represa).

Além disso, as características dos corpos d'água são influenciadas por fatores internos como ciclagem de nutrientes, produção de biomassa e decomposição. Por outro lado, fatores externos como clima, cobertura vegetal, atividades agrícolas, a intensidade do uso do solo, a forma e a localização da bacia hidrográfica influenciam no transporte e acúmulo de sedimentos e nutrientes no interior dos corpos d'água e na qualidade da mesma.

Segundo FERREIRA *et al.* (1992) os processos de transporte de nutrientes, que resultam no aporte destes a um corpo d'água, estão vinculados diretamente ao grau e tipo de ocupação humana, tipos de solos e outras variáveis geomórficas, sendo a ocupação e uso do solo sujeitas a controle, pois decorrem da interferência humana.

Além do processo natural de eutrofização, que é o enriquecimento orgânico e inorgânico ao qual o reservatório está submetido, a ação antrópica faz com que esse processo natural seja acelerado, diminuindo assim a qualidade da água e a capacidade de vida útil do reservatório através do acúmulo de sedimentos. Segundo TUNDISI (1978), a partir do fechamento das comportas a eutrofização é um fenômeno irreversível.

A sociedade tem se preocupado cada vez mais com a conservação dos recursos hídricos já que são crescentes os problemas devido à redução da qualidade de água para o abastecimento, irrigação e lazer. A utilização racional dos recursos hídricos garante às futuras gerações o uso dos mesmos. Sendo assim, cabe à ciência viabilizar a utilização racional e também a recuperação de áreas degradadas através de uma visão holística do meio

ambiente (PIÃO, 1995). Conhecendo-se as características físicas, químicas e biológicas do meio pode-se fazer o manejo dos reservatórios para usos múltiplos (recreação, abastecimento, irrigação, refrigeração, produção de energia, etc). Segundo TUNDISI (1986) as opções para manejo ainda são relativamente escassas no Brasil, entretanto, a evolução da pesquisa científica e o aprofundamento dos conhecimentos dos processos devem possibilitar a implantação de técnicas apropriadas de manejo com características regionais .

Reservatórios no Brasil são ecossistemas artificiais de grande importância ecológica e econômica. O número destas represas, a sua localização diferenciada em várias latitudes e longitudes, em diferentes bacias hidrográficas, e as características de funcionamento destes sistemas, justifica plenamente o aprofundamento dos estudos limnológicos e ecológicos com a finalidade de ampliar o nível e o número de informações disponíveis (CALIJURI & TUNDISI, 1990). Segundo TUNDISI (1988) os impactos no ecossistema aquático natural devido às modificações causadas pela construção de reservatórios são: hidrológico, geofísico, climático e físico-químico, o que contribui para a modificação da fauna e flora terrestre e aquática.

1.1 Importância do nitrogênio

O processo de eutrofização ao qual está sujeito o reservatório compreende o enriquecimento da água por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. O nitrogênio é muito importante para os seres vivos pois é constituinte de várias moléculas essenciais à vida como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, purinas (adenina e guanina), pirimidinas (citosina, uracila, timina), enzimas e vitaminas. Para ressaltar a importância do nitrogênio, segue uma breve descrição sobre o papel das proteínas e enzimas para os seres vivos.

As proteínas são macromoléculas cujas unidades básicas são os aminoácidos. São formadas de C, H, O, N e S comportando P em alguns casos, e são, em quantidade e

qualidade, as macromoléculas essenciais à constituição e ao funcionamento da matéria viva. As proteínas com peso molecular entre, 6.000 (insulina) e 500.000 (hemocianina), por exemplo, formam de 50 a 80% do peso seco de um triturado celular. Por outro lado, a célula só se mantém viva, pela organização de milhares de reações químicas simultâneas que constituem seu metabolismo. Cada uma dessas reações é catalisada por um catalisador orgânico chamado enzima. Uma enzima é uma proteína sintetizada numa célula viva e catalisa ou acelera uma reação de modo que a velocidade da mesma é compatível com o processo bioquímico essencial para a manutenção da vida. Cada enzima é específica de uma reação devido à sua natureza proteica e faz com que essa reação ocorra numa velocidade útil, em pH, pressão e temperatura necessários para a manutenção da vida das células.

O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas. O gás molecular, N_2 , está presente em dependência da pressão parcial na água e na atmosfera, ocorrendo o intercâmbio entre água e atmosfera através de difusão. O nitrogênio orgânico está presente dissolvido (mais que 50% do N total é dissolvido) ou sólido (organismos). O íon amônio, NH_4^+ , representa um forma importante para os organismos produtores, especialmente porque sua absorção é energeticamente mais viável pois não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato, que é reduzido pela nitrato-redutase até amônio; porém quantitativamente inexpressiva para o abastecimento dos organismos. Altas concentrações do íon amônio influenciam fortemente a dinâmica do oxigênio dissolvido, uma vez que para oxidar 1 mg de íon amônio (devido à nitrificação) são necessários 4,3 mg de oxigênio. Em pH básico o íon amônio se transforma em amônia que em concentrações superiores a 0,25 mg/L afetam o crescimento de peixes, embora a concentração letal seja 0,5 mg/L. Para atingir estes níveis deve ocorrer simultaneamente pH > 9, temperatura > 26°C e baixos valores de potencial de oxi-redução. O hidróxido de amônio, NH_4OH , forma dissolvida de amônio na água, é tóxico para peixes e a correlação entre essa forma e a forma anterior depende do pH. Hidroxilamina, NH_2OH , representa a

primeira etapa de oxidação de amônio a nitrito. O nitrito, NO_2^- , possui importante papel como passo intermediário na oxidação do nitrogênio a nitrato; dentro do balanço geral representa apenas uma fase intermediária. O nitrato, NO_3^- , é a última fase da oxidação do nitrogênio (denominada nitrificação) sendo a forma principal como elemento nutritivo para plantas. Juntamente com o amônio, com o fosfato e carbono constitui nutriente elementar no metabolismo de um ecossistema aquático. Na FIGURA 1 pode-se visualizar uma representação esquemática simplificada do ciclo do nitrogênio.

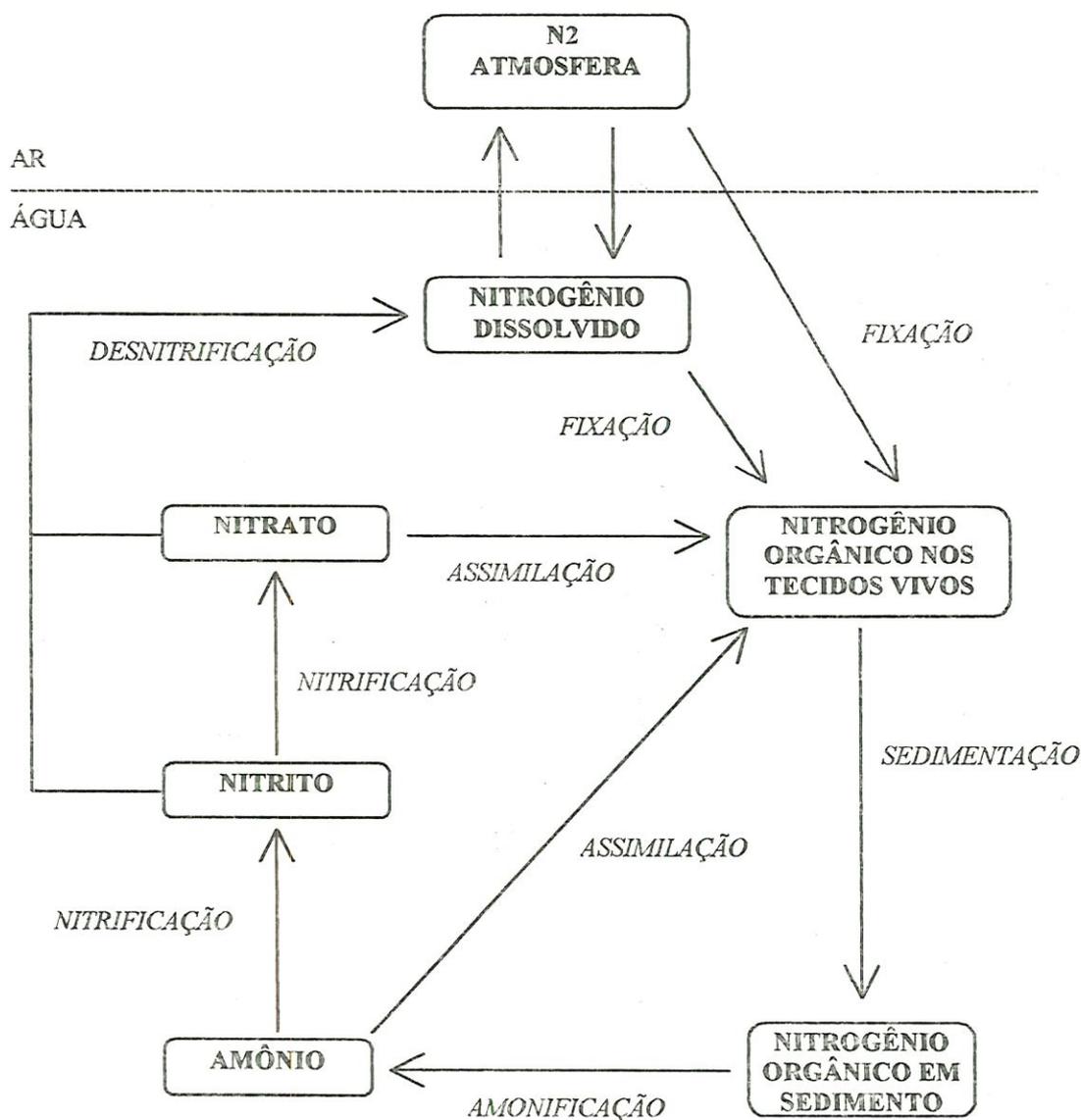


FIGURA 1: Representação simplificada do ciclo do nitrogênio

Como descrito acima, o nitrogênio está presente no reservatório sob várias formas e estes compostos de nitrogênio podem provir dos afluentes (inclusive água subterrânea), precipitação na superfície do lago e fixação biológica. As perdas ocorrem pelos efluentes, pela volatilização do nitrogênio na superfície da água (geralmente desprezível), pela desnitrificação e pela deposição nos sedimentos. Segundo HUTCHINSON (1975), a

maior parte da entrada ocorre pelos afluentes e a maior parte da perda é através do efluente. SANTOS (1981) estudando fixação de nitrogênio em rizosfera de macrófitas aquáticas na Represa do Lobo, concluiu que a fixação biológica do nitrogênio não é a principal forma de contribuição deste nutriente para a comunidade vegetal. Como mecanismo de regulação da biomassa na biosfera as taxas de fixação são naturalmente baixas (WHITAKER, 1993).

Segundo ESTEVES (1988) as principais fontes naturais de nitrogênio para os ambientes aquáticos são a chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago. A perda de nitrogênio pela volatilização pode ocorrer, por exemplo com o íon amônio a altos valores de pH. Na Represa do Lobo ela é provavelmente insignificante pois o pH da represa é normalmente ácido.

O reservatório de nitrogênio é a atmosfera e nela o nitrogênio encontra-se como N_2 , que é extremamente inerte e sem utilidade biológica pois não pode ser prontamente assimilado pelos seres vivos. Para que ele possa ser utilizado pelos seres vivos ele precisa ser transformado em uma forma assimilável. O nitrogênio entra na síntese de aminoácidos e outras biomoléculas na forma reduzida NH_4^+ . Através de um processo bioquímico, o nitrogênio sob forma inerte na atmosfera se torna disponível aos seres vivos. Esse processo redutor, chamado fixação de nitrogênio, é realizado por bactérias e algas cianofíceas, organismos anucleados e primitivos. Eles conseguem converter o gás nitrogênio, sem utilidade biológica, nas formas nitrogenadas capazes de construir e manter vivo o citoplasma. Esses microrganismos podem ser assimbióticos ou simbióticos.

Entre os assimbióticos estão as algas que ocorrem em lugares com luz suficiente para a fotossíntese. Elas possuem capacidade colonizadora pois são autotróficas e podem viver em simbiose com líquens. Dezoito gêneros são capazes de fixar nitrogênio na família das *Cyanophyceae*, citando-se como principais: *Nostoc*, *Calothrix*, *Anabaena*, *Aulosira*, *Cylindrospermu* e *Tolipothrix*. Também bactérias de vários gêneros fixam nitrogênio livremente. Elas podem ser fotossintetizadoras, heterotróficas ou quimioautotróficas. As bactérias fotossintetizadoras são pouco representativas pois requerem anaerobiose, sendo

restritas a ambientes úmidos ou encharcados. Estes organismos são encontrados em menor densidade na coluna d'água e em maior densidade no sedimento e sobre macrófitas aquáticas.

As heterotróficas como *Achromobacter*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* e *Azospirillum* contribuem pouco com o suprimento de nitrogênio mas são importantes para o entendimento dos mecanismos que regem a fixação deste elemento. PONTES (1988) estudando a contribuição do nitrogênio fixado por cianobactérias de vida livre em cultura de arroz irrigado, verificou que 21% do nitrogênio necessário à produção de biomassa de arroz provém dos organismos estudados.

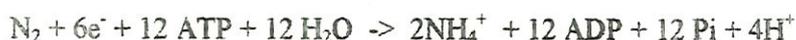
Inúmeras associações de microrganismos e plantas são citadas na literatura: leguminosas e *Rhizobium*, angiospermas e actinomicetos, algas azuis-verdes em líquens e outras plantas inferiores como briófitas, *Cycadaceae*, *Gunnera*, *Azolla*; microrganismos associados à filosfera e à rizosfera, e microrganismos não nodulantes nas raízes de determinadas plantas.

A fixação do nitrogênio é energeticamente cara pois é preciso muita energia para se quebrar a ligação tripla entre os dois átomos de nitrogênio (sua energia de ligação é 225 Kcal/mol), portanto bastante resistente à agressão química, a transição ATP → ADP libera 12 kcal/mol. Lavoisier denominava o N₂ de "azoto" que quer dizer "sem vida". Para se ter uma idéia da quantidade de energia necessária, são necessárias 10 g de glicose para que as bactérias das leguminosas fixem 1 g de nitrogênio. Os organismos de vida livre são menos eficientes e podem precisar de 100 g de glicose para fixar 1 g de nitrogênio (ODUM, 1985).

De modo semelhante uma grande quantidade de combustível fóssil é necessária para fixar o nitrogênio de forma industrial, por isso os fertilizantes nitrogenados são mais caros que os demais. O processo de fixação industrial é semelhante ao da fixação natural mas é realizado a 200 atm de pressão e 450°C. Esse processo foi desenvolvido pelos alemães que

na primeira guerra mundial tiveram acesso impedido aos campos chilenos de nitrato e assim foi necessário descobrir outra fonte de nitrogênio para seus explosivos.

O processo biológico da fixação requer um complexo enzimático, o complexo nitrogenase. Ele é composto por duas proteínas conhecidas como molibdeno-ferro-proteína (nitrogenase) e ferroproteína (redutase). A primeira tem peso molecular de 250.000, sendo composta de quatro subunidades, possui 24 átomos de ferro e dois de molibdênio. A segunda tem peso molecular 55.000 com quatro átomos de ferro, constituindo-se de duas subunidades de proteína. A redutase fornece elétrons com alto poder redutor e a nitrogenase, que usa os elétrons para reduzir N_2 para NH_4^+ (STRYER, 1992). A estequiometria da reação catalisada pelo complexo nitrogenase e que utiliza ATP é:



Um mecanismo de proteção ao oxigênio é necessário para a nitrogenase tendo em vista a susceptibilidade ao O_2 das duas proteínas componentes da nitrogenase, auto-oxidação da ferredoxina e flavodoxina que atuam como transportadores de elétrons e inibição do desenvolvimento e atividade da nitrogenase em seres aeróbicos com excesso de O_2 .

Além do nitrogênio a nitrogenase reduz outros compostos, como o óxido nitroso (NO), cianetos (CN⁻), acetileno (C_2H_2) e hidrogênio e conseqüentemente a fixação de nitrogênio pode ser determinada pelo enriquecimento de nitrogênio ou, por analogia, através da análise dos produtos de redução de outros substratos.

O método direto é o de enriquecimento de ^{15}N , utilizando $^{15}N_2$ e monitorando este isótopo no produto, entretanto a facilidade de utilização da reação de redução do acetileno a etileno, pelas enzimas fixadoras, fazem com que este seja o método mais usado na atualidade. O método utilizado resume-se em colocar o material a ser analisado em recipiente que possa ser hermeticamente fechado por rolha de borracha, e substituí-se 10%

da atmosfera do frasco por acetileno. Em sistemas anaeróbicos a atmosfera do frasco deve ser substituída por mistura de $N_2 + Ar + CO_2$. As vantagens da redução são: a reação $C_2H_2 \rightarrow C_2H_4$ é $10^3 - 10^4$ vezes mais sensível que a redução do $^{15}N_2$. Deste modo o uso do método do acetileno em estudos de fixação é muitas vezes preferido por usar equipamento mais simples em comparação com o método da marcação isotrópica, apesar de sua qualidade de interferir muito menos nos processos bioquímicos. No processo do acetileno o produto gasoso pode ser avaliado imediatamente sem transformação química ou manual, o produto é estável durante o armazenamento e na determinação por cromatografia gasosa há separação do substrato e do produto dos demais hidrocarbonetos; pode ser usado *in situ*. As desvantagens são a natureza explosiva do etileno e acetileno, e as limitações no medir a "atividade" da enzima, o que dificulta a correlação com outros parâmetros biológicos.

A relação estequiométrica mais usada entre o C_2H_2 reduzido e o N_2 fixado é de $3 C_2H_2 : N_2$ fixado, baseada no número de elétrons utilizados em cada reação (redução de $N_2 - 6$ elétrons, redução de $C_2H_2 - 2$ elétrons).

Vários compostos nitrogenados inorgânicos como íon nitrato, íon nitrito, amônia e um grande número de compostos nitrogenados orgânicos fazem parte do ciclo do nitrogênio. Assim, o nitrogênio pode existir na natureza numa forma altamente oxidada (íon nitrato) ou num estado altamente reduzido (amônia). Os átomos de nitrogênio passam eventualmente pelo ciclo do nitrogênio, para o qual a atmosfera serve como um reservatório. O nitrogênio é removido do reservatório pelo processo de fixação, e retorna pelo processo de desnitrificação. Com relação ao estudo dos ciclos biogeoquímicos, ODUM (1985) considera que as taxas de troca ou de transferência de um lugar para o outro são mais importantes para se determinarem a estrutura e a função de um ecossistema que as quantidades presentes num dado momento e lugar.

Segundo WHITAKER (1993) a utilização de técnicas holísticas como modelos de balanço de massa, possui a vantagem de integrar os dados em escalas temporais e

espaciais superiores e portanto podem abranger a diversidade do ecossistema. Estes modelos baseiam-se no balanço de massa do nitrogênio e fósforo em todo o lago.

Segundo HUTCHINSON (1975) a primeira tentativa de se construir um balanço quantitativo de nitrogênio foi efetuado em 1939 por Mortimer para Windermere. O total de entrada foram 326 e a saída 318 toneladas métricas. Aproximadamente 5 toneladas perdidas para o sedimento. Então 326 toneladas equilibram com 323. Mortimer acredita que de 20 a 50 toneladas que provém de outras fontes não são consideradas e conclui que deve haver desnitrificação no lago estudado. Mortimer também notou que a concentração de nitrato e o total de nitrogênio nos afluentes é quase o mesmo ou um pouco menos que nos efluentes, em lagos pouco produtivos; em lagos mais produtivos a concentração nos efluentes foi menor que nos afluentes em Windermere e Mendota. Em 1949, ROHLICH e LEA apud HUTCHINSON (1975) avaliaram o balanço de nitrogênio do Lago Mendota e concluíram que 114,4 toneladas são retidas ou perdidas no lago e que boa parte deve ser através da desnitrificação

Estudos completos sobre balanço de nitrogênio em lagos ainda são raros. As informações dizem respeito aos sedimentos, à desnitrificação ou a outro processo isolado do ciclo do nitrogênio. OLSEN & ANDERSEN (1994), estudando o Lago Kvie, Dinamarca, concluíram que a capacidade de remoção de nitrogênio pela desnitrificação foi de 77% da entrada anual do mesmo no lago.

Segundo GIANOTTI (1994), a perda de nitrogênio pela desnitrificação é de 0,41% e a fixação contribui com um aporte de 2% do total global de nitrogênio na Lagoa do Infernã. Verificou, ainda, que as taxas de desnitrificação são mais elevadas na estação chuvosa, possivelmente devido à entrada de nutrientes e de matéria orgânica alóctone neste período.

WHITAKER (1993), estudando a área alagada da Represa do Lobo, concluiu que a capacidade de remoção de nitrato pela desnitrificação foi no máximo 10 a 20% por dia, das concentrações de nitrato existentes, para os sedimentos dos locais estudados.

Segundo FERESIN (1991), as taxas de nitrificação suprem parte do nitrato requerido pela comunidade aquática da Lagoa do Infernã, sendo o sedimento o principal fornecedor e estocador do sistema.

DOWNING & McCAULEY (1992) analisaram dados publicados sobre a relação nitrogênio total com fósforo total. A comparação dos dados sugere que TN:TP reflete a fonte de nutrientes, sendo que a taxa é alta em lagos oligotróficos porque eles recebem N e P de fontes naturais, águas que exportam muito menos P que N; lagos mesotróficos e eutróficos recebem fontes de nutrientes de várias misturas que tem em média uma proporção N:P menor. Assim TN:TP é alta em lagos oligotróficos e muito baixa em lagos eutróficos.

MATHEUS & TUNDISI (1988) estudaram a qualidade da água dos córregos formadores da Represa do Lobo, principalmente do ponto-de-vista dos nutrientes inorgânicos e concluíram que a vegetação ciliar desempenha papel fundamental na proteção dos cursos d'água através da retirada de substâncias particuladas e dissolvidas. O Córrego da Água Branca tem potencialidade para promover a eutrofização da represa devido aos altos valores de nitrogênio e fósforo em suas águas. O Córrego do Itaqueri sofreu profundas modificações ambientais, uma vez que suas águas foram represadas pelo assoreamento.

2. OBJETIVOS

1. Estimar a taxa anual de fixação de nitrogênio na Represa do Lobo (Broa), através da realização de um balanço de massa deste nutriente.

2. Realizar um balanço de água do reservatório, quantificando as entradas pelos afluentes e a saída pelo efluente do reservatório.

3. Contribuir para um conhecimento maior desse reservatório, gerando subsídios para estudos científicos de manejo e recuperação do sistema.

3. CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS

As contribuições originais deste trabalho para a Represa do Lobo são o balanço das entradas e saída de água e a estimativa da taxa anual de fixação de nitrogênio calculada a partir do balanço do nitrogênio.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudos

A Represa do Lobo está situada entre os municípios de Brotas e Itirapina, na região central do Estado de São Paulo (latitude $22^{\circ}10'S$ e $22^{\circ}21'S$ longitude $47^{\circ}46'W$ e $47^{\circ}57'W$). Ela foi construída em 1936 para a produção de energia elétrica e tem como principais afluentes os ribeirões do Lobo e Itaqueri (CALIJURI, 1975) além dos córregos das Perdizes e Geraldo. Atualmente a produção de energia só acontece em situações emergenciais, sendo utilizada mais para recreação, pesquisa e abastecimento de água local.

A represa é caracterizada pela presença de duas regiões distintas: uma porção superior, de reduzida profundidade, com densa vegetação de macro- hidrófitas, com

aspectos que tendem a eutróficos e uma porção inferior, de maior profundidade, com aspectos oligotróficos (CALIJURI, 1985).

Segundo TUNDISI (1996), o clima da região é controlado por massas de ar equatorial e tropical, com um período seco (maio a outubro) e úmido (novembro a março/abril). A vegetação predominante é o cerrado, mas ocorrem áreas de reflorestamento com *Pinus* e *Eucalyptus*. Também encontra-se áreas de mata galeria nas regiões mais úmidas e de solos mais férteis ao longo dos rios. Segundo CALIJURI & TUNDISI (1990), o solo da bacia hidrográfica pode ser classificado em oito tipos: solos hidromórficos, solos orgânicos, latossolo, regossolo, solos litólitos, "terra-roxa" (solo derivado do basalto), solos podzólicos e solos arenosos.

Segundo TUNDISI (1986) a bacia hidrográfica da Represa do Lobo possui as seguintes características:

- Área da bacia: 227,7 Km²
- Densidade de drenagem: 0,75 Km/ Km²
- Declividade: 57,5 m/km
- Altitude máxima: 940 m
- Altitude média: 770 m
- Altitude mínima: 680 m

As características morfométricas do reservatório do Lobo (Broa) são:

- Área de superfície: 6,8 km²
- Comprimento máximo: 8 Km
- Largura máxima: 2 Km

- Largura média: 0,9 Km
- Profundidade máxima: 12 m
- Profundidade média: 3 m
- Perímetro: 21 km
- Volume: $22 \times 10^6 \text{ m}^3$

4.2 Justificativa dos pontos de coleta

Foram escolhidos seis pontos para a coleta de água e medição de vazão, sendo quatro pontos nos afluentes primários da represa (Córrego do Geraldo, Ribeirão Itaqueri - antes da confluência com o Córrego da Água Branca, Ribeirão do Lobo e Córrego das Perdizes). O quinto ponto é o Córrego da Água Branca que é afluente do Ribeirão Itaqueri e recebe esgoto doméstico da cidade de Itirapina e o sexto ponto é no rio Jacaré-Guaçu que é o efluente da represa.

Os locais de coleta nos afluentes têm distâncias variáveis da área de desembocadura na represa e foram escolhidos de acordo com a facilidade de acesso pela estrada. As amostras de água não foram coletadas em pontos muito próximos à represa devido à dificuldade de acesso com barco, e também porque quando as águas dos afluentes desembocam na mesma suas características originais são alteradas porque elas se misturam rapidamente. Os pontos de coleta de água subterrânea estão situados na margem esquerda da represa, onde foram instalados inúmeros piezômetros.

Os sedimentos foram coletados em três pontos da represa, para análise de percentuais de nitrogênio orgânico, água, matéria seca e peso específico. Os pontos de coleta localizaram-se em frente à desembocadura do Córrego das Perdizes, próximo à barragem e

em frente ao Hobby Clube. Os pontos de coleta podem ser melhor visualizados na FIGURA 2.

4.3 Periodicidade das coletas

Foram realizadas três coletas em janeiro e duas em fevereiro de 1996. Nessas coletas foram coletadas água dos afluentes e efluente da Represa do Lobo sendo que a velocidade da correnteza não foi medida por falha no equipamento. As amostras de água foram analisadas em relação a nitrito, nitrato e amônio. No período de março a dezembro de 1996 as amostras de água coletadas dos afluentes e efluente da represa foram analisadas em relação a nitrato e nitrito (nitrogênio inorgânico) e nitrogênio orgânico total, pois para o balanço é considerado o nitrogênio total, sem discriminação das espécies de nitrogênio. Também foram medidas as vazões dos afluentes e efluente.

Já para os meses nos quais não houve medição de vazão (janeiro, fevereiro e agosto), o balanço de nitrogênio não foi calculado.

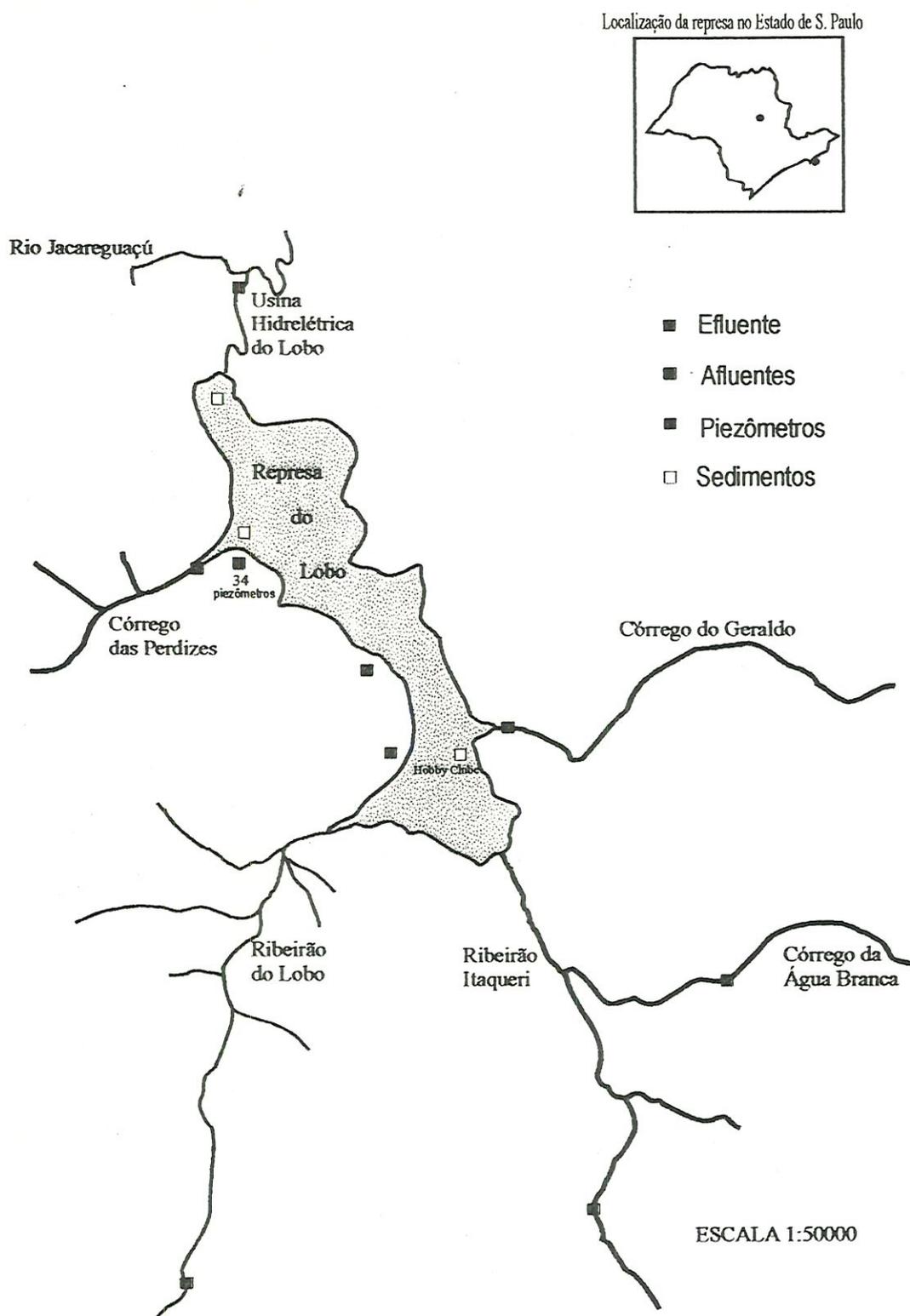


FIGURA 2: Localização dos pontos de coleta na Represa do Lobo

4.4 O cálculo da fixação de nitrogênio

A estimativa da quantidade de nitrogênio fixado anualmente na Represa do Lobo foi obtida através de um balanço de massa deste nutriente. As entradas do mesmo na represa ocorrem pelos afluentes (A), pela fixação biológica (F) e pela água que penetra na represa através do lençol freático (L) sendo que as perdas de nitrogênio ocorrem: pelo efluente (E), pela fossilização (Fo) e pelo processo de desnitrificação e decomposição de aminoácidos (D).

Foram avaliadas experimentalmente as entradas (com exceção da fixação) e saídas, fazendo:

- $F + A + L = E + F_o + D$ onde obtém-se o valor de F através de:
- $F = D + E + F_o - A - L$

Portanto, a fixação será estimada numericamente através do balanço de massa do nitrogênio. Na FIGURA 2 está a representação esquemática do balanço de nitrogênio na represa, tratando a mesma como caixa-preta. Sendo este trabalho um primeiro balanço não foi feita tentativa de explicar detalhes de dinâmica interna da represa, mas do ponto-de-vista aplicado WHITAKER (1993), ressalta que o balanço é importante com respeito à quantificação dos aportes e sobrecarga de nitrogênio no sistema aquático e seus efeitos sobre a produtividade.

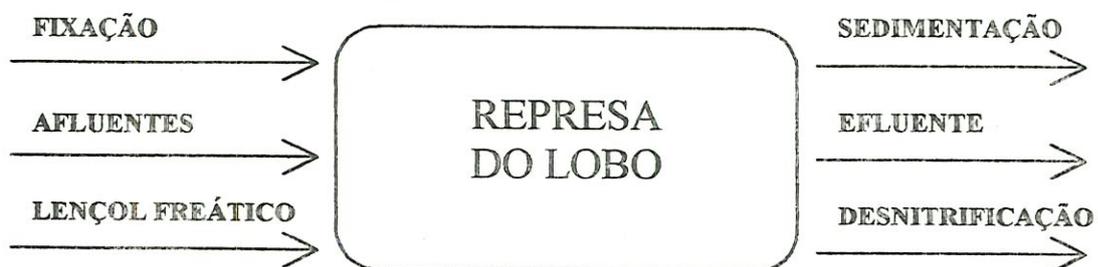


FIGURA 3: Representação esquemática das entradas e saídas de nitrogênio na Represa do Lobo

4.5 Procedimento de amostragem

4.5.1 De água

As amostras de água foram coletadas, através de recipientes plásticos, da superfície dos afluentes e efluente e em seguida as garrafas eram tampadas. Ao chegar no laboratório, as amostras de água coletadas em cada rio, foram divididas em duas partes. A primeira parte era filtrada (sob vácuo) com filtros de fibra de vidro (Whatman-GF/C) e congeladas imediatamente para posterior análise de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato, nitrito e amônio) e a outra parte era congelada para posterior análise de nitrogênio orgânico total.

4.5.2 De sedimento

As amostras de sedimento foram coletadas através de coletores de sedimentos. O coletor era lançado na represa até que em sua coluna de sedimentos aparecesse grama,

para que pudesse ser feita a medida do tamanho dessa coluna para estimar a taxa de sedimentação anual. A coluna de sedimentos era então separada em camadas (layers). Em cada ponto de coleta dividiu-se a coluna de sedimentos em layers de 0 a 2 cm, 2 a 4 cm, 4 a 6 cm, 6 a 8 cm, 8 a 10 cm 10 cm e superior a 10 cm. Cada uma dessas frações foi acondicionada em recipientes plásticos, tampadas e congeladas para posterior análise.

4.6 Velocidade da correnteza e vazão

4.6.1 Medição

Para medir a velocidade da correnteza nos afluentes e efluente utilizou-se o medidor de corrente Hidrocean micro-Kartan, sendo a unidade m/s (metros por segundo). É escolhida uma seção transversal, num trecho retilíneo, para cada rio. Amarra-se uma trena, em estacas, em cada margem do rio de modo que a velocidade da correnteza possa ser medida a cada 30 (Ribeirão do Lobo) ou 50 cm (demais rios), isso depende da largura do rio. Então, com o auxílio do medidor de corrente, faz-se as medições da mesma em cada pequena seção. Se a profundidade da seção a ser medida é menor ou igual a 30 cm, faz-se apenas uma medição de velocidade da correnteza a 60% de profundidade, caso contrário as medidas são feitas a 30 e 70% de profundidade em cada pequena seção, de uma margem a outra do rio. Todos os dados de profundidade, velocidade da correnteza e largura do rio são anotados em folha padrão para posteriormente serem calculadas as vazões de cada rio. Foram utilizadas uma ou mais folhas para cada rio por questão de organização.

4.6.2 Cálculo da vazão

Para calcular a vazão primeiramente calcula-se a área de cada pequena seção. Geralmente as seções de cada margem formam um triângulo e as restantes formam um retângulo ou trapézio. Após calculada a área da pequena seção, multiplica-se a mesma pela velocidade da corrente medida (ou pela média, se houve mais que uma medida na mesma seção). Essa multiplicação fornece a vazão de cada pequena seção. Para obter a vazão do rio, soma-se as vazões calculadas para cada pequena seção.

4.7 Água proveniente do lençol freático

No balanço de água feito na represa em março, notou-se que a saída pelo efluente era maior que soma das entradas pelos afluentes. Suspeitou-se que essa água poderia ser proveniente do lençol subterrâneo, pois na Represa do Lobo não há escoamento superficial¹ e a entrada pluvial é, basicamente, anulada pela evaporação. Para a confirmação de que a entrada de água viria do lençol freático foi feito o experimento descrito abaixo.

Notou-se que a 14,4 cm acima do nível da represa o lençol freático aflorava escorrendo água pela superfície em direção à represa. Assim sendo, em cinco pequenos piezômetros, a distâncias progressivas da represa, foi bombeado o conteúdo de água para que o nível da mesma baixasse até cerca de 25 cm abaixo do nível de equilíbrio. Interrompido o bombeamento, o nível de água começou a subir. Então foi feita uma tabela do nível do lençol freático no decorrer dos minutos, até o momento em que o mesmo atingisse o nível de equilíbrio. Da curva da posição do nível do lençol freático versus tempo foi possível calcular, para cada posição do nível do lençol freático, uma vazão em litros por segundo (v). O valor de v para 14,4 cm foi transformado em vazão por comprimento linear da periferia do tubo (Q). Quando este valor Q é multiplicado pelo perímetro da represa

(21000 m) resulta um valor aproximado da contribuição do lençol freático para a represa. Neste caso, resultou $Q = 1.200 \text{ L/s}$, aproximadamente o déficit de água medido, quando é considerado apenas o balanço de água fluvial. Esse experimento serviu para que se começasse a coletar água do lençol freático para se analisar sua composição química em termos de nitrogênio, quantificando seu aporte para a represa, já que é uma contribuição significativa.

4.7.1 Vazão do lençol freático

A vazão do lençol freático é obtida pela diferença entre a soma das vazões dos afluentes e a vazão do efluente. Essa diferença então é multiplicada por uma concentração típica do nitrogênio no lençol freático para obter a contribuição deste elemento para a Represa do Lobo.

¹ Sebastião Átila Miranda, comunicação pessoal, 1997.

4.8 Sedimentação de nitrogênio

O sedimento fresco é transformado por microrganismos, na camada superior de alguns milímetros e atinge composição estável. Foi efetuada uma estimativa da taxa de fossilização de nitrogênio na Represa do Lobo. Primeiramente calculou-se a massa específica do sedimento que resultou em 1,14 g/ml. Em seguida analisou-se a percentagem de água nos sedimentos. Em 1 g de sedimento tem-se 87% de água e 13% de matéria seca. Do total de matéria seca 1,18% é de nitrogênio orgânico total. Durante as coletas de sedimentos foi feita uma média do comprimento da coluna de sedimentos que ia da interface sedimento-água até alcançar a grama (período em que supostamente ocorreu o enchimento da represa), em três pontos da represa, a qual resultou em 30 cm. Nas análises mostradas a seguir está implícita a suposição que o sedimento seja homogêneo. De fato ao analisar concentrações de nitrogênio a várias profundidades nos diversos testemunhos constata-se que o sedimento fresco se estabiliza rapidamente e que já a partir dos 2 cm, com exceção do sedimento coletado próximo ao Hobby Clube, onde as fatias de sedimento mostram concentração de nitrogênio orgânico total essencialmente constante.

Sendo a Represa do Lobo construída em 1936 (tendo 60 anos) a média de sedimentação anual é de 0,5 cm (dividindo-se o comprimento da coluna de sedimentos pela idade da represa). Em 1m² de área da Represa do Lobo e 0,5 cm de altura, em cada ano, tem-se um volume de 5L de sedimento. Sendo 1,14g/mL o peso específico do sedimento, então 5000mL pesam 5700 g. Se 1g de sedimento tem 0,13g de matéria seca, 5700g tem 741g. Sendo a percentagem de nitrogênio no sedimento seco igual a 1,18% tem-se em 741g de matéria seca 8,74gNm⁻² ano⁻¹. Sendo a área da Represa do Lobo 6,8 Km² então tem-se uma fossilização de 4952 KgNmês⁻¹.

Este resultado foi utilizado, como primeira estimativa, no balanço de nitrogênio durante o ano todo apesar de se saber que deve haver variação da fossilização durante esse período.

4.9 Precipitação e evaporação

A taxa de precipitação pluvial é tipicamente 1500 mm por ano. A evaporação na Represa do Lobo é, em média, 4 mm por dia ² que em 365 dias somam 1460 mm. Assim a precipitação e evaporação se compensam, não havendo, em média, efeito de diluição ou concentração dos nutrientes.

4.10 Desnitrificação e decomposição de aminoácidos

Quanto à desnitrificação, foi utilizado o resultado de um estudo realizado em 1995 e que consistiu na captura das bolhas espontaneamente emitidas pelos processos anaeróbios no sedimento da Represa do Lobo, em 5 sítios de coleta, com posterior quantificação cromatográfica (WHITAKER & MATVIENKO ³)

² Sebastião Átila Miranda, comunicação pessoal, 1997.

³ WHITAKER & MATVIENKO, trabalho a ser publicado

4.11 Comentários gerais sobre cálculos e procedimentos de coleta

Nos meses de março e setembro foi utilizada a concentração média de nitrogênio orgânico total de 0,30 mg/L para estimar o aporte de nutrientes do lençol freático pois nesses meses não houve coleta de água no mesmo.

Essa é a média de nitrogênio orgânico referente aos meses de abril, maio, junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro. A água do lençol freático coletada nos meses de abril, maio, junho, julho e agosto não apresentou nitrogênio inorgânico, por isso no restante do ano, apenas analisou-se a quantidade de nitrogênio orgânico total. A desnitrificação e decomposição de aminoácidos utilizada nos meses de maio e julho é a média dos meses de março, abril, junho e agosto e esse estudo foi efetuado em 1995.

Um balanço perfeito exigiria medidas mensais ou talvez semanais, mas as condições de trabalho não permitiram isso e houve mesmo falha na coleta de dados em vários meses por falhas no equipamento e outras dificuldades. Os dados de concentração de nutrientes que faltaram foram supridos usando em seu lugar uma média dos demais valores.

4.12 Análises em laboratório

4.12.1 Amônio

O método utilizado é o do Azul Indofenol que pode ser utilizado para concentrações de até 500 µg de N-NH₃/L. Os principais interferentes são a alta turbidez e alcalinidade, sendo que nos casos mais graves, a destilação é uma etapa necessária.

O princípio do método baseia-se na reação da amônia com hipoclorito, em meio básico, formando uma cloramina que reage com o fenol para produzir um corante orgânico de cor azul, chamado azul indofenol. Esta reação é catalisada por nitroprussiato. Para evitar

a formação de precipitados, com o conseqüente aumento de turbidez, é adicionado citrato no início do procedimento.

4.12.2 Nitrato e nitrito

O método utilizado para medir a quantidade de nitrato é o da redução pelo cádmio. Por esse método o nitrato é reduzido a nitrito na presença de cádmio. Usa-se cádmio granulado tratado com sulfato cúprico para formar um revestimento de cobre. Depois que o nitrato é reduzido a nitrito, o método de análise é o mesmo do nitrito. O nitrito é determinado através da formação, em meio ácido, de um composto diazotado que é acoplado com outra amina aromática, o 1-naftil-etilenodiamina. Forma-se então, um corante azóico intensamente róseo que é determinado espectrofotometricamente a 543 nm. Esse método é adequado para amostras que contém nitrito acima de 1 µg/L e para concentrações abaixo de 0,1 mg NO₃⁻-N/L. Filtra-se a amostra para evitar interferências de matéria orgânica em suspensão. Concentrações de ferro, cobre e outros metais acima de alguns miligramas por litro diminuem a eficiência da redução; adiciona-se EDTA para eliminar tais interferências.

4.12.3 Nitrogênio orgânico

Nitrogênio orgânico é definido funcionalmente como nitrogênio no estado de oxidação trinegativo. Analiticamente, nitrogênio orgânico e amônia tem sido determinados juntos e tem sido referidos como “Nitrogênio Kjeldahl”. Esse método para a determinação do nitrogênio orgânico é o conhecido como o método de Kjeldahl, onde o nitrogênio orgânico dissolvido (uréia, bases nitrogenadas: purinas e pirimidinas, nucleotídeos e

peptídeos) e particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) são transformados em amônia.

Primeiramente, a conversão do nitrogênio orgânico em amônia ocorre pela digestão do material (água ou sedimento). Utiliza-se ácido sulfúrico como desidratante, sulfato de potássio para elevar a temperatura de ebulição a aproximadamente 350°C e sulfato de cobre é adicionado como um catalisador. Após algum tempo nessas condições, cerca de 30 minutos, todo o nitrogênio orgânico é convertido em sulfato de amônia, que será em seguida destilado.

Para a destilação do sulfato de amônia adiciona-se água para evitar a evaporação do gás amônio e promover a ressuspensão do material. Depois adiciona-se um álcali (no caso NaOH) para que haja a transformação do sulfato de amônia em gás amônio. Então, borbulha-se as amostras com vapor d'água para aquecer e também formar superfícies adicionais para a amônia evaporar. A amônia é então recolhida em ácido bórico e titulada com ácido sulfúrico.

4.13 Procedimentos com os cálculos

4.13.1 Cálculo da carga de nutrientes a partir da absorvância

Para calcular a concentração de nitrato, nitrito e amônio, utilizou-se as curvas de calibração fornecidas pelo Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA). As equações das retas para os nutrientes são:

- $y = (906,9688 * x) - 0,081152771$ (amônio)
- $y = (878.002 * x) - 11,58847$ (nitrato)
- $y = (69,63095 * x) - 0,3347492$ (nitrito)

Sendo x a média da absorbância para cada nutriente o resultado obtido (y), é a concentração de cada nutriente em $\mu\text{g/L}$.

A partir do resultado obtido de cada nutriente em $\mu\text{g/L}$, foi calculada a carga dos mesmos em cada rio. Para isso multiplica-se a vazão (L/s) pela concentração do nutriente ($\mu\text{g/L}$).

- $\text{Carga} = C * V * 86400 * 10^{-9}$ onde:

C = concentração ($\mu\text{g/L}$)

V = vazão (L/s)

86400 = número de segundos em um dia

10^{-9} = transformação de μg em Kg

Este cálculo fornece a quantidade de nitrogênio em KgN/dia, como a unidade pretendida é KgN/mês, esse resultado é então multiplicado por 30 ou por 31, dependendo do mês em questão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Fixação

A fixação de nitrogênio na Represa do Lobo é de $154.000 \text{ kgNano}^{-1}$. Segundo ESTEVES (1988) são poucos os estudos que possibilitam estabelecer um balanço total de nitrogênio fixado através de microorganismos e vários estudos têm mostrado que a fixação está diretamente relacionada com a produtividade do ecossistema. HORNE & FOGG (1970) apud ESTEVES (1988) encontraram valores de fixação de nitrogênio em algumas regiões do lago Windermere, oligotrófico, que correspondem a 1% da carga de nitrogênio total. Já para o lago Erken (Suécia), que é eutrófico, esse valor pode chegar a 80%, como observado por GHANHALL & LUNDGREN (1971) apud ESTEVES (1988).

Observando a TABELA 2 nota-se que a fixação variou mensalmente e corresponde de 31 a 90% da entrada de nitrogênio total para a Represa do Lobo. HOWARTH *et al.* (1988) apud LEVINE & SCHINDLER (1992) estudando lagos com baixa taxa N:P encontraram taxas de fixação que correspondem de 10 a 80% da entrada anual de nitrogênio para esses lagos.

As parcelas de contribuição no balanço são da mesma ordem de grandeza, excetuando-se o lençol freático, principalmente, nos meses de abril, maio, junho, julho e setembro. O valor calculado numericamente, o da fixação, também é da mesma ordem de grandeza, assim, a estimativa de fixação adquire certa confiabilidade.

O mês de novembro se destaca por ter uma taxa de fixação mais de três vezes superior à média dos demais meses. Certamente existe a possibilidade de ter ocorrido algum erro de medida, apesar dos cuidados que foram tomados. Mas a favor da não existência de erro fala o fato do segundo mais alto valor ocorrer em dezembro, vizinho em tempo, ao valor máximo situado em novembro (TABELA 1).

O alto valor de fixação do mês de novembro é devido a dois componentes do balanço que nesse mês também foram os mais altos do ano. O primeiro é o alto valor da saída de nitrogênio pelo efluente, causado pela concentração de nitrogênio total medida no Rio Jacaré-Guaçu (TABELA 3), que foi a maior do ano com 1,3 mg/L. Essa concentração multiplicada pela vazão, que é a segunda maior do ano, forneceu 15.508 Kg de nitrogênio que saíram da represa através do efluente. O segundo componente do balanço é a medida de desnitrificação e decomposição de aminoácidos (TABELA 1), que em novembro é até 9 vezes maior que o valor mais baixo do ano, que é outubro, e 3,5 vezes maior que a média dos meses anteriores a outubro. Assim, pelos altos valores de perda de nitrogênio através da desnitrificação e decomposição de aminoácidos e através do efluente, a fixação calculada para esse mês foi a maior do ano. A fixação de nitrogênio do mês de dezembro foi a segunda mais alta do ano pelos mesmos motivos que levaram a fixação do mês de novembro ser a mais alta. Os valores de novembro e dezembro sugerem que nesta época do ano a fixação é intensificada. Nos meses de abril, maio, junho, julho, setembro não há grandes variações da fixação.

No mês de março a fixação é a menor do ano pois todos os outros componentes do balanço têm valores baixos e numericamente a fixação, que é calculada a partir dos outros componentes, também está em torno desse valor baixo. Pelo que se pôde apurar este é um primeiro balanço de nitrogênio feito na Represa do Lobo. É digno de comentário que o método de como deveria ser feito o balanço foi fixado de antemão e se chegou a um resultado sem que tivessem ocorrido “surpresas” que forçassem a uma revisão de métodos.

TABELA 1: Balanço de nitrogênio na Represa do Lobo (kgN/mês) - 1996

	mar	abr	Maio	jun	jul	set	out	nov	dez
ENTRADAS									
Afluentes	5649	3810	3598	2000	1963	992	827	2532	5275
Lençol Freático	4182	306	661	269	223	689	3267	1630	1470
SAIDAS									
Efluente	3973	2609	4908	2732	2109	1171	2207	15508	6128
Fossilização	4952	4952	4952	4952	4952	4952	4952	4952	4952
Desnitrificação	5183	5973	6382	4747	6382	5059	2485	22543	10138
FIXAÇÃO (por diferença)	4277	9418	11983	10161	11257	9501	5550	38841	14473

TABELA 2: Contribuição relativa (%) de nitrogênio total dos diversos componentes do balanço (KgN/mês)

	mar	abr	Maio	jun	jul	set	out	nov	dez
ENTRADAS									
Afluentes	40	28	22	16	15	9	9	6	25
Lençol Freático	29	2	4	2	2	6	34	4	7
SAIDAS									
Efluente	28	19	30	22	16	10	23	36	29
Fossilização	35	37	30	40	37	44	51	12	23
Desnitrificação	37	44	39	38	47	45	23	52	48
FIXAÇÃO	31	70	74	82	84	85	58	90	68

TABELA 3: Nitrogênio, vazão de água (Q, unidade L/s) e carga (C, unidade KgN/mês) no efluente da Represa do Lobo

Mês	N-inorg	N-org	N-tot	Q	C
<i>Mar</i>	0,031	0,167	0,20	7491	3973
<i>Abr</i>	0,030	0,559	0,59	1710	2609
<i>Mai</i>	0	0,643	0,64	2850	4908
<i>Jun</i>	0	0,643	0,64	1639	2732
<i>Jul</i>	0	0,513	0,51	1535	2109
<i>Set</i>	0	0,22	0,22	2053	1171
<i>Out</i>	0	0,22	0,22	3745	2207
<i>Nov</i>	0	1,306	1,31	4581	15508
<i>Dez</i>	0	1,091	1,09	2097	6128

5.2 Afluentes

O Córrego das Perdizes é o afluente que contribui com menor carga de nitrogênio para a represa, o que ocorre devido tanto à baixa concentração de nitrogênio total em suas águas é, principalmente, à pequena vazão. Nos meses de junho, julho, setembro e outubro as cargas de nitrogênio calculadas foram as menores do ano, coincidindo com o período de seca. No mês de julho a concentração de nitrogênio foi a mais baixa, o que fez com que a carga também fosse a menor de todos os meses, apenas 2 KgN/mês. Os dados sobre os afluentes estão na TABELA 4.

O Córrego do Geraldo, com exceção do mês de março e dezembro onde as concentrações de nitrogênio total foram de 0,90 e 0,88 mg/L, respectivamente, ao longo do ano apresenta concentrações que variam de 0,14 a 0,39 mg/L. O afluente que contribui com maior carga de nitrogênio total para a Represa do Lobo é o Água Branca, como já era esperado uma vez que este recebe esgoto da cidade de Itirapina.

A concentração de nitrogênio total em todos os afluentes diminuiu no período da seca e nos meses de novembro e dezembro aumentou em todos os afluentes, o que provavelmente ocorreu devido ao início do período chuvoso.

TABELA 4: Nitrogênio (mg/L), vazão (L/s) e carga (KgN/mês) nos afluentes da Represa do Lobo

<i>Mês</i>	<i>Local</i>	<i>N-inorg</i>	<i>N-org</i>	<i>N-tot</i>	<i>Q</i>	<i>C</i>
<i>Mar</i>	Geraldo	0,003	0,895	0,90	467	1124
	Água Branca	0,349	1,623	1,97	639	3375
	Itaqueri	0,006	0,261	0,27	721	515
	Lobo	0,010	0,671	0,68	295	538
	Perdizes	0,000	0,22	0,22	165	97
<i>Abr</i>	Geraldo	0,009	0,261	0,27	320	224
	Água Branca	0,554	1,801	2,36	471	2875
	Itaqueri	0,026	0,578	0,60	286	448
	Lobo	0,039	0,242	0,28	180	131
	Perdizes	0,000	0,597	0,60	85	132
<i>Mai</i>	Geraldo	0,052	0,167	0,22	314	184
	Água Branca	0,147	1,829	1,98	537	2842
	Itaqueri	0,003	0,121	0,12	560	186
	Lobo	0,004	0,27	0,27	300	220
	Perdizes	0,000	0,326	0,33	190	166
<i>Jun</i>	Geraldo	0	0,167	0,17	164	71
	Água Branca	0,028	1,829	1,86	344	1656
	Itaqueri	0	0,121	0,12	161	50
	Lobo	0	0,27	0,27	246	172
	Perdizes	0	0,326	0,33	60	51
<i>Jul</i>	Geraldo	0,003	0,28	0,28	273	207
	Água Branca	0,402	1,465	1,87	313	1565
	Itaqueri	0,021	0,158	0,18	202	97
	Lobo	0,022	0,28	0,30	115	93
	Perdizes	0	0,009	0,01	74	2
<i>Set</i>	Geraldo	0,052	0,14	0,19	264	131
	Água Branca	0,147	0,69	0,84	316	686
	Itaqueri	0,003	0,11	0,11	266	78
	Lobo	0,004	0,12	0,12	159	51
	Perdizes	0	0,11	0,11	162	46
<i>Out</i>	Geraldo	0,000	0,14	0,14	284	107
	Água Branca	0,001	0,69	0,69	322	596
	Itaqueri	0,000	0,11	0,11	222	65
	Lobo	0,000	0,12	0,12	120	39
	Perdizes	0,000	0,11	0,11	71	21
<i>Nov</i>	Geraldo	0,000	0,391	0,39	245	248
	Água Branca	0,001	1,903	1,90	325	1604
	Itaqueri	0,000	0,737	0,74	191	365
	Lobo	0,000	1,073	1,07	75	209
	Perdizes	0,000	0,914	0,91	45	107
<i>Dez</i>	Geraldo	0,000	0,877	0,88	386	907
	Água Branca	0,001	2,808	2,81	478	3596
	Itaqueri	0,000	0,905	0,91	222	538
	Lobo	0,000	0,606	0,61	78	127
	Perdizes	0,000	0,839	0,84	48	108

5.3 Lençol freático

Em relação ao lençol freático (TABELA 5) a concentração de nitrogênio total é mais alta no período de março, abril e maio. Nos meses de junho, julho ela diminui pela metade voltando a aumentar em setembro. Alcança o segundo mais alto valor em outubro e o maior em dezembro. A alta concentração de nitrogênio no mês de outubro pode ser devido à penetração de nitrogênio vindo da lavagem do solos, artificialmente fertilizados, no início do período de chuvas. O valor dessa concentração cai no mês de novembro e atinge o máximo em dezembro. A vazão medida no lençol freático (por diferença entre as entradas pelos afluentes e a saída pelo efluente) apresenta os menores valores entre os meses de abril e setembro. O valor de março pode estar superestimado porque, como já foi mencionado, a medição pode ter sido feita enquanto as comportas estavam abertas. O que chama a atenção é o reduzido valor da vazão no mês de dezembro depois do alto valor da mesma em novembro.

A carga de nitrogênio que entra na represa pelo lençol freático nos meses de abril, maio, junho, julho, setembro, novembro e dezembro representa 2 a 7% da entrada total devido às baixas vazão e concentração de nitrogênio (TABELA 2). No mês de março esse percentual é de 29 devido à alta vazão (que pode estar superestimada) enquanto no mês de outubro 34% refletem alta concentração de nitrogênio e alta vazão.

TABELA 5: Dados sobre o lençol freático: nitrogênio orgânico (mg/L), Vazão (Q- unidade L/s) e carga (C - unidade kgN/mês)

Mês	N-org	Q	C
Mar	0,30	5204	4182
Abr	0,32	368	306
Maio	0,26	949	661
Jun	0,15	664	258
Jul	0,15	553	224
Set	0,30	886	689
Out	0,45	2726	3267
Nov	0,17	3700	1630
Dez	0,62	885	1470

TABELA 6: Contribuição relativa (%) de água dos afluentes e lençol freático na Represa do Lobo.

Mês	Geraldo	Água Branca	Itaqueri	Lobo	Perdizes
Mar	20	27	31	13	7
Abr	24	35	21	13	6
Mai	17	28	29	16	10
Jun	21	35	17	19	7
Jul	27	32	20	14	7
Set	30	36	30	18	18
Out	28	32	22	12	7
Nov	28	37	22	9	5
Dez	32	39	18	7	4

Observando-se a TABELA 6 pode-se afirmar que os maiores formadores da Represa do Lobo, em termos de vazão, são os Ribeirões Itaqueri e o Ribeirão do Geraldo. Sendo o Córrego da Água Branca um afluente do Ribeirão Itaqueri, suas vazões somadas fornecem de 53 a 66% da água da represa e o Ribeirão do Geraldo fornece de 16 a 32%. O lençol freático também fornece quantidade significativa de água para a represa variando de 21 a 31%.

Curiosamente o Ribeirão do Lobo e o Córrego das Perdizes tiveram suas menores vazões medidas nos meses de novembro e dezembro e o Ribeirão Itaqueri no mês de dezembro que são meses pertencentes ao período chuvoso.

A TABELA 7 mostra os dados completos de concentração de nitrogênio nos diversos pontos de coleta do lençol freático, a média dessas concentrações em cada mês, a vazão (L/s) e a carga de nitrogênio que entra na represa. Nota-se que as concentrações variam muito de ponto para ponto ao longo dos meses, sendo o índice de variabilidade igual a 187%. As concentrações variam entre 0 e pouco mais de 1 mg/L em alguns poucos pontos.

TABELA 7: Concentração de nitrogênio no lençol freático, unidade mg/L.

<i>Mês</i>	<i>Piezômetro</i>	<i>N-tot</i>	<i>Média</i>
<i>Mar</i>			0,30
<i>abr</i>	A1	0,53	0,32
	A2	0,29	
	A3	0,49	
	A4	0,35	
	A5	0,63	
	E1	0,41	
	E2	0,01	
	E3	0,33	
	E4	0,16	
	E5	0,33	
	F1	0,26	
	F2	0,58	
	F3	0,01	
	F4	0,13	
<i>maio</i>	A1	0,09	0,26
	A2	0,18	
	A4	0,41	
	A5	0,34	
	B0	0,07	
	B1	0,41	
	B2	0,01	
	B4	0,63	
	B5	0,01	
	C1	0,35	
	C2	0,49	
	C3	0,14	
	C4	0,47	
	C5	0,49	
	D0	0,05	
	D1	0,24	
	D3	0,35	
	D4	0,22	
	D5	0,01	
	E1	0,35	
	E2	0,09	
	E3	0,34	
	E4	0,09	
	E5	0,20	
	F0	0,66	
	F1	0,18	
	F2	0,18	
	F4	0,26	
<i>Jun</i>	B0	0,10	0,15
	B1	0,12	
	B2	0,02	
	D0	0,07	
	D1	0,29	
	D2	0,32	
	F0	0,00	

TABELA 7: Concentração de nitrogênio total no lençol freático, unidade (mg/L)

	F1	0,30	
	F2	0,02	
	TR1	0,47	
	TR2	0,00	
jul	B0	0,14	0,15
	B1	0,05	
	B2	0,34	
	D0	0,32	
	D1	0,48	
	D2	0,09	
	TR1	0,00	
	TR2	0,00	
	F0	0,00	
	F1	0,21	
	F2	0,00	
ago	B0	0,00	0,31
	B1	0,00	
	D0	0,03	
	D1	0,85	
	F0	0,91	
	F1	0,07	
set			0,30
out	B1	0,49	0,45
	B2	0,32	
	D1	0,77	
	D1'	0,39	
	Pinheiros1	0,25	
	JB	1,01	
	JBBAL	0,23	
	TR1	0,20	
	TR2	0,37	
nov	D.LURDES	0,13	0,17
	B1'	0,07	
	B2	0,07	
	D1	0,01	
	D1'	0,08	
	Pinheiros0	0,05	
	Pinheiros1	0,47	
	Aeroporto	0,36	
	JB	0,00	
	JBBAL	0,20	
	TR1	0,25	
	TR2	0,33	
	TR3	0,15	
dez	D.LURDES	0,46	0,62
	B1'	0,50	
	B2	0,59	
	D1	0,53	
	D1'	0,40	
	Pinheiros0	1,15	
	Pinheiros1	0,97	
	Aeroporto	0,72	
	JB	0,29	
	JBBAL	0,47	
	TR1	0,52	
	TR3	0,95	

5.4 Sedimentos

A TABELA 8 mostra os dados dos sedimentos coletados em três meses. No mês de abril foram calculados somente o percentual de matéria seca e o de água e nos outros meses também foram analisadas os percentuais de nitrogênio no sedimento para que pudesse ser feito o cálculo da fossilização apresentado na TABELA 1. O mês de outubro também apresenta dados sobre o peso específico do sedimento que também foi utilizado para se fazer o cálculo da fossilização. CHALAR (1998)⁴ calculou a sedimentação na Represa do Lobo em alguns meses de 1995 e 1996, resultando uma média de $318 \text{ mg/m}^2\text{dia}^{-1}$. Isso significa que a fossilização representa 7,5% da sedimentação fresca na Represa do Lobo. Para efeitos práticos, o balanço de água da Represa do Lobo em 1996 está representado na TABELA 9.

5.5 Perspectivas da fixação de nitrogênio

Foram feitos duas suposições para o balanço de nitrogênio afim de avaliar o modo de se obter o resultado de $154 \text{ ton N ano}^{-1}$. Quando se considera a desnitrificação como sendo nula, a fixação de nitrogênio é de $62085 \text{ Kg N ano}^{-1}$ ou $25 \text{ mg N m}^2\text{dia}^{-1}$. O segundo teste considera a precipitação anual de 1500mm e a concentração de nitrogênio total da água da chuva de $0,67 \text{ mg N/L}$. Essa concentração é a média das concentrações de todos os afluentes da represa durante o ano, o que com certeza é uma superestimação. Utilizando essa segunda suposição a fixação de nitrogênio é de $55251 \text{ Kg N ano}^{-1}$ ou $22 \text{ mg N m}^2\text{dia}^{-1}$.

⁴Guilherme Chalar. comunicação pessoal, 1998.

TABELA 8: Dados sobre sedimento na Represa do Lobo (H= Hobby Clube; P= perdizes; B= barragem)

Mês	Local	%mat seca	%água		
Abr	H0-2	5,97	94,03		
	H2-4	9,43	90,57		
	H4-6	11,41	88,59		
	H6-8	15,58	84,42		
	H8-10	28,17	71,83		
	H10-15	32,60	67,40		
	P0-2	8,16	91,84		
	P2-4	10,46	89,54		
	P4-6	11,95	88,05		
	P6-8	11,48	88,52		
	P8-10	11,94	88,06		
	P10-15	8,14	91,86		
	P15-20	7,20	92,80		
Out		%mat seca	%água	%N-org	
	B0-2	9,43	90,57	1,24	
	B2-4	11,49	88,51	0,988	
	B4-6	12,61	87,39	1,153	
	B6-10	16,75	83,25	1,153	
	B10-14	16,52	83,48	0,938	
	H0-2	9,65	90,35	0,546	
	H2-4	10,83	89,17	1,486	
	H4-6	12,28	87,72	1,412	
	H6-10	14,11	85,89	1,382	
	H10-14	17,31	82,69	0,402	
	P0-2	8,04	91,96	1,343	
	P2-4	10,20	89,80	1,141	
	P4-6	11,46	88,54	1,425	
	P6-10	13,79	86,21	1,107	
	P10-14	14,25	85,75	1,45	
	Dez	B0-2	15,16	84,84	1,52
B2-4		15,44	84,56	1,134	
B4-6		10,67	89,33	1,375	
B6-10		13,65	86,35	1,33	
B>10		15,25	84,75	1,423	
H0-2		14,58	85,42	1,032	
H2-4		10,38	89,62	0,583	
H4-6		12,26	87,74	0,939	
H6-10		14,59	85,41	1,269	
H>10		8,32	91,68	0,701	
P0-2		13,09	86,91	1,324	
P2-4		14,47	85,53	1,464	
P4-6		21,07	78,93	1,358	
P6-10		9,94	90,06	1,179	
P>10		16,30	83,70	1,628	
Peso (g) de 40 ml de sedimento					
B2-4		36,72			
B4-6	46,31				
B6-10	49,46				
B>10	50,33				

6. CONCLUSÕES

A fixação de nitrogênio na Represa do Lobo é de $154.000 \text{ Kg ano}^{-1}$, o que corresponde a $62 \text{ mgNm}^{-2}\text{d}^{-1}$. O lençol freático contribui com 20 a 80% da vazão de água para a Represa do Lobo, sendo que no período de chuva as contribuições são maiores. Os principais afluentes formadores da represa são respectivamente o Ribeirão Itaqueri e o Córrego do Geraldo. O Córrego da Água Branca é o afluente que fornece maior carga de nitrogênio total para a Represa do Lobo, sendo fonte potencial de eutrofização para a mesma.

A taxa de fixação encontrada parece ser excessivamente alta, especialmente se for considerado que a produção primária neste reservatório é tipicamente $150 \text{ mg C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A razão C/N é de 2,4 quando se esperaria uma razão de 7 ou menor. Se for considerado o desprendimento do nitrogênio gasoso como não oriundo de desnitrificação, a taxa de desnitrificação cai para $25 \text{ mgNm}^{-2}\text{d}^{-1}$, o que resultaria uma razão C/N de 6.

Considera-se então que é possível que o nitrogênio desprendido tenha que ser explicado de uma maneira diferente da dada nesse trabalho, ou seja, que ele não provenha da desnitrificação.

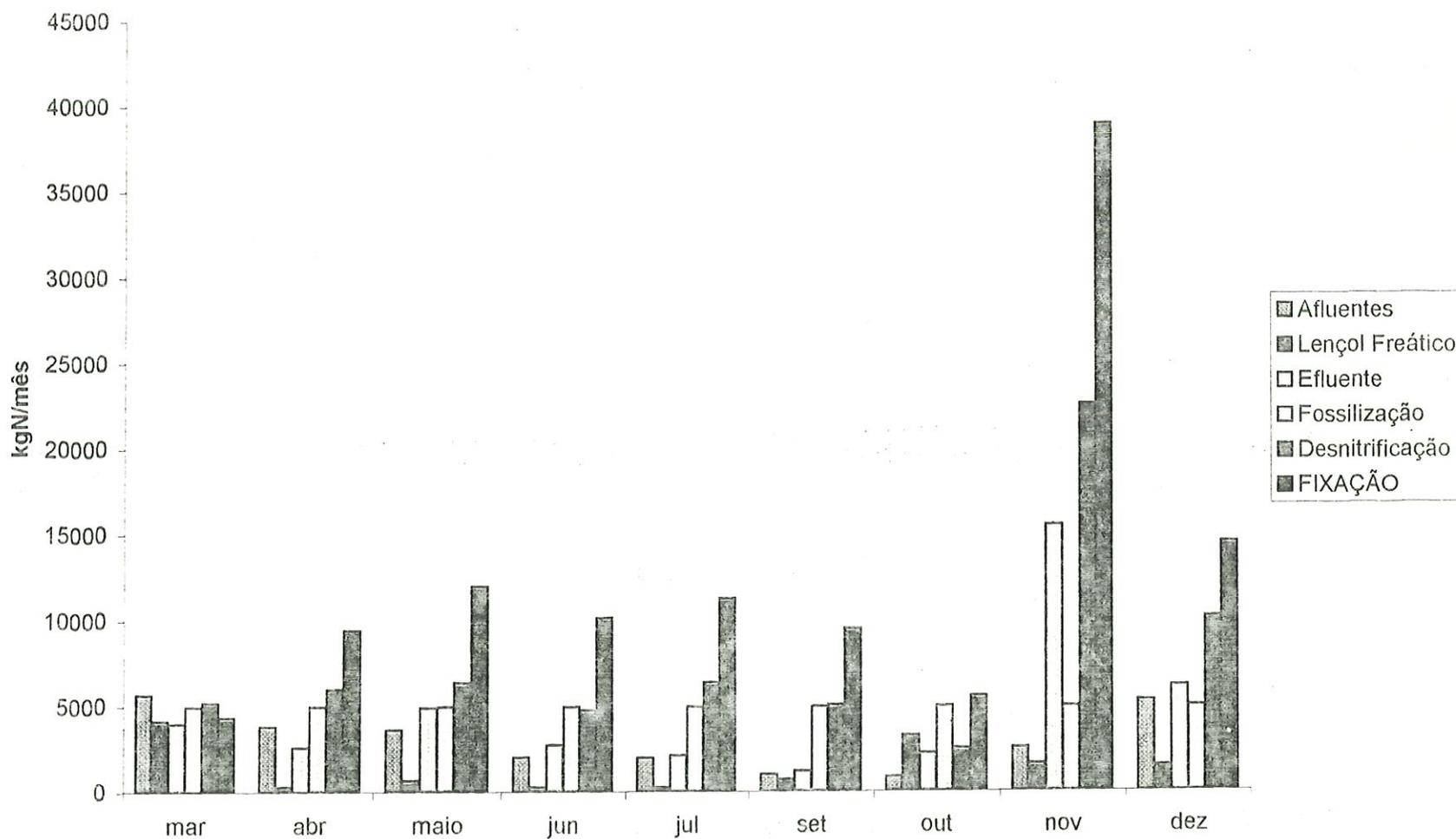
TABELA 9: Balanço de água, unidade L/s, na Represa do Lobo- 1996.

	Mar	abr	maio	jun	jul	set	out	nov	dez
ENTRADAS									
Geraldo	467	320	314	164	273	264	284	245	386
Água Branca	639	471	537	344	313	316	322	325	478
Itaqueri	721	286	560	161	202	266	222	191	222
Lobo	295	180	300	246	115	159	120	75	78
Perdizes	165	85	190	60	74	162	71	45	48
Lençol Freático (por diferença)	5204	368	949	664	558	886	2726	3700	885
Saída									
Efluente	7491	1710	2850	1639	1535	2053	3745	4581	2097

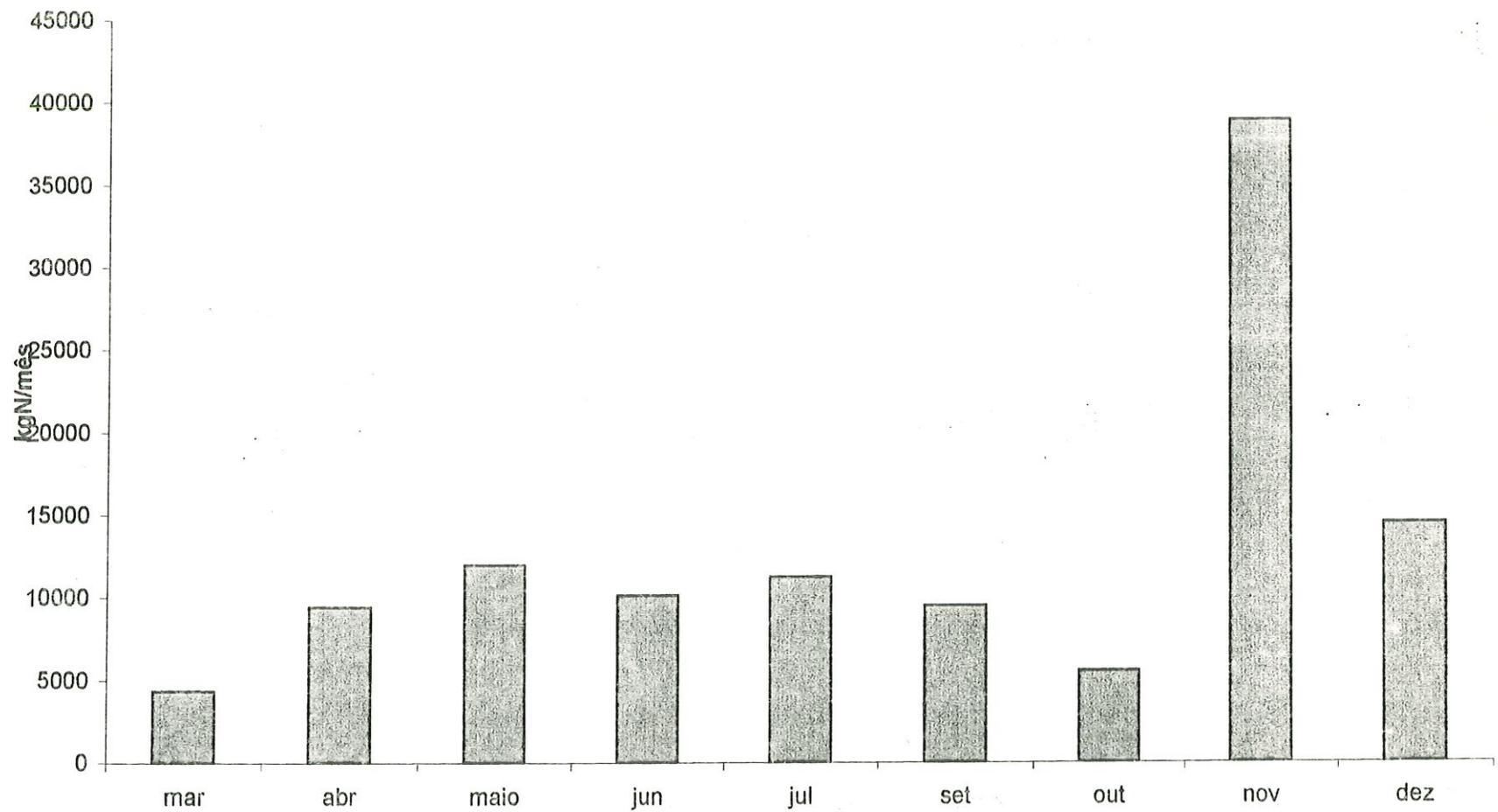
ANEXOS



BALANÇO DE NITROGÊNIO NA REPRESA DO LOBO - 1996



FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO NA REPRESA DO LOBO - 1996



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALIJURI, M.C. *Curvas de luz - fotossíntese e fatores ecológicos em ecossistemas artificiais e não estratificados- Represa do Broa (Lobo)- São Carlos-SP. São Carlos, 1985 (Mestrado)- Universidade de São Paulo.*
- CALIJURI, M.C.; TUNDISI, J.G. *Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo : mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. Rev. Brasil. Biol. V.50, n.4, p.893-913, nov. 1990.*
- DOWNING, J.A.; McCAULEY, E. *The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. In: Limnol. Oceanogr, v. 37, n. 5, p. 936-945, 1992.*
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro, Interciência/Finep. 1988, p.197-215.*
- FERESIN, E.G. *Nitrificação em uma lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu (Lagoa do Infernã, Estação Ecológica de Jataí - Luiz Antonio, SP) . São Carlos, 1992 (Mestrado)- Universidade Federal de São Carlos.*
- FERREIRA, V.A.P.; BORGES, M.N.; ANJOS, E.F.S. 1992. *Determinação dos aportes totais e carga por unidade de área de nitrogênio e fósforo com base na caracterização do uso do solo nas bacias dos lagos Descoberto e Santa Maria-Brasília. Acta Limnol. Brasil, v.4, p. 163-174.*

- GIANOTTI, E.P. 1994. *Desnitrificação em uma lagoa marginal do Rio Mogi-Guaçu, Lagoa do Infernã (Estação Ecológica do Jataí - Luiz Antonio - SP)*. Tese de doutoramento UFSCar.
- HUTCHINSON, G.E.. *A treatise on limnology: chemistry of lakes*. New York, John Wiley, 1975, v. 1, pt.2.
- LEVINE, S.N.; SCHINDLER, D.W. *Modification of the N:P ratio in lakes by in situ processes*. In: *Limnol. Oceanogr*, v. 37, n. 5, p. 917-935, 1992.
- ODUM, E.P.. *Ecologia*. Rio de Janeiro, Interamericana, 1985, p.111-126.
- OLSEN, K.R.; ANDERSEN, F.O. *Nutrient cycling in shallow, oligotrophic Lake Kvie, Denamark*. In: *Hydrobiologia*, 275/276, p.255-265, 1994.
- PONTES, M.C.F. *Contribuição de nitrogênio biologicamente fixado por cianobactérias de vida livre em cultura de arroz irrigado*. São Carlos, 1988 (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos.
- SANTOS, J.E. *Fixação de nitrogênio em risosfera de macrófitas aquáticas (Represa do Lobo, Brotas-Itirapina, SP)*. São Carlos, 1981 (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos.
- TUNDISI, J.G. *The Lobo (Broa) ecosystem*. *Ciência Interamericana*, v. 25, n. 1-4, p.18-31.
- TUNDISI, J.G. *Limnologia de represas artificiais*. São Carlos, USP/EESC/SHS, 1986. *Boletim de Hidráulica e Saneamento*. v. 11, p.1-46.
- TUNDISI, J.G. *Construção de reservatórios e previsão de impactos ambientais no baixo Tietê: problemas limnológicos*. *Bol. Inst. Biogeografia*, n. 13, 1978.

WHITAKER, V.A. *A área alagada da represa do Lobo (Itirapira-SP): os processos ecológicos associados ao potencial de desnitrificação dos sedimentos*. São Carlos, 1993 (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

OBRAS CONSULTADAS

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16ª Ed. Washington, APHA/AWWA, 1985. 1268 p.
- CONN, E.E.; STUMPF, P.K. Introdução à Bioquímica. Edgard Blücher, 1976, p.365 - 374.
- GOLDMAN, C. R.; HORNE, A. J. *Limnology*. New York, McGraw-Hill, 1983, p 114-130.
- MAIER, M.H. et al. 1992. *Alguns aspectos da composição da água da chuva. (Microbacia do Córrego do Salto Grande 22° 09'S e 48° 19'W)*. Acta Limnol. Brasil, v.4, p. 247-254.
- MAZLIAK, P. *Fisiologia Vegetal - Nutricion y metabolismo*. Barcelona, Omega, 1976, p. 171 - 194.
- ROLLA, M.E.et al.1992. *Inventário limnológico do Rio Grande na área de influência da futura Usina Hidrelétrica (HHE) de Igarapava*. Acta Limnol. Brasil, v.4, p. 139-162.
- RUSCHEL, A. P. *Fixação biológica do nitrogênio* . In *Fisiologia Vegetal*, Editora pedagógica e universitária, EDUSP, 1979, v.1, p.167-178.

WETZEL, R. G. *Limnología*. Barcelona, Omega, 1981, p. 169-194.

WHITAKER, V.A.; MATVIENKO, B. *Produção e emissão de gases na área alagada e na Represa do Lobo*. In: Simpósio de Ciências da Engenharia Ambiental, 1º, Simpósio do curso de Ciências da Engenharia Ambiental, 3º, São Carlos, 1996. Anais. São Carlos, CRHEA, 1996. p. 123-125.