

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é apresentada o resultado das duas etapas do trabalho a calibração e a simulação do aporte de nutrientes em cada um dos seus 9 cenários ou simulações. Considerando o objetivo deste trabalho que é um estudo das cargas de nutrientes no reservatório, os resultados apresentados aqui são referentes às formas disponíveis para consumo que poderiam gerar eutrofização, ou seja, NH_4 , NO_3 , e PO_4 nas três estações de coleta que representam a maior parte do volume d'água do reservatório, Manso40, Manso30 e Casca30.

3.1 Primeira etapa, a calibração

Como foi dito no capítulo 3 foram efetuadas duas tentativas de calibração dos nutrientes no reservatório a primeira utilizando uma função degrau para simular a entrada desses nutrientes no intervalo onde não existem dados medidos no campo, e uma segunda função, modelando essa mesma carga de nutrientes como uma função da vazão e do tempo. A

partir da calibração que obtiver melhor desempenho será efetuado o aporte das cargas nutrientes que corresponde à segunda etapa do trabalho.

3.1.1 Calibração da função degrau

A estação Manso 40 é a de maior proximidade da barragem e com a maior profundidade na batimetria (ver figura 3.33), a figura 4.1 apresenta uma comparação entre os dados simulados e os dados medidos referentes ao período de calibração do modelo para NH_4 , NO_3 e PO_4 , respectivamente.

Os valores simulados para o período apresentam um valor médio em torno de 0,01 mg/l e ainda um pico na concentração de 0,09 mg/l no final do mês de setembro. Os valores medidos no campo obtiveram uma relativa proximidade com os dados simulados demonstrando que o modelo atende as expectativas preditivas quanto à concentração de NH_4 na estação Manso40.

A concentração simulada de NO_3 possui uma média que flutuante situada entre 0,2 e 0,1 mg/l, o mesmo pode ser dito quanto aos valores medidos de campo. Quanto à conformação dos dados simulados e de campo, nota-se que a ligeira queda nos valores da concentração de NO_3 , detectada no mês de dezembro. Corroborada pelos valores medidos no campo que apresentam uma queda no mesmo período, demonstrando uma boa correlação.

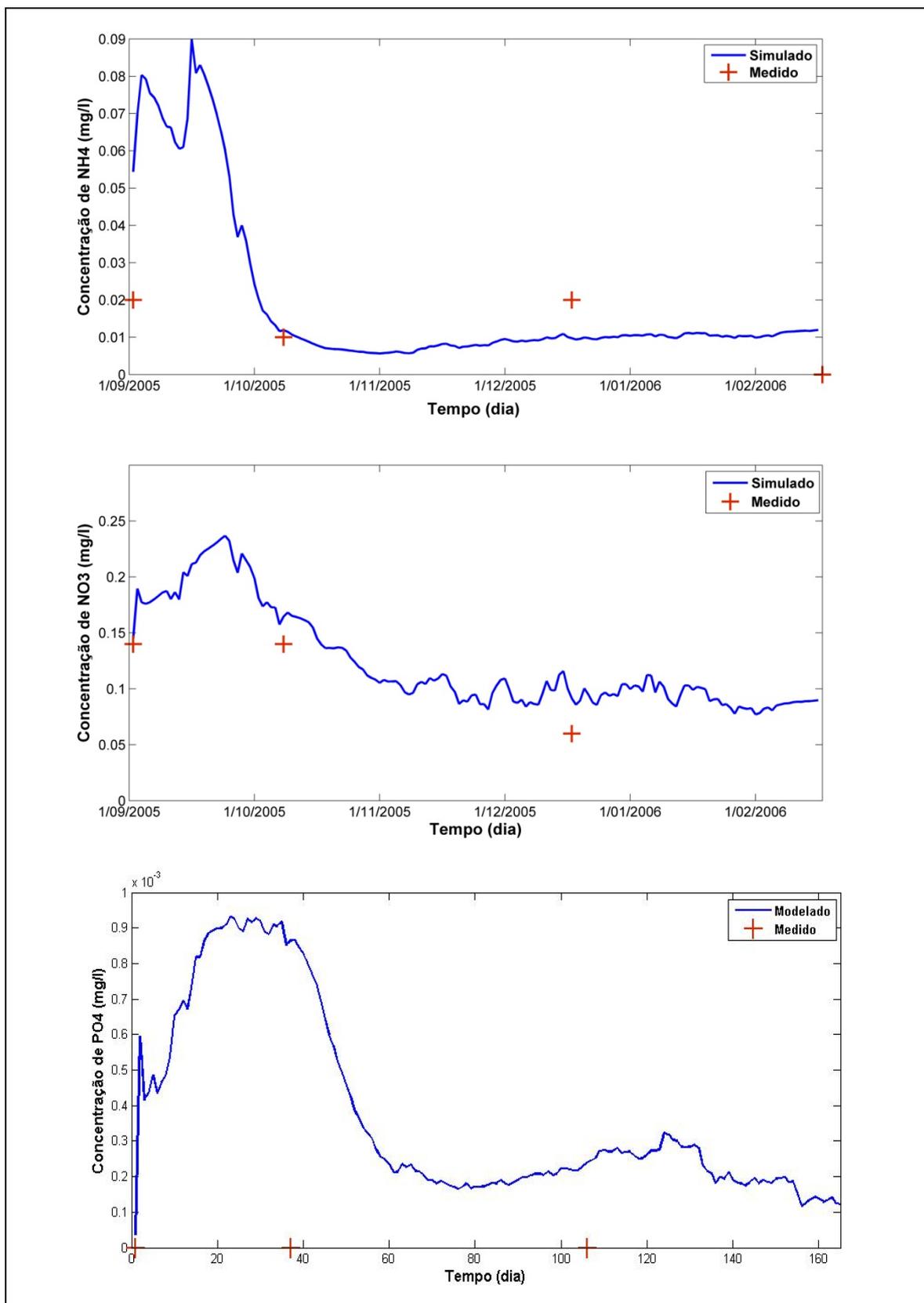
Os dados de concentração de PO_4 são os que obtiveram a pior correlação, quando se observa o gráfico na figura 4.1 sem a cautela do contexto em que ele se insere. Contudo, nota-se que esses valores medidos no campo são em uma escala de microgramas por litro, visto que o reservatório é, nos dias de hoje, oligotrófico e com baixa carga de nutrientes, em especial o ortofosfato. Visualizando a simulação pela ótica de um problema de escala, nota-se que em momento algum o valor simulado atinge a escala de miligramas por litro.

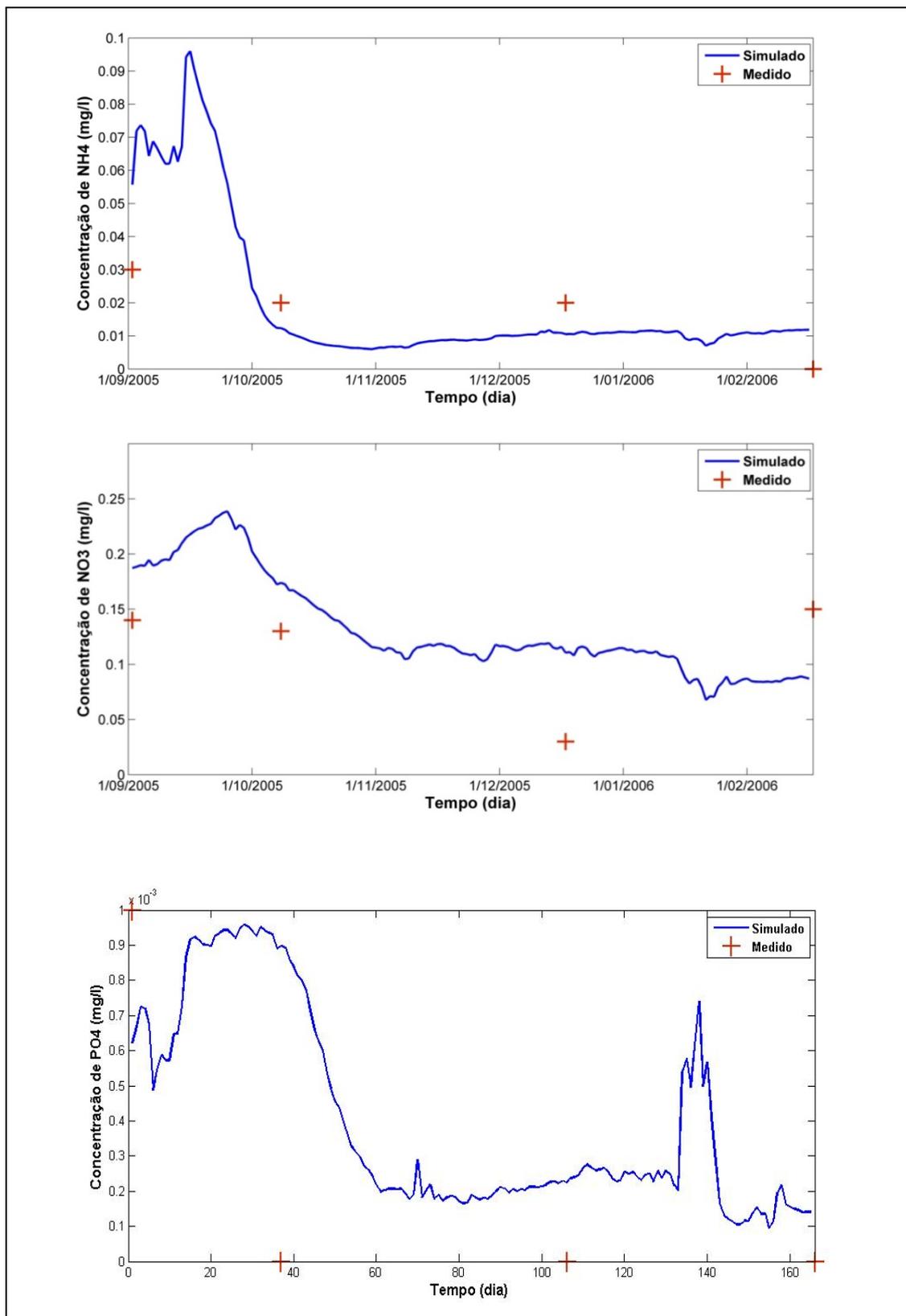
A estação Manso30 (ver figura 4.2) obedece uma conformação semelhante a estação Manso40, obtendo uma boa calibração para NH_4 , bem como valores médios próximos e com pico em setembro ligeiramente mais acentuado. O mesmo pode ser dito da concentração de NO_3 que obtém, também, uma boa calibração média dos valores e uma conformidade do valor simulado e medido ligeiramente inferior ao obtido em Manso40. Com relação à concentração de PO_4 mais uma vez deve-se observar a calibração como um problema de escala, onde a mesma apenas obtém o valor na escala correta (microgramas).

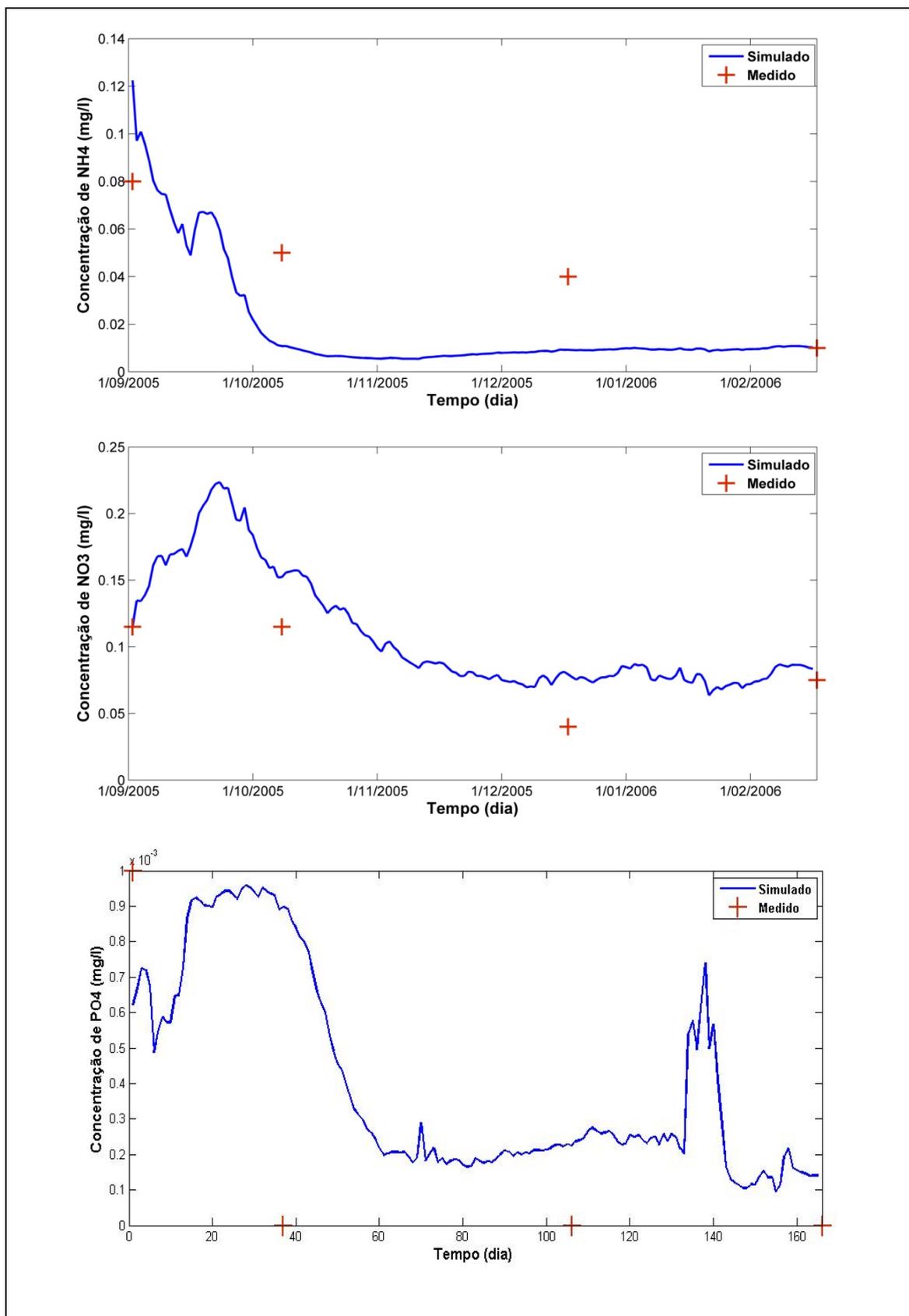
Na estação Casca 30 (ver figura 4.3) observa-se uma boa calibração média de NH_4 , com o pico de máxima concentração ocorrendo logo no início de setembro, atingindo aproximadamente 0,12 mg/l. Diferente das estações Manso 40 e 30 em que os picos ocorrem próximos a segunda quinzena de setembro e ainda com um pico de concentração mais elevada. Este quadro diferente na conformação desta estação pode ser associado a um regime diferente de vazão à que o rio Casca impõe a esta estação. A concentração de NO_3 , simulado e medido, são visualmente bem correlacionados. Com a queda de concentração ocorrida na segunda quinzena de dezembro para os dados de campo se correlacionando a uma diminuição gradativa nos dados simulados no mesmo período. Mais uma vez, para a concentração de ortofosfato, apenas uma correlação com a escala pode ser feita.

No geral para as três estações de coleta, Manso 40, Manso 30 e Casca 30 existe uma boa calibração para a função degrau modelada como entrada para os parâmetros de nutrientes que são alvos de estudo do presente trabalho, destacando-se os seguintes fatos.

- Boa correlação, tanto média quanto em conformação entre os dados simulados e medidos no campo para as formas de nitrogênio (NH_4 e NO_3);
- Boa correlação em termos de escala para ortofosfato (PO_4) sem, no entanto, termos parâmetros o suficientes para determinarmos com precisão a forma e evolução dos valores no tempo.

Figura 4.1 - Calibração de NH₄, NO₃ e PO₄ para a estação Manso40

Figura 4.2 - Calibração de NH₄, NO₃ e PO₄ para a estação Manso30

Figura 4.3 - Calibração de NH₄, NO₃ e PO₄ para a estação Casca 30

3.1.2 Calibração do modelo carga =f(vazão, tempo)

O modelo de cargas de nutrientes associados a cada um dos rios contribuintes foi modelado segundo as variáveis, tempo e vazão, e então simulados para mesmo período da função degrau. As figuras 4.4 a 4.6 representam esse período de simulação considerado como calibração.

A função degrau e o modelo de carga obtêm aproximadamente o mesmo grau de confiabilidade para NH_4 , contudo, as simulações para NO_3 e PO_4 apresentam fortes variações quanto à conformação dos gráficos e valores de campo, gerando nos dois casos (PO_4 e NO_3) resultados de qualidade inferior ao apresentado para a função degrau.

A maior dificuldade no modelo de carga gerado está associada à escassez de dados que compõe o modelo (somente quatro valores espaçados de dois meses entre eles serviram de base para a regressão) o que geraram picos de cargas que comprometem o modelo e dificultam o processo de calibração.

Desta forma, o modelo escolhido para dar prosseguimento à segunda etapa (aporte de cargas pontuais de nutrientes) é o modelo gerado pela calibração pela função degrau.

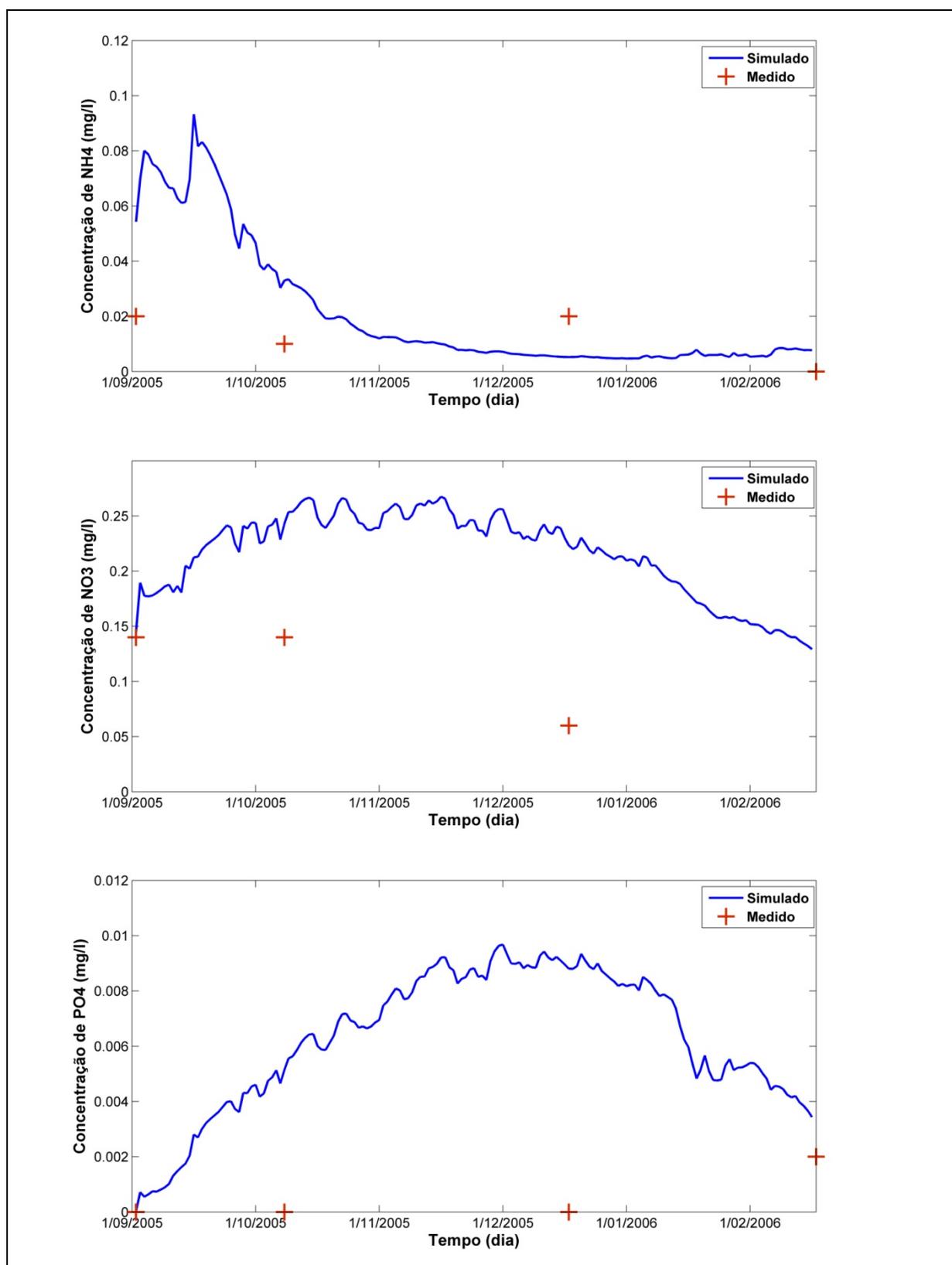
Figura 4.4 - Calibração de NH_4 , NO_3 e PO_4 na estação Manso 40

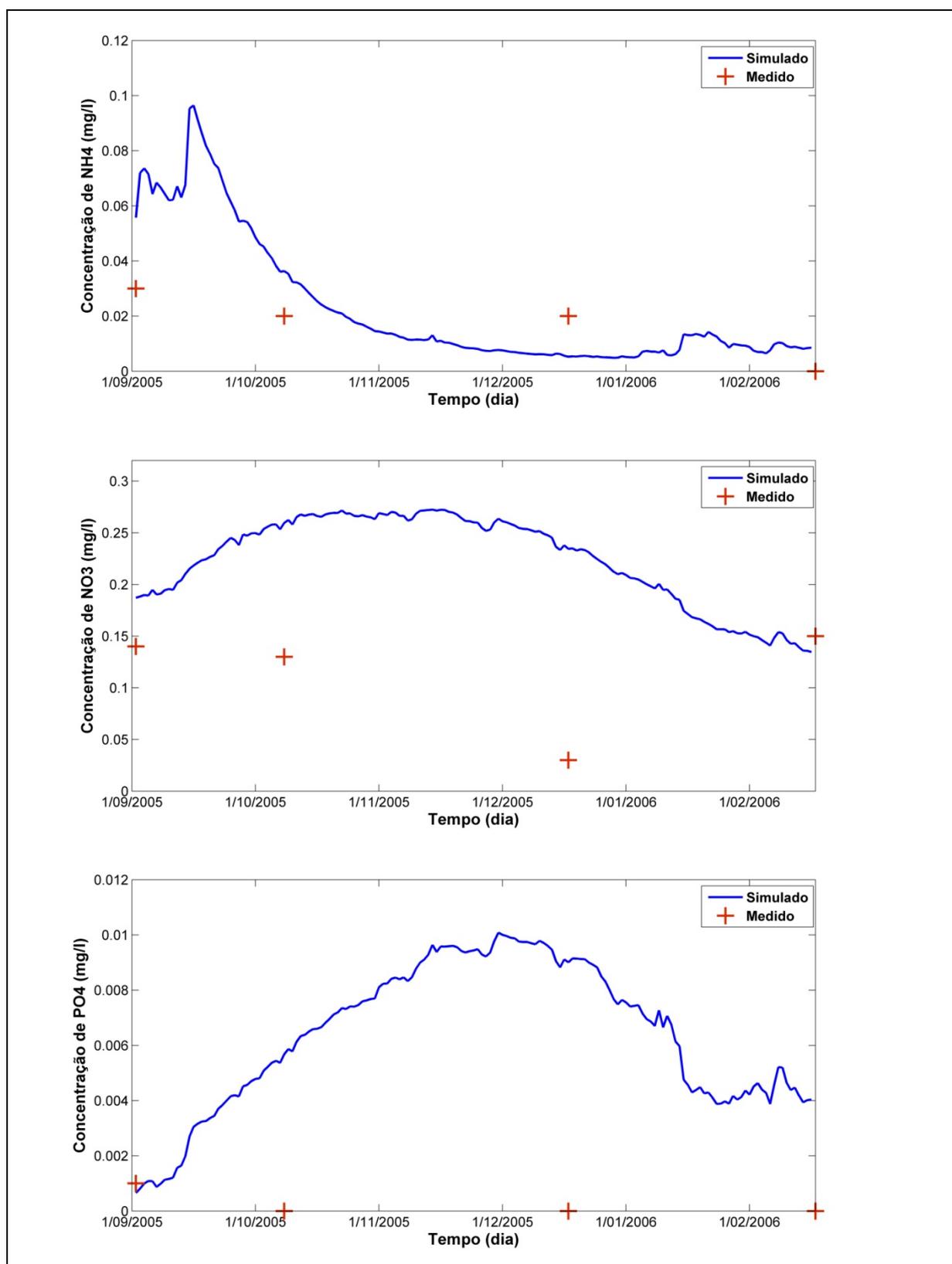
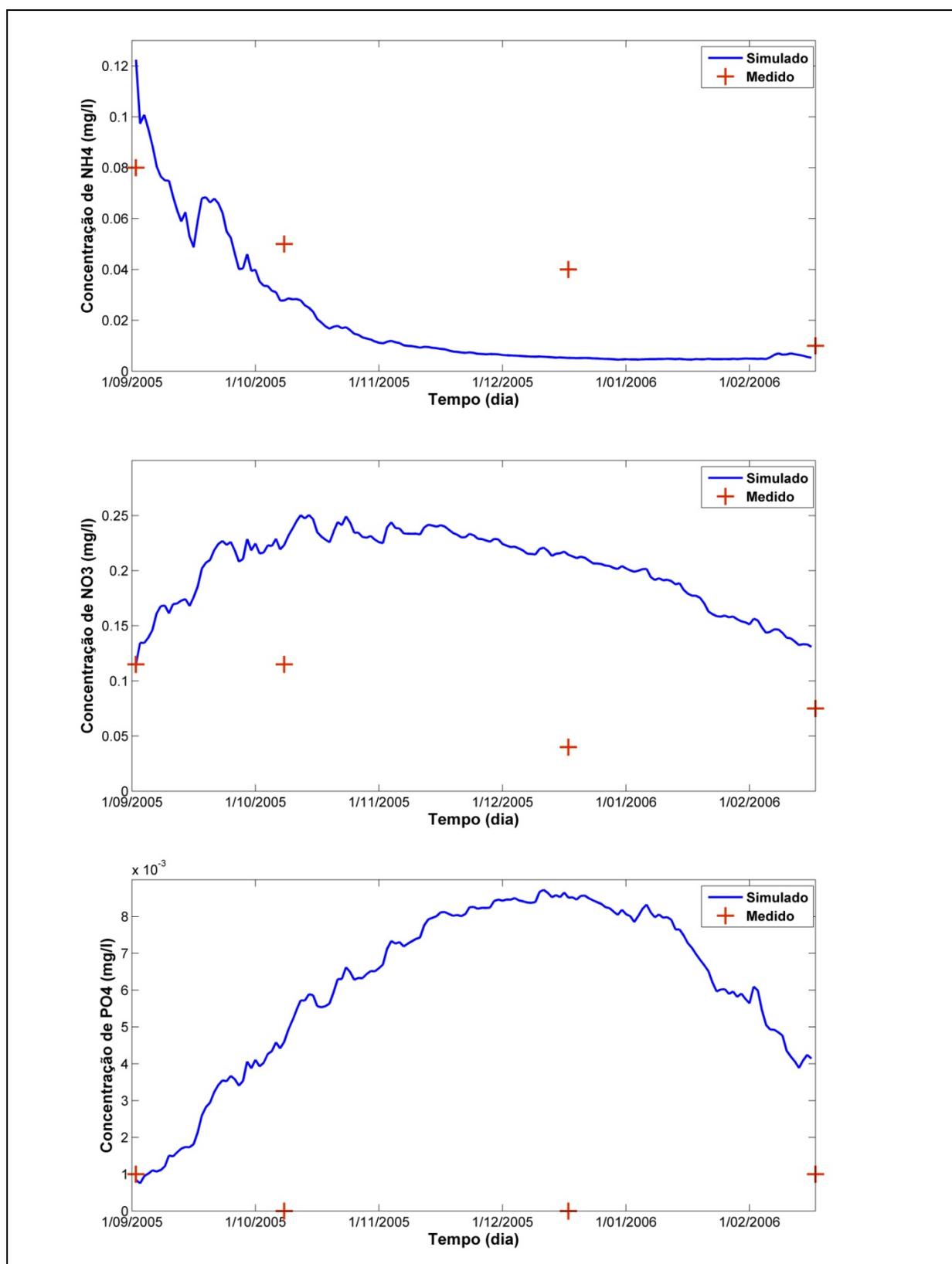
Figura 4.5 - Calibração de NH_4 , NO_3 e PO_4 na estação Manso30

Figura 4.6 - Calibração de NH_4 , NO_3 e PO_4 na estação Casca 30

3.2 Aporte de nutrientes

Como anteriormente explicitado na seção 3.5, o aporte de nutrientes se deu em três pontos que representam o despejo de esgoto urbano doméstico. Esses pontos são chamados neste trabalho de *Redpoint* e representam a carga de 5000, 10000 e 20000 habitantes em cada ponto a partir de 16 de fevereiro de 2006. A posição de cada um destes redpoints é vista na figura 3.41.

As discussões dos resultados obtidos são derivados da observação e da comparação entre:

- As diferentes cargas simuladas;
- Seus efeitos nas proximidades dos pontos de lançamento;
- Seus efeitos na totalidade do reservatório;
- A determinação das áreas mais críticas simuladas;
- A dinâmica espacial e temporal dessas cargas nas proximidades dos pontos de lançamento.

A fim de estabelecer um referencial seguro entre os dados, foi simulado a “não entrada” de cargas de nutrientes nesses *redpoints*. Essa simulação será denominada neste trabalho como *clean*, em referência ao que seria seu estado livre de lançamentos de esgoto que provocariam uma poluição por nutrientes. Ainda, além dos nutrientes é observado um clássico indicador de eutrofização (como visto na seção 1.2) que é a clorofila-a.

A seguir é apresentado o conjunto de dados referentes a cada simulação, como descrito no quadro 3.1, e uma breve análise de cada uma delas.

3.2.1 Simulação 1

A primeira simulação compreende a entrada de esgoto na posição Redpoint 3 (ver figura 3.41) localizado no braço do rio da Casca após o rio Quilombo e antes da barragem. Sua posição cartesiana na batimetria é $x_i = 53$, $y_i = 22$ (ver mapa batimétrico construído para o trabalho no anexo 1).

Esta simulação se desmembra em três outras referentes a um aumento populacional como se segue.

Simulação 1.1

Esta simulação representa o aporte de nutrientes referentes a uma carga de 5000 habitantes conforme tabela 3.14 e 3.15, e os dados gerados por esta simulação são apresentados nas figuras 4.7 à 4.10.

A figura 4.7– (a) e (d) representam a concentração de NH_4 e sua diferença entre a simulação *clean* (como explicado ainda nesta seção) respectivamente, ambas em suas médias a um raio de aproximadamente 1,2 km de distância do ponto de lançamento. Ainda na mesma figura, (b) e (e) representam novamente a concentração de NH_4 e sua diferença relativa a simulação *clean*, respectivamente. Sendo o gráfico, novamente, uma média das concentrações em uma área correspondente a um raio de 2,4 km ao redor do ponto de lançamento. O mesmo se segue em (c) e (f) para um raio de aproximadamente 5 km.

Neste ponto, a fim de aproveitar o momento oportuno deve ser dito que a mesma interpretação deve ser empregada as figuras seguintes, variando apenas o indicador do gráfico (NH_4 , NO_3 , PO_4 e clorofila – a) e o objeto da simulação (5000, 10000, 20000 habitantes e/ou a posição do ponto de lançamento). Feito este esclarecimento voltemos a discussão sobre a figura 4.7.

Como era de se esperar uma maior concentração de NH_4 encontra-se nas proximidades do lançamento da carga (raio de 1,2 km) atingindo picos entre 0.010 e 0.015 mg/l de NH_4 (figura 4.7 – (a)), no entanto o acréscimo na concentração em relação a simulação “*clean*” atinge picos entre 4 e 6 $\mu\text{g/l}$ (ver figura 4.7 – (d)), levando em média a um acréscimo entre 1 e 2 $\mu\text{g/l}$. O percentual calculado de aumento na concentração é de apenas 6,58%.

Embora, como já foi dito, haja um aumento maior na concentração no raio de 1,2 km, a diferença em escala, para a área de raio 2,4 km (figura 4.7 – (b) e (e)) e 5 km (figura 4.1 - (e) e (f)) pode ser encarada, em ambos os casos, como um acréscimo de pequena importância nas áreas delimitadas. Corroborando essas afirmações o incremento percentual nas concentrações, nessas áreas são de 3,13% e 1,58% respectivamente.

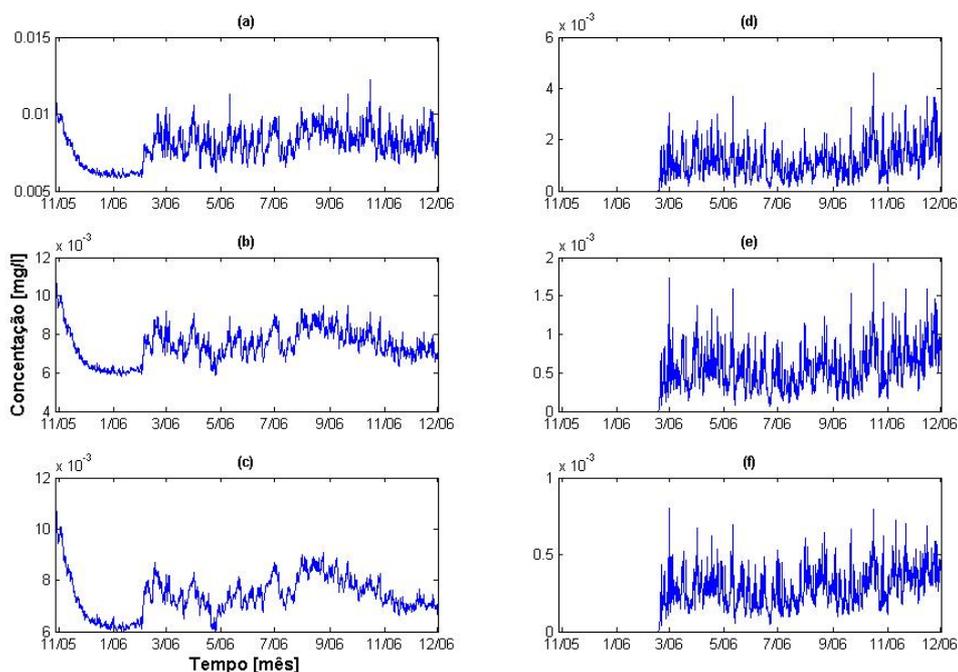


Figura 4.7 – Concentração de NH_4 na simulação 1.1

A concentração de NO_3 , na figura 4.8, apresenta comportamento contrário ao do NH_4 , ocorrendo uma diminuição na concentração com o passar do tempo. Embora esta diminuição possa parecer (e de fato é) acentuada (ver figura 4.8 (a), (b) e (c)) pode –se afirmar que pouca influência se deve ao processo de entrada de nutrientes. Afinal, nota-se que a diferença relativa à simulação sem o aporte de nutrientes (*clean*) está sempre na escala de $\mu\text{g/l}$ (ver figura 4.8 - (d), (e) e (f)), e ainda, em valores percentuais, representam um decréscimo de 0,52%, 0,49% e 0,45% para as áreas de 1,2 km, 2,4 km e 5 km ao redor do ponto de inserção das cargas. Demonstrando, também, pouca variação com o afastamento do ponto de lançamento.

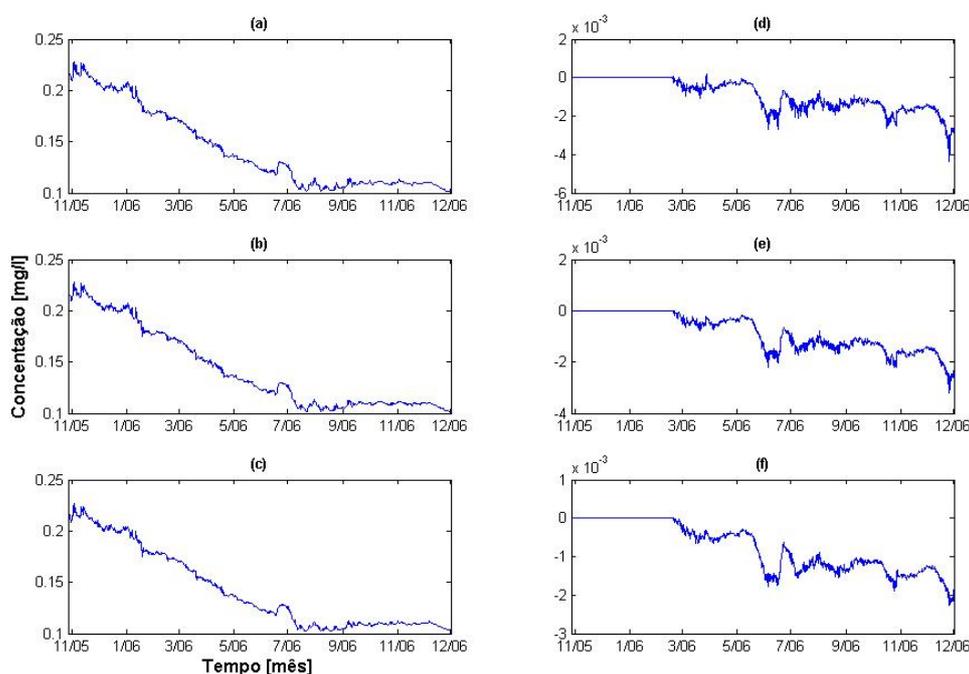


Figura 4.8 – Concentração de NO_3 na simulação 1.1

A figura 4.9 mostra a variação da concentração de PO_4 . O esperado é que a concentração aumente consideravelmente, visto que ambientes oligotróficos, como o do reservatório APM- Manso, possuem uma baixa concentração deste nutriente, que costuma ser o fator limitante para o crescimento algal (ver seção 1.2). Neste aspecto nota-se um aumento gradativo e considerável desde o início da entrada (16/12/2006) de nutrientes com uma queda acentuada no mês de Julho e Agosto, retomando o seu crescimento após este evento (figura 4.9 (a), (b) e (c))

O aumento da concentração de PO_4 em relação a simulação com a ausência desta entrada demonstra que como o aumento da distância da fonte, menor é essa concentração relativa. Este fato pode ser visto nas figuras 4.9 – (d), (e) e (f) apresentando percentual de aumento em suas concentrações valores de 35,47%, 16,92% e 8,26%, respectivamente.

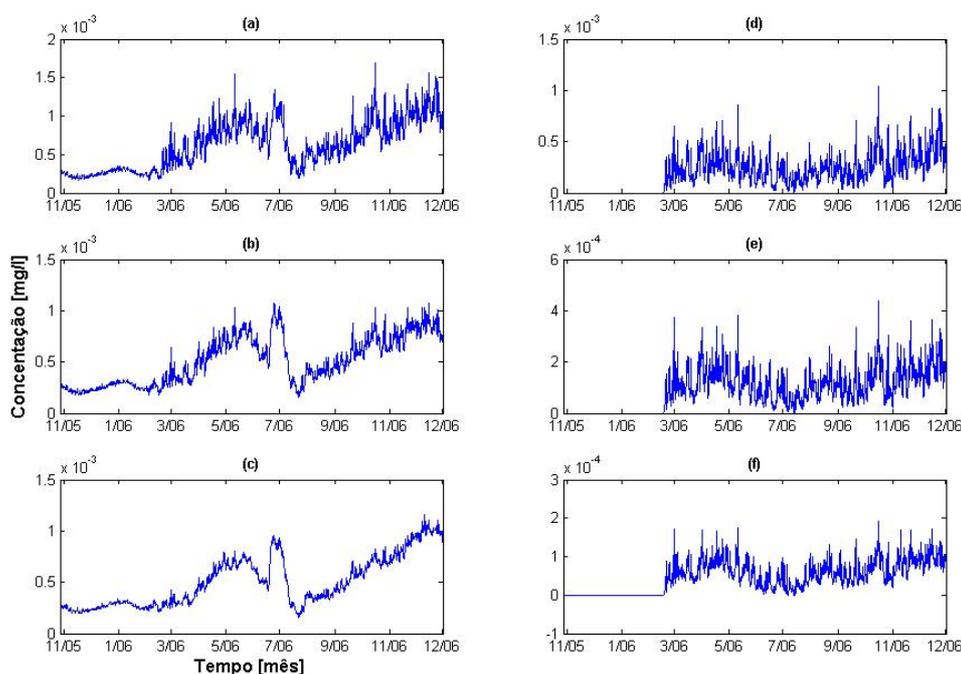


Figura 4.9 – Concentração de PO4 na simulação 1.1

Para melhor demonstrarmos o efeito deste aporte de nutrientes na qualidade da água é utilizado o total de clorofila-a como um indicador de estado trófico. Assim, podemos ver na figura 4.10 este indicador, apresentando ciclos de aumento e diminuição da biomassa algal nas áreas já mencionadas.

Nota-se que a concentração de clorofila-a (figura 4.10 (a) (b) e(c)) está em média entre 1 e 2 $\mu\text{g/l}$, a exceção que atinge valor entre 6 e 7 $\mu\text{g/l}$. Este pico começa a ascender no final de Junho, atingindo seu valor máximo no início de Julho. Observando novamente o gráfico de PO4 (figura4.3) este momento de aumento gradativo na concentração de clorofila-a, ora mencionado, coincide com a diminuição de PO4. Este fato não corresponde forma alguma a uma considência, mas sim uma forte relação de consumo e dependência entre o crescimento algal (*bloom*) e disponibilidade de PO4, que naquele momento pode ter sido fator limitante.

Pela figura 4.10 (d), (e) e (f) é possível perceber que os meses de maior influência no crescimento algal devido a essa entrada pontual de nutrientes são os meses de Junho Outubro e Dezembro, sendo Dezembro o mês de maior influência chegando a obter um pico de 2 $\mu\text{g/l}$ a mais do que a simulação “*clean*”.

A média percentual de aumento desta concentração é de 12,44%, 9,06% e 6,52% para as áreas consideradas ao entorno do ponto de entrada (como já foi explicado anteriormente).

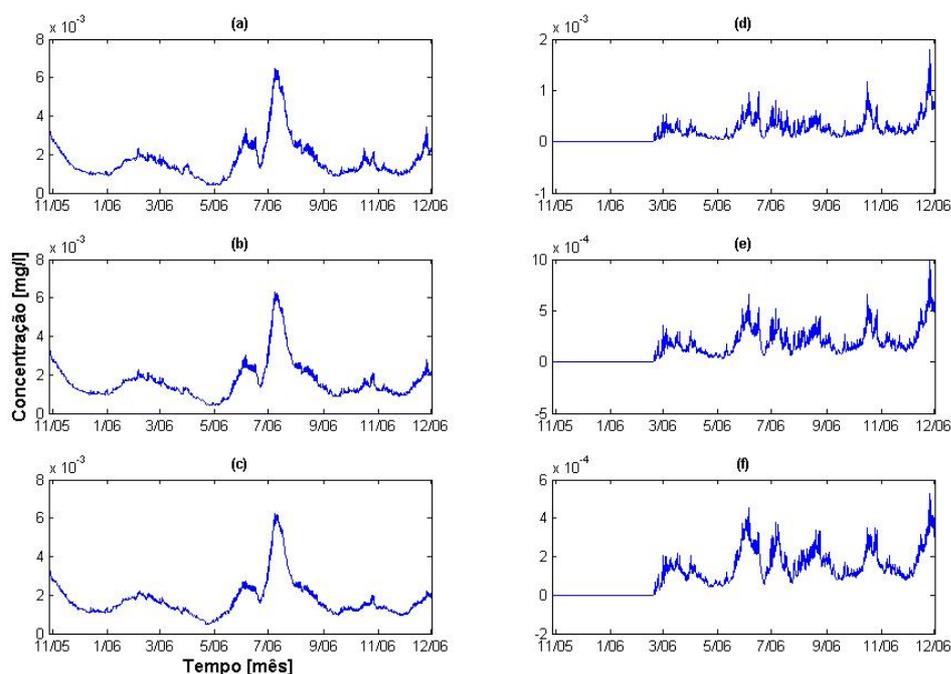


Figura 4.10 – Concentração de PO4 na simulação 1.1

Simulação 1.2

A simulação 1.2 (ver figuras 4.11 a 4.14) compreende o aumento populacional, que passa de 5000 para 10000 habitantes, que representa o dobro da vazão do efluente com as mesmas características, no mesmo ponto de lançamento.

Como esta simulação apresenta características muito próximas a simulação 1,1, devido à carga ser efetuada no mesmo ponto, apenas os pontos em que se diferem serão discutidos neste momento.

A tabela 4.1 apresenta os acréscimos médios percentuais com relação a simulação sem a inserção da carga pontual.

Tabela 4.1 – Aumentos percentuais para simulação 1.2

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	12.89	-1.01	69.4	26.85
2.4 km	6.12	-1	31.17	19.13
5 km	3.09	-0.91	15.88	13.43

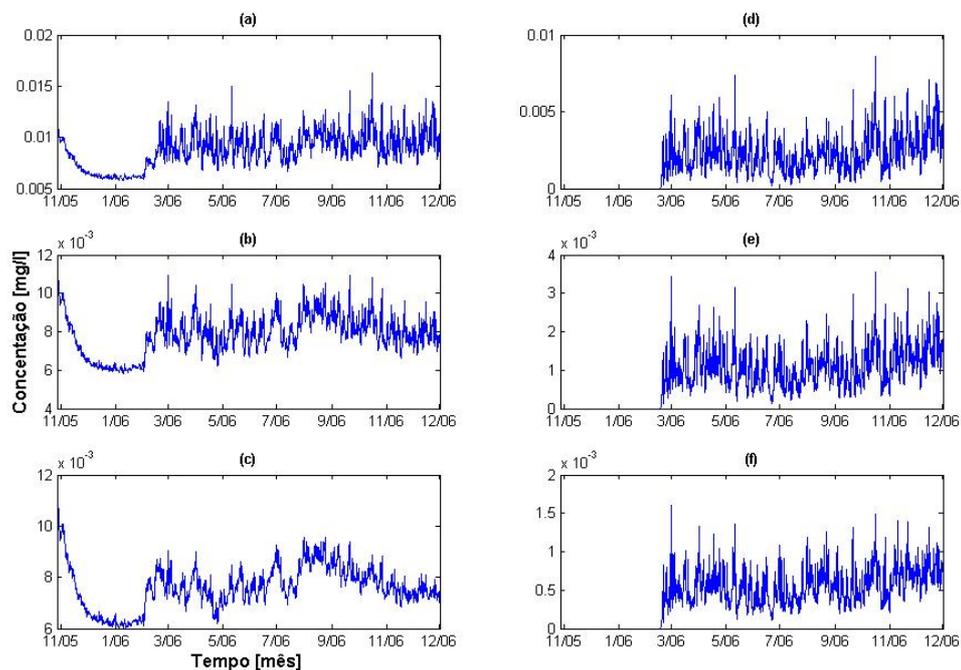


Figura 4.11 – Concentração de NH4 na simulação 1.2

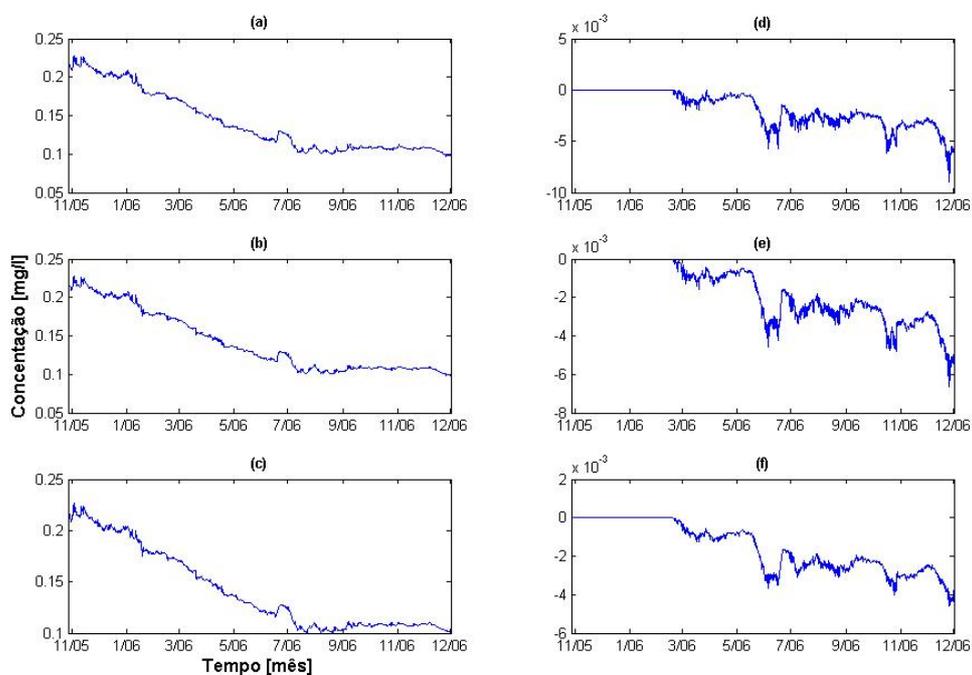


Figura 4.12– Concentração de NO3 na simulação 1.2

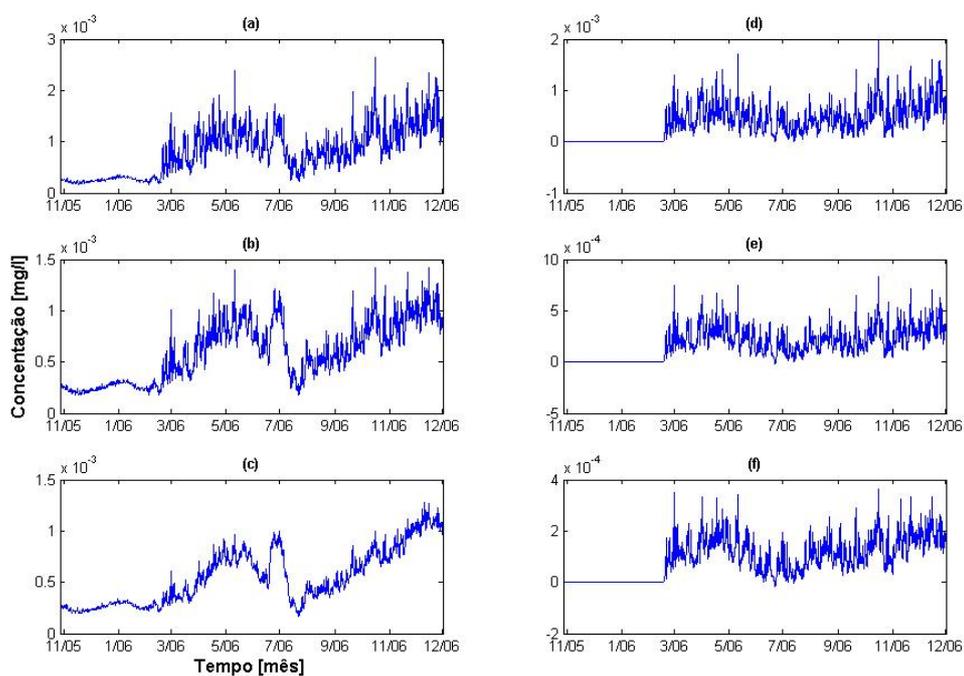


Figura 4.13 – Concentração de PO4 na simulação 1.2

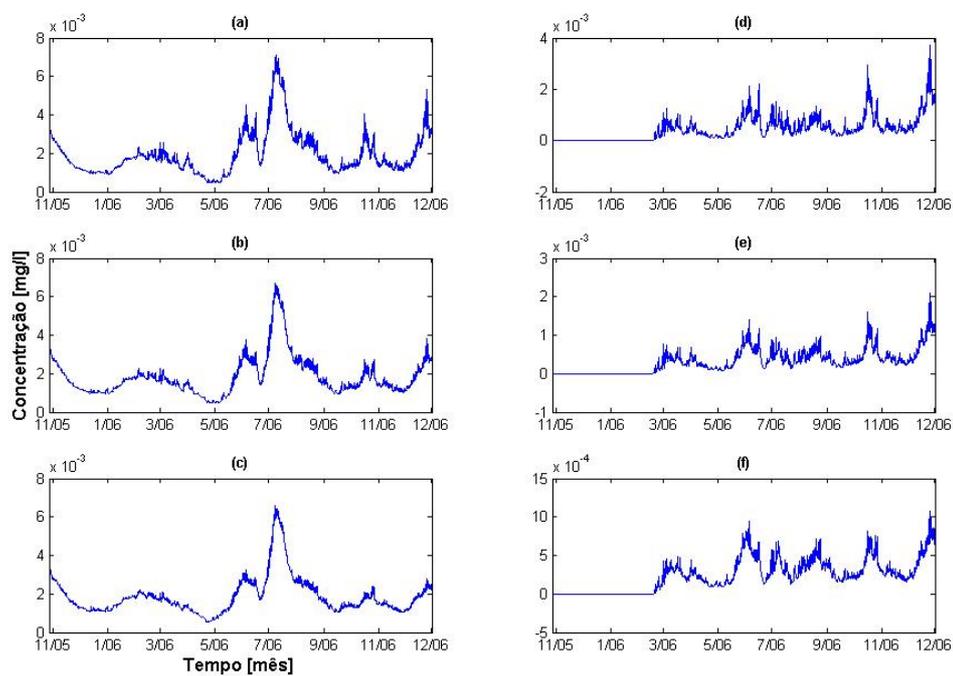


Figura 4.14 – Concentração de clorofila-a na simulação 1.2

Simulação 1.3

Esta Simulação representa a inserção de um lançamento referente a 20000 habitantes, o que mais uma vez significa um aumento igual a duas vezes o valor da simulação anterior.

O acréscimo percentual em relação à simulação sem o lançamento pontual é visto na tabela 4.2 para cada nutriente e a clorofila-a em cada área considerada de raio ao entorno do ponto de despejo.

Tabela 4.2 - Aumentos percentuais para simulação 1.3

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	24.89	-2.22	135.11	56.22
2.4 km	11.78	-2.06	63.12	39.97
5 km	5.93	-1.86	30.37	27.63

Dois pontos merecem destaque nesta simulação, o primeiro se refere à figura 4.17-(a), onde nota-se que a queda acentuada na concentração de PO4 que existia nas simulações já não acontece nesta simulação o que nos mostra que uma compensação entre o que é entregue pela fonte pontual (lançamento de esgoto) e o consumido pela biomassa algal, ao menos a 1,2 km de raio da fonte.

O segundo ponto é o aparecimento de outros picos de blooms de algas em vários momentos diferentes, são eles: Final de Maio – início de Junho, final de Julho – início de Agosto e no meio do mês de Outubro (ver figura 4.18).

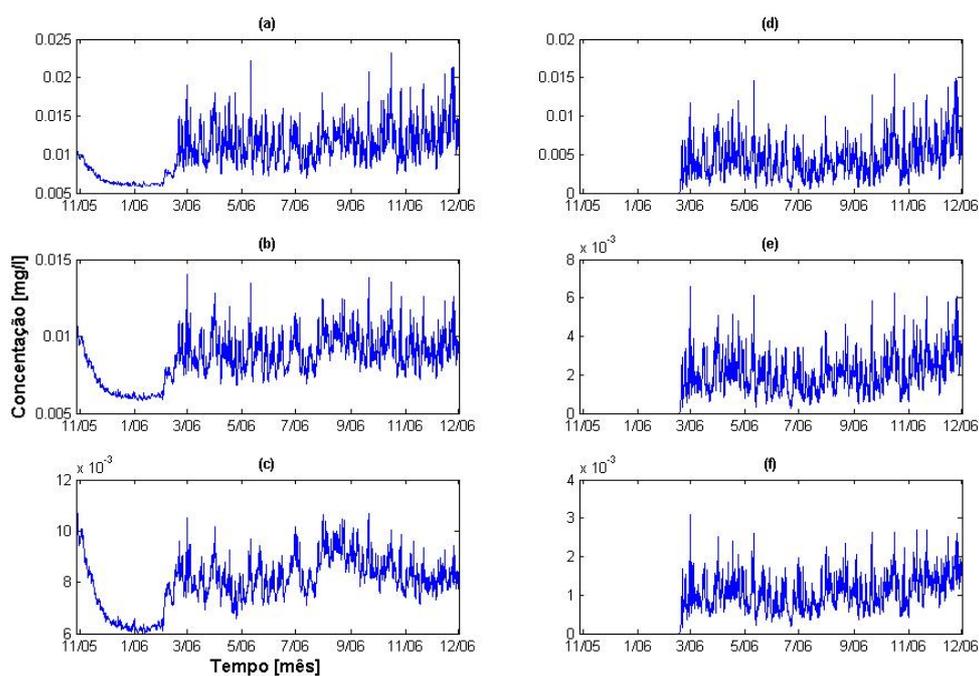


Figura 4.15 – Concentração de NH_4 na simulação 1.3

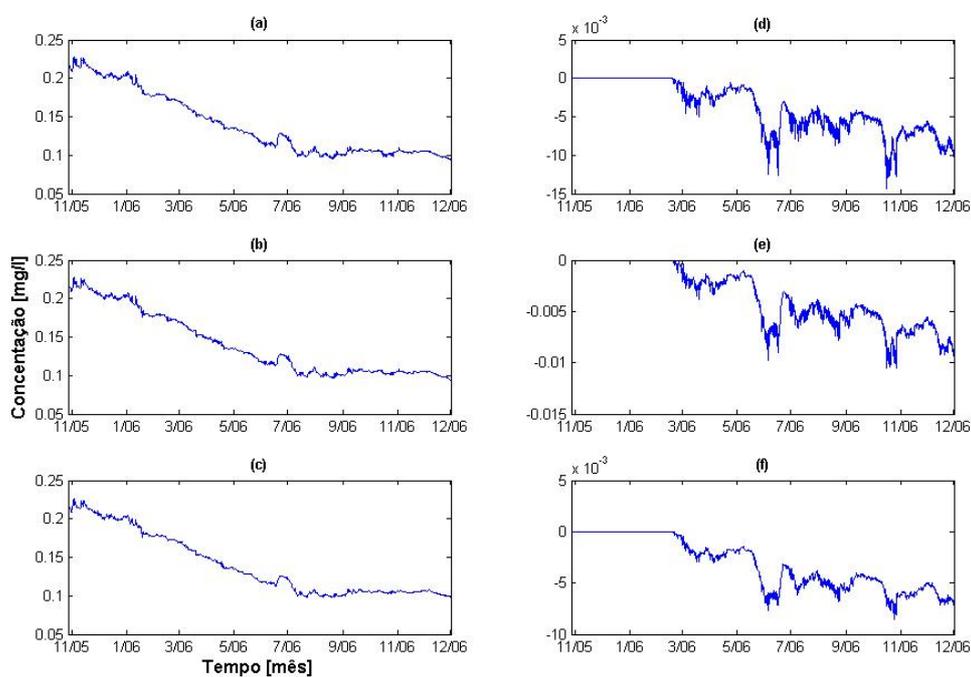


Figura 4.16 – Concentração de NO_3 na simulação 1.3

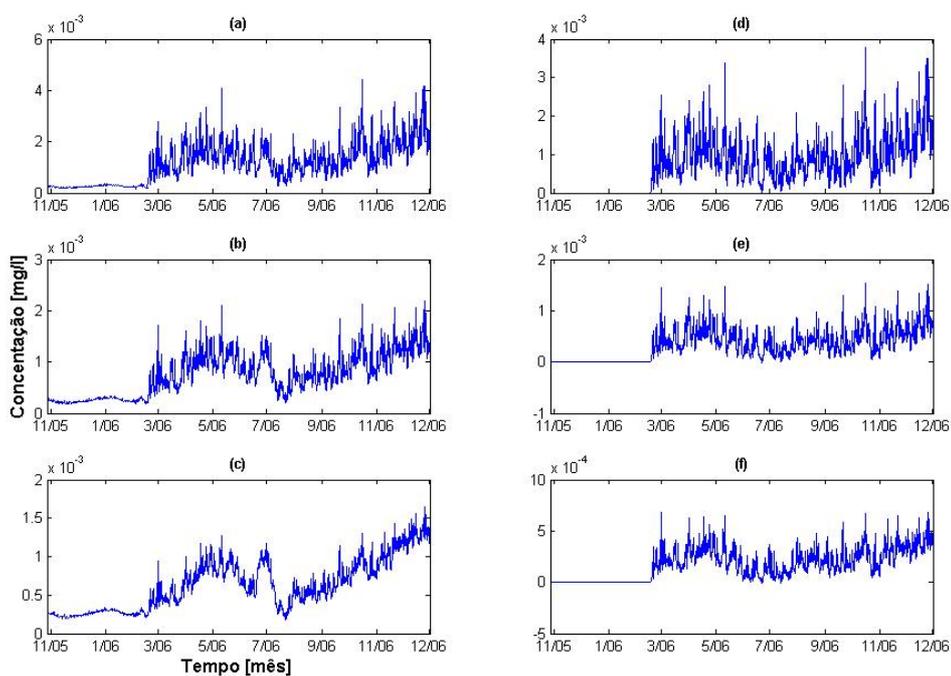


Figura 4.17 – Concentração de PO4 na simulação 1.3

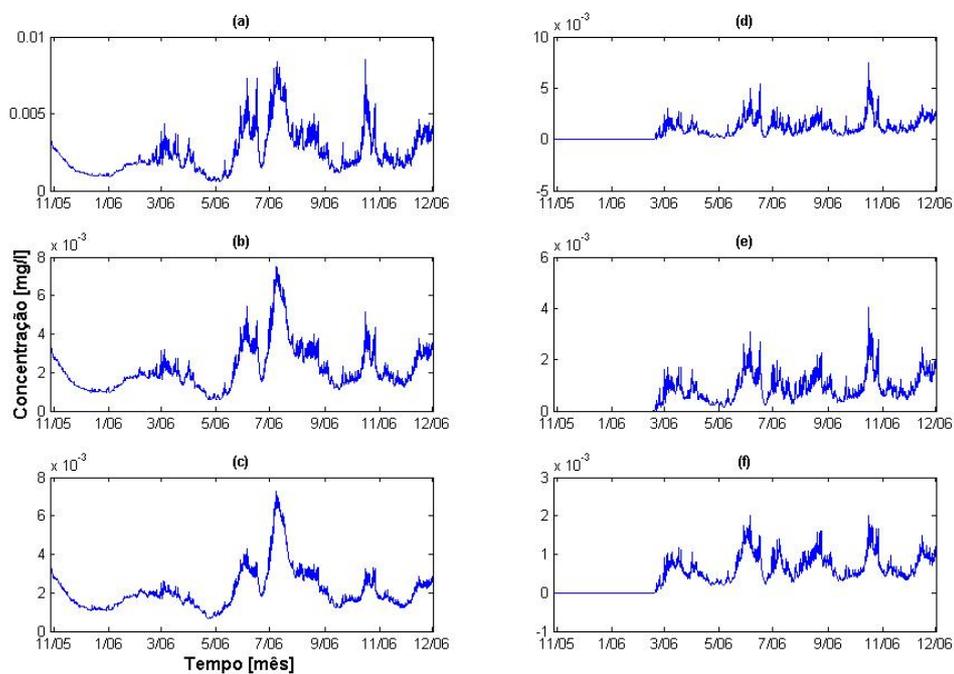


Figura 4.18 – Concentração de clorofila-a na simulação 1.3

Uma observação geral das simulações do lançamento em *redpoint* 1, em suas várias cargas (simulação 1.1, 1.2 e 1.3) nota-se uma linearidade do espalhamento dos nutrientes NH₄ e PO₄, (ver tabelas 4.1 e 4.2), onde com o aumento da distância do lançamento há uma queda gradual e linear no percentual de mudança devido as cargas da fonte. Este fato ocorrido na simulação pode ser explicado pela morfometria daquele trecho do reservatório que devido à distância da entrada dos rios de maior vazão (Manso e Casca) (ver seção 3.3.2) apresenta características de um ambiente lacustre (ver seção 1.3.1), onde águas bastantes calmas favorecem este tipo de espalhamento dos poluentes.

Ainda, em observações gerais, a situação mais crítica em termos de estado trófico é encontrada para a carga de 20000 habitantes, onde picos 8 µg/l de clorofila-a podem ser notados tanto a 1,2 km de raio de distância do lançamento quanto a 2,4 km. Se comparados aos dois sistemas fixos de classificação de nível trófico mais utilizado (OECD e Niirberg) poderíamos classificar neste momento de pico, bem como na média como ecossistemas mesotróficos (ver tabela 1.3).

Dinâmica Espacial

A figura 4.19 representa uma visão superficial e estética do entorno do ponto de lançamento de esgoto para cada um dos nutrientes analisados e a clorofila-a em dois momentos (a) e (b). Devido ao seu aspecto altamente segmentado nota-se, em (a), que após o lançamento há uma concentração de nutrientes (PO₄ e NH₄) num dos braços mais curtos do reservatório que encontra-se do lado esquerdo do ponto de descarte, este aumento de nutrientes neste trecho ou seção leva a um aumento da produtividade neste trecho e a uma diminuição da concentração de NO₃, possivelmente devido ao consumo gerado pelo *bloom* de algas.

Um comportamento semelhante pode ser visto na figura 4.19 (b), onde o *bloom* ocorre em outro braço segmentado próximo ao ponto de lançamento.

Este tipo de informação nos leva a considerar que para o lançamento efetuado na simulação 1 este braço seccionado é o ponto mais crítico de aumento de produtividade, o que é corroborado pela literatura sobre o assunto (ver seção 1.3.1).

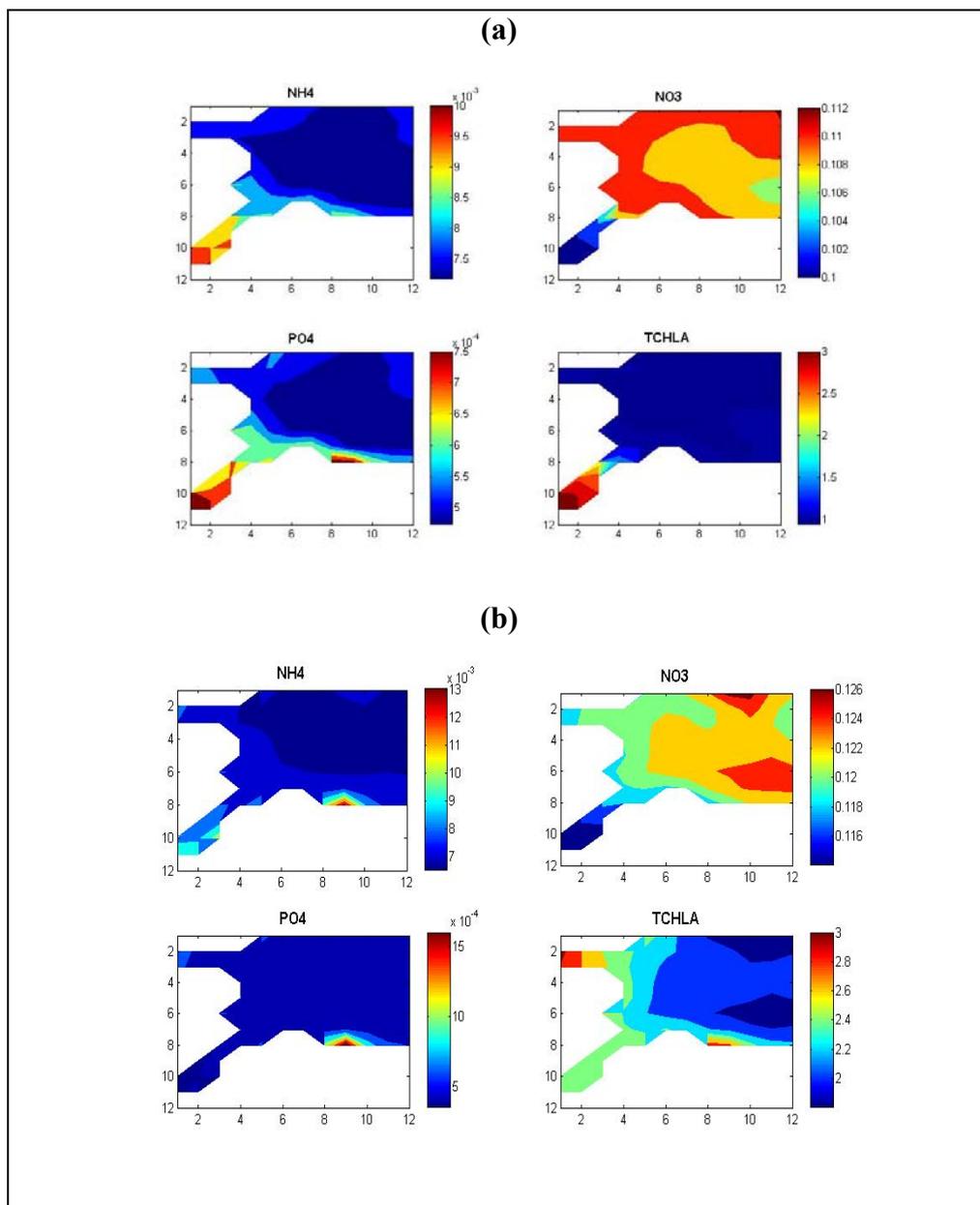


Figura 4.19 – Dinâmica espacial dos Nutrientes e clorofila-a na simulação 1

3.2.2 Simulação 2

A segunda simulação compreende o lançamento de esgoto no ponto *redpoint2* (ver figura 3.41) localizado de esgoto no braço do rio da Casca próximo a entrada do rio, sua posição na batimetria é $x_i = 70$, $Y_i = 64$, (ver mapa batimétrico construído para o trabalho no anexo 1).

Assim como a primeira simulação para o trabalho esta simulação se desmembra em 3 outras seguindo uma representação de um aumento populacional como se segue.

Simulação 2.1

Esta simulação refere-se a uma população de 5000 habitantes, e a figura 4.20 representa a concentração de NH_4 ao longo do período de simulação.

Ao contrário do que ocorre na simulação 1 em que há uma queda acentuada e pronunciada começando a haver uma compensação a partir do momento do lançamento, na simulação 2.1 há uma queda suave até o lançamento, quando um aumento de até $3\mu\text{g/l}$ em relação a concentração sem a carga, a uma área formada por um raio de aproximadamente 1,2 km a partir do ponto lançamento (figura 4.20-(d)), o que leva a uma diferença percentual média de 5,53%. A diminuição na concentração de NO_3 também ocorre de maneira mais suave que a primeira simulação (figura 4.21 (a)), enquanto que para PO_4 a concentração média está situada entre 0,5 e $1\mu\text{g/l}$, com pico máximo de $1,5\mu\text{g/l}$ (figura 4.22).

Com relação à concentração de clorofila-a, nota-se uma maior concentração média entre fevereiro e abril, e ainda um pico elevado no mês de Julho obtendo valores próximos de $10\mu\text{g/l}$ em ambos os períodos citados (figura 4.23).

A tabela 4.3 apresenta o acréscimo percentual nas concentrações dos nutrientes e do indicador trófico (clorofila-a) para esta simulação, a cada raio de distância em afastamento da fonte pontual de lançamento.

Tabela 4.3 - Aumentos percentuais para simulação 2.1

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	5.539	-1.55	24.1	13.54
2.4 km	8.71	-1.5	37.32	14.54
5 km	4.22	-1.44	16.91	11.01

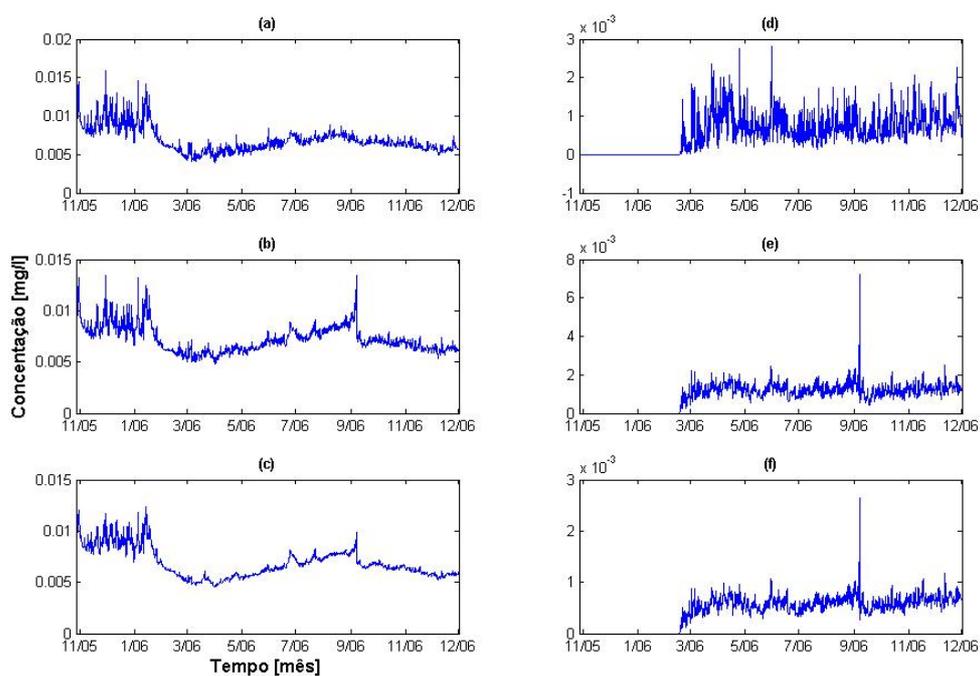


Figura 4.20 – Concentração de NH_4 na simulação 2.1

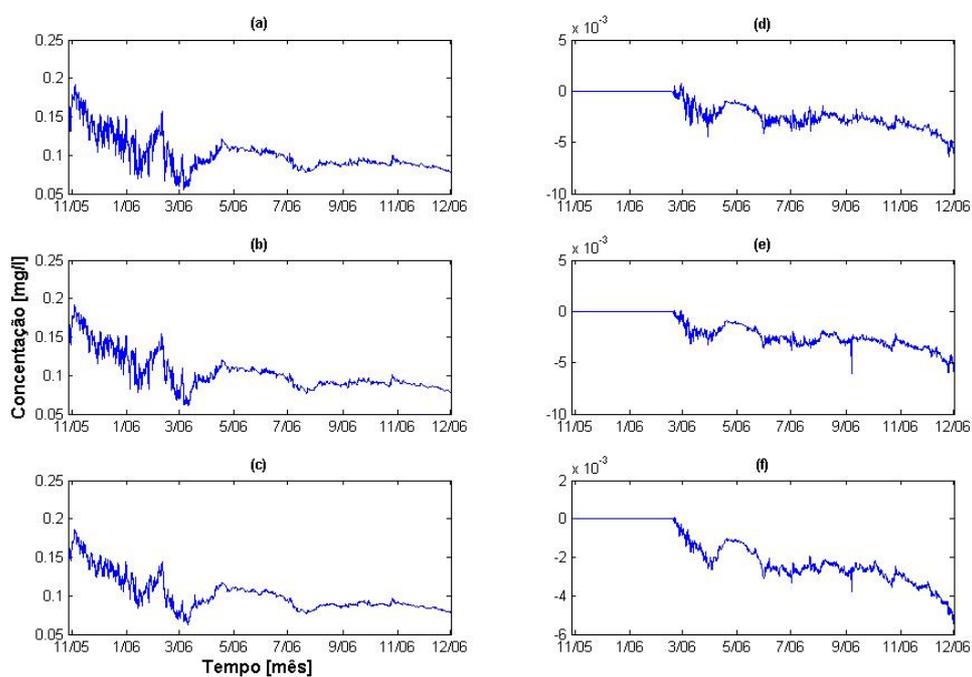


Figura 4.21 – Concentração de NO_3 na simulação 2.1

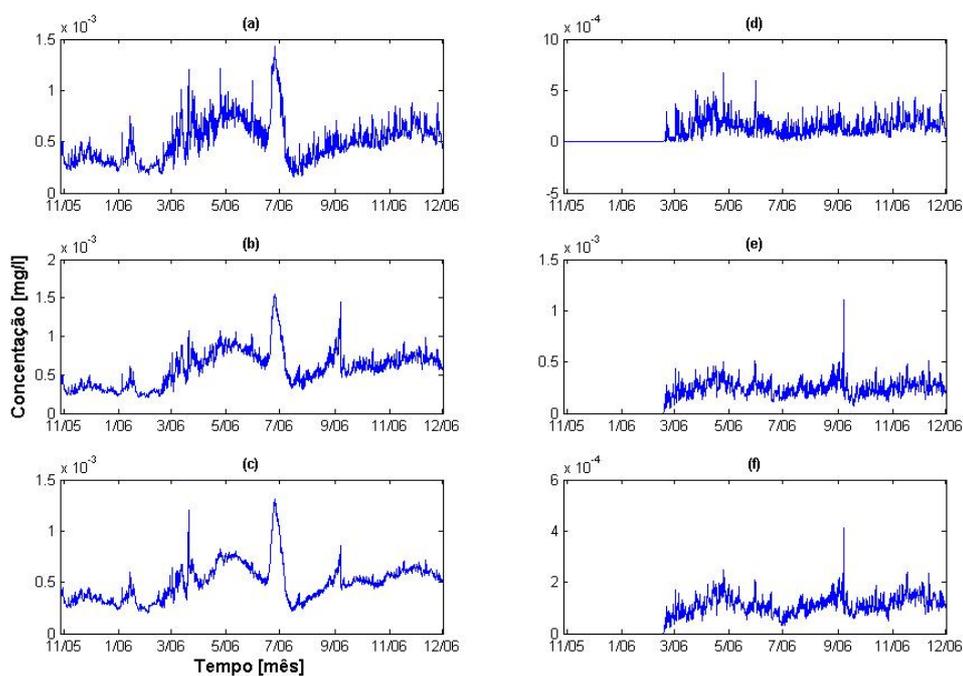


Figura 4.22 – Concentração de PO4 na simulação 2.1

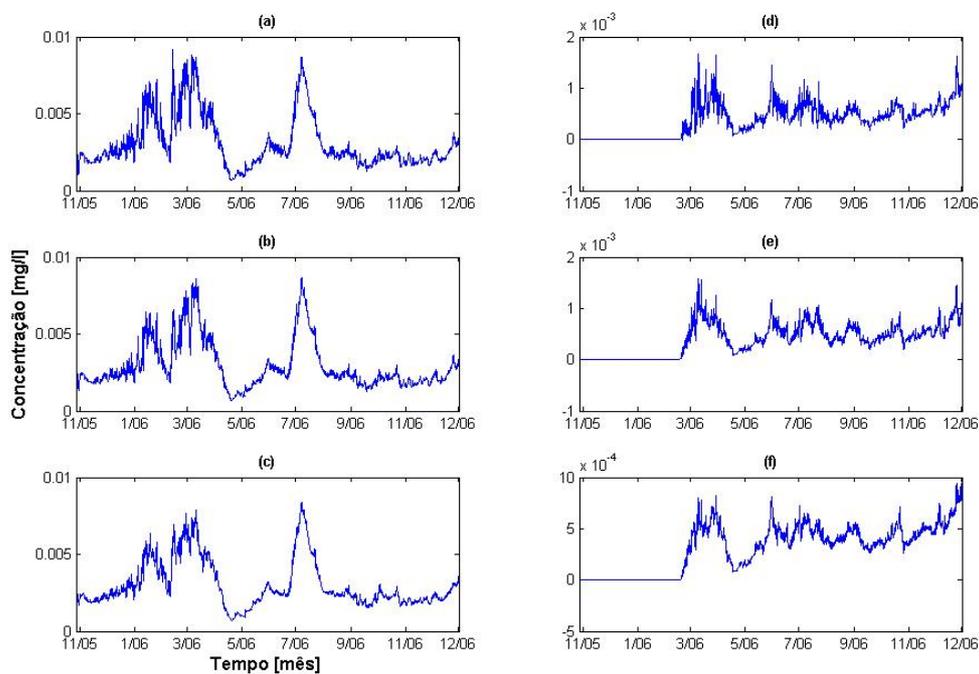


Figura 4.23 – Concentração de clorofila-a na simulação 2.1

Simulação 2.2

A simulação 2.2 representa o lançamento de esgoto de 10000 habitantes. Os gráficos nas figuras 4.24 a 4.27 nos mostram que não existem mudanças com relação à conformação da evolução temporal da simulação com 5000 habitantes em 2.1, porém, há um aumento percentual maior nas concentrações medidas em relação à simulação “*clean*”, como pode ser visto na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Aumentos percentuais para simulação 2.2

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	10.57	-3.26	45.38	29.02
2.4 km	16.78	-3.15	71.86	31.1
5 km	8.09	-3	31.69	23.15

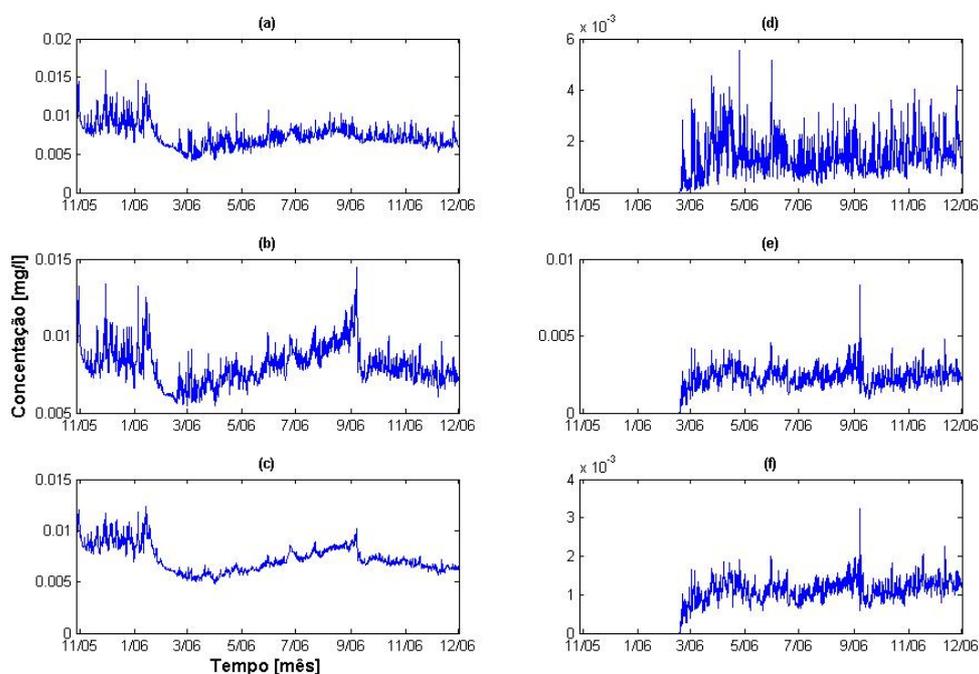


Figura 4.24 – Concentração de NH4 na simulação 2.2

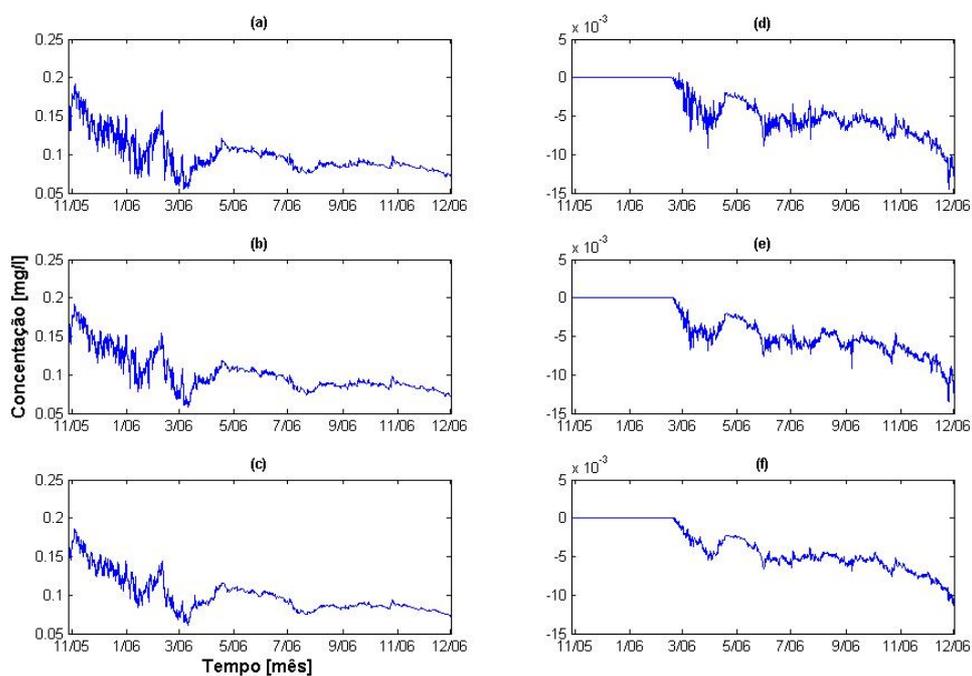


Figura 4.25 – Concentração de NO_3 na simulação 2.2

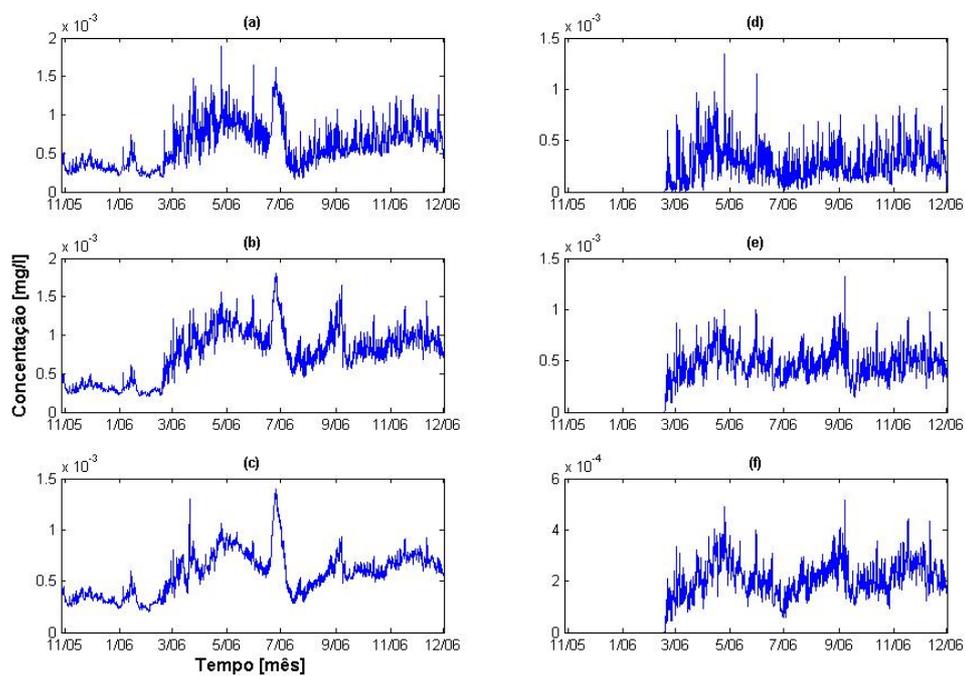


Figura 4.26 – Concentração de PO_4 na simulação 2.2

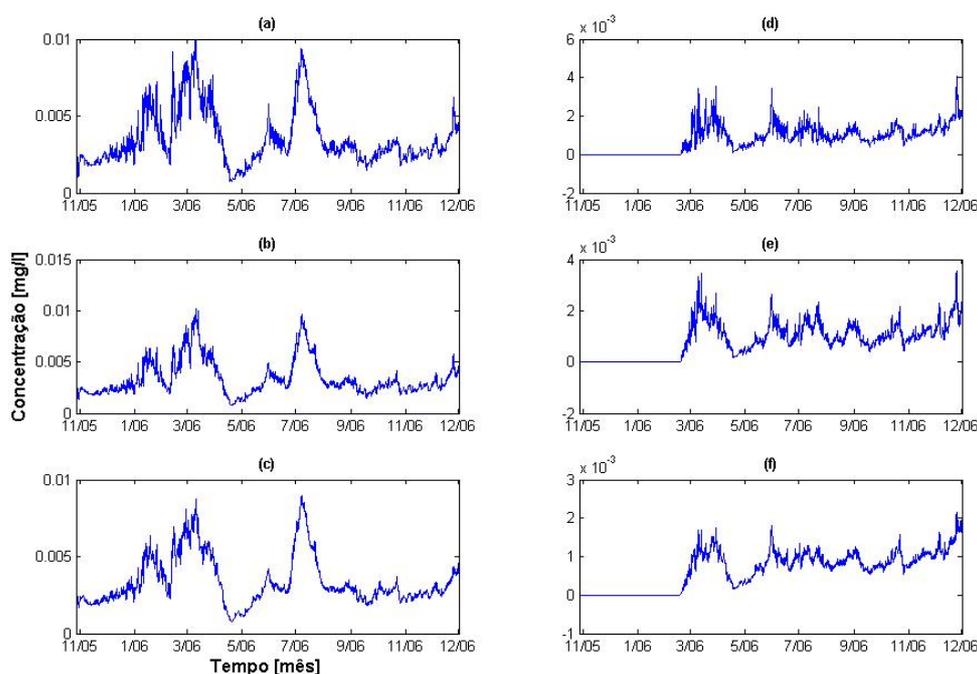


Figura 4.27 – Concentração de clorofila-a na simulação 2.2

Simulação 2.3

Esta simulação representa um lançamento de 20000 habitantes na posição *redpoint2*, e os resultados desta simulação nos mostra uma grande mudança na dinâmica temporal da área ao entorno do reservatório em relação às simulações para 5000 e 10000 habitantes vistas anteriormente (simulação 2.1 e 2.2)

Para NH_4 há uma grande período de consumo entre os meses de Março e Junho que podem ser vistos na figura 4.28 (a), (b) e (c), ainda, pela primeira vez, há uma diferença negativa entre o simulado com e sem o lançamento, com uma queda na concentração no final de Junho- início de Julho (ver figura 4.28 (d), (e) e (f)).

O período de consumo de NH_4 , mencionado anteriormente, se reflete nas concentrações de NO_3 , no qual, diferente das simulações anteriores passa a contar com um acréscimo relativo em sua concentração, no mesmo período (figura 4.29). Este mesmo período de consumo visto para NH_4 pode ser visto na concentração de PO_4 , que ainda apresenta um período de diferença negativa (queda na concentração em relação à simulação

“clean”) em Julho, assim como visto para NH₄. Os dados referentes à concentração de PO₄ são apresentados na figura 4.30.

O indicador trófico (clorofila-a) obtém picos de igual concentração relativa às simulações 2.1 e 2.2, porém obtém picos maiores no mês de Junho, se aproximando de 15 µg/l, e ainda um pico novo em Dezembro, que se situa entre 10 e 15 µg/l, o que demonstra uma alteração da produtividade deste trecho do reservatório (figura 4.31) para esse aumento populacional.

Tabela 4.5 - Aumentos percentuais para simulação 2.3

	NH ₄	NO ₃	PO ₄	Clorofila-a
1.2 km	15.89	0.04	72.18	42.02
2.4 km	23.72	0.02	106.2	45.1
5 km	12.03	0.68	51.84	31.15

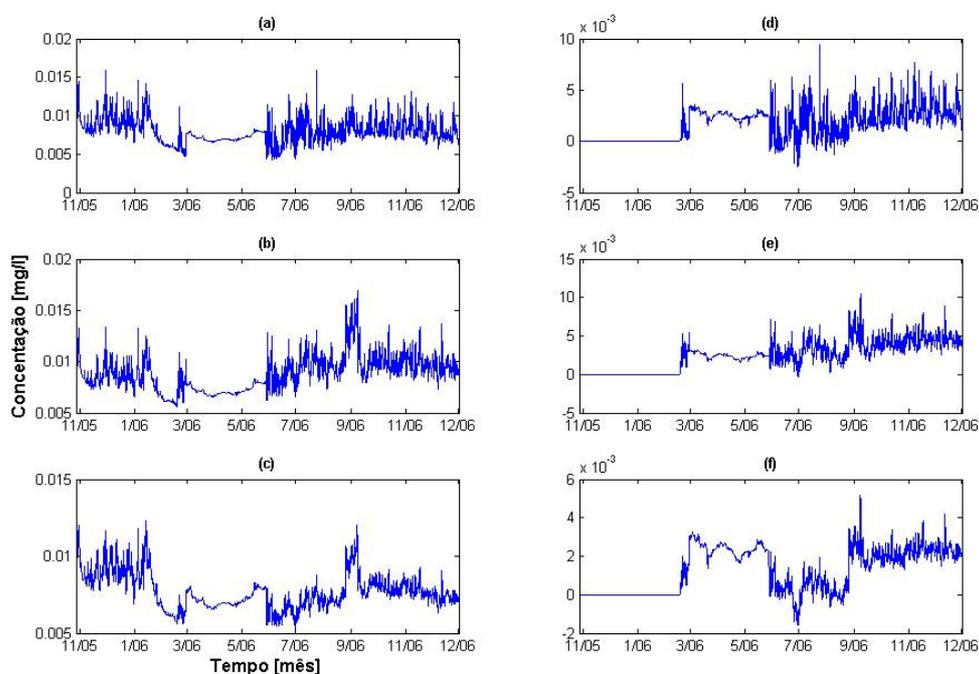


Figura 4.28 – Concentração de NH₄ na simulação 2.3

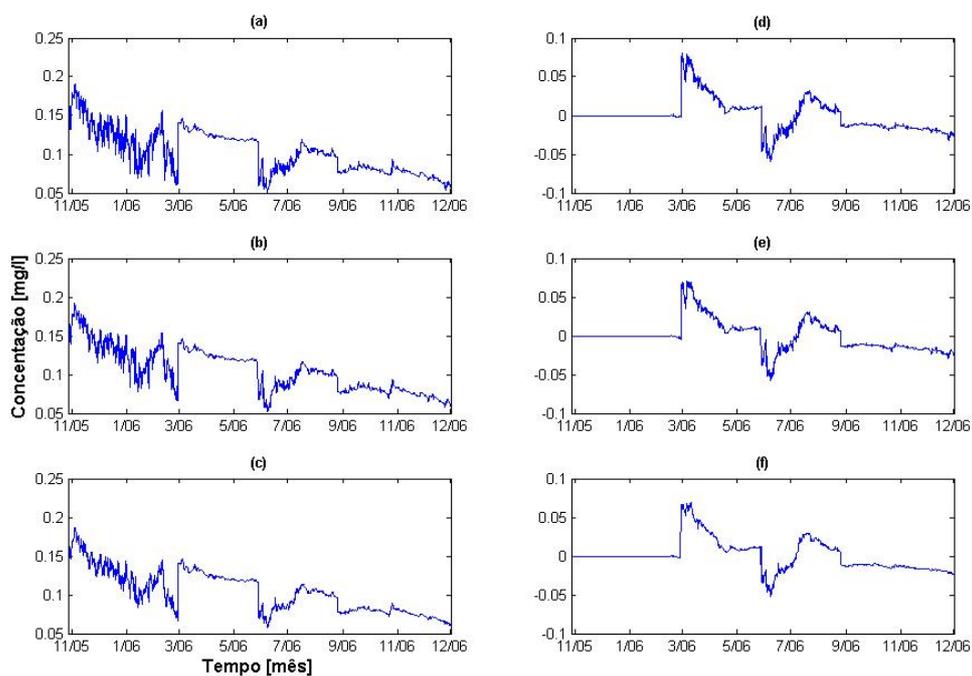


Figura 4.29 – Concentração de NO3 na simulação 2.3

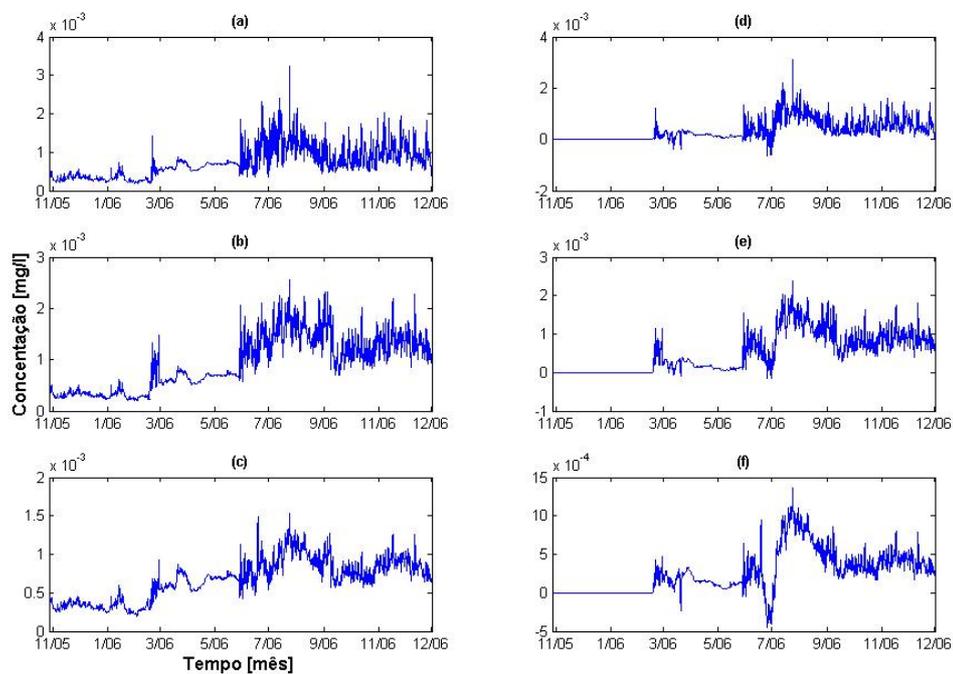


Figura 4.30 – Concentração de PO4 na simulação 2.3

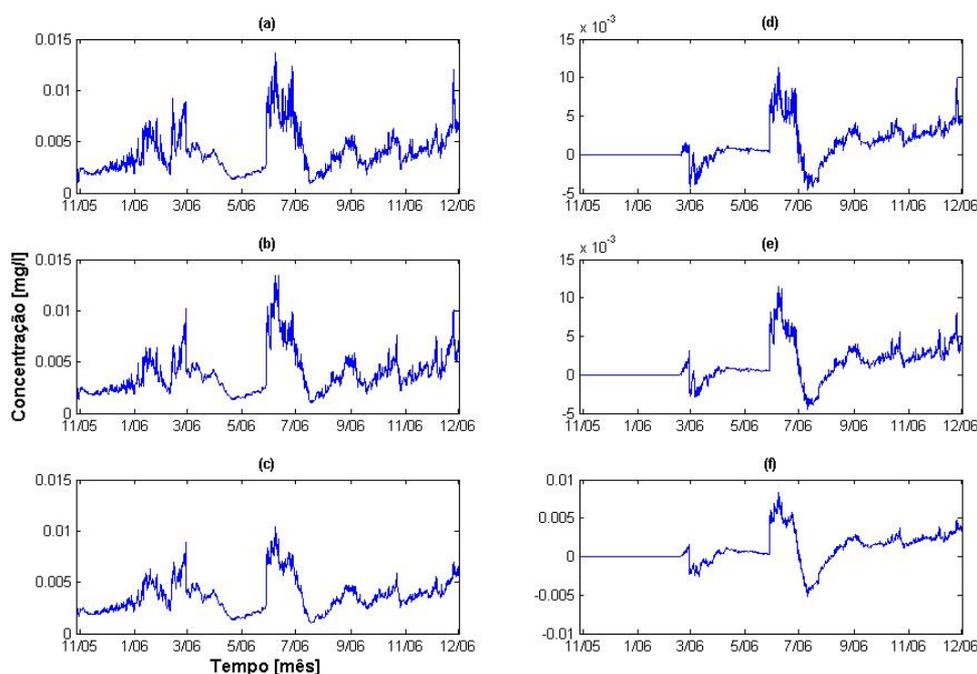


Figura 4.31 – Concentração de clorofila-a na simulação 2.3

Duas observações gerais podem ser feitas decorrentes da simulação 2. A primeira avaliação decorre da observação das figuras 4.20 a 4.31, que nos mostra que há um grande colapso no sistema quando a carga de 20000 habitantes é inserida, o que altera não só as concentrações em seus valores brutos, mas toda a dinâmica temporal gerando novos picos de clorofila-a e períodos de maior consumo nas concentrações de PO₄ e NH₄, com queda no consumo de NO₃ no período de Março a Junho.

Este fato pode ser decorrente de uma sucessão ecológica, cuja sequência de fatos prováveis é explicitada abaixo:

- No início de Março há uma população que tem preferência de consumo por NH₄ a NO₃;
- Esse consumo é acentuado quando há um crescimento dessa população o que pode ser visto no período de Março a Junho, tanto na figura 4.28;
- Essa espécie tem alto consumo de PO₄ (ver o consumo acentuado na figura 4.30);
- A partir do mês de Julho essa espécie dá lugar a uma espécie do fitoplâncton com preferência por NO₃ e com menor consumo de PO₄;

Uma suposição possível, de acordo com as equações que regem o modelo e suas parametrizações nos mostra que esta sucessão pode ocorrer de clorofíceas ou cryptofíceas no

mês de Março para cyanofíceas ou diatomáceas a partir do mês de Julho. Para esta análise observam-se os padrões de consumo estabelecidos no modelo pela tabela 3.7.

Em observação as tabelas 4.3 à 4.5, vemos que ocorre um aumento percentual maior em uma área de 2,4 km do ponto de lançamento, e não mais próximo ao despejo como poderia ser o esperado e foi visto como comportamento na simulação 1. Esse evento decorre das diferenças morfométricas dos dois diferentes trechos analisados do reservatório. Enquanto o ambiente da primeira simulação é um ambiente lacustre, o ambiente da segunda simulação por se situar mais próximo da entrada do rio da Casca (ver figura 3.41) pode ser caracterizado como lântico (ver seção 1.3.1). Esta diferenciação nos conduz a interpretação de que devido a um maior fluxo neste ambiente as águas tendem a ser mais limpas no centro do braço do rio Casca em relação às bordas. Com o lançamento a partir da borda o ambiente mais limpo (meio) passa a ser poluído por nutrientes desta fonte, e percentualmente a variação tende a ser maior onde havia a menor concentração inicial de nutrientes.

Dinâmica espacial

A dinâmica espacial das formas de nutrientes analisadas e do indicador de clorofila-a se dá de maneira diferente da simulação 1. O espalhamento de NH_4 e PO_4 se dá muito mais em acordo com o fluxo de água do rio Casca e a concentração de NO_3 se relaciona (relação de consumo) com *blooms* de algas, que ocorrem tanto em proximidade às entradas do rio Casca, quanto nas proximidades do ponto de lançamento. Dois momentos estáticos desta dinâmica espacial são apresentados na figura 4.32 (a) e (b).

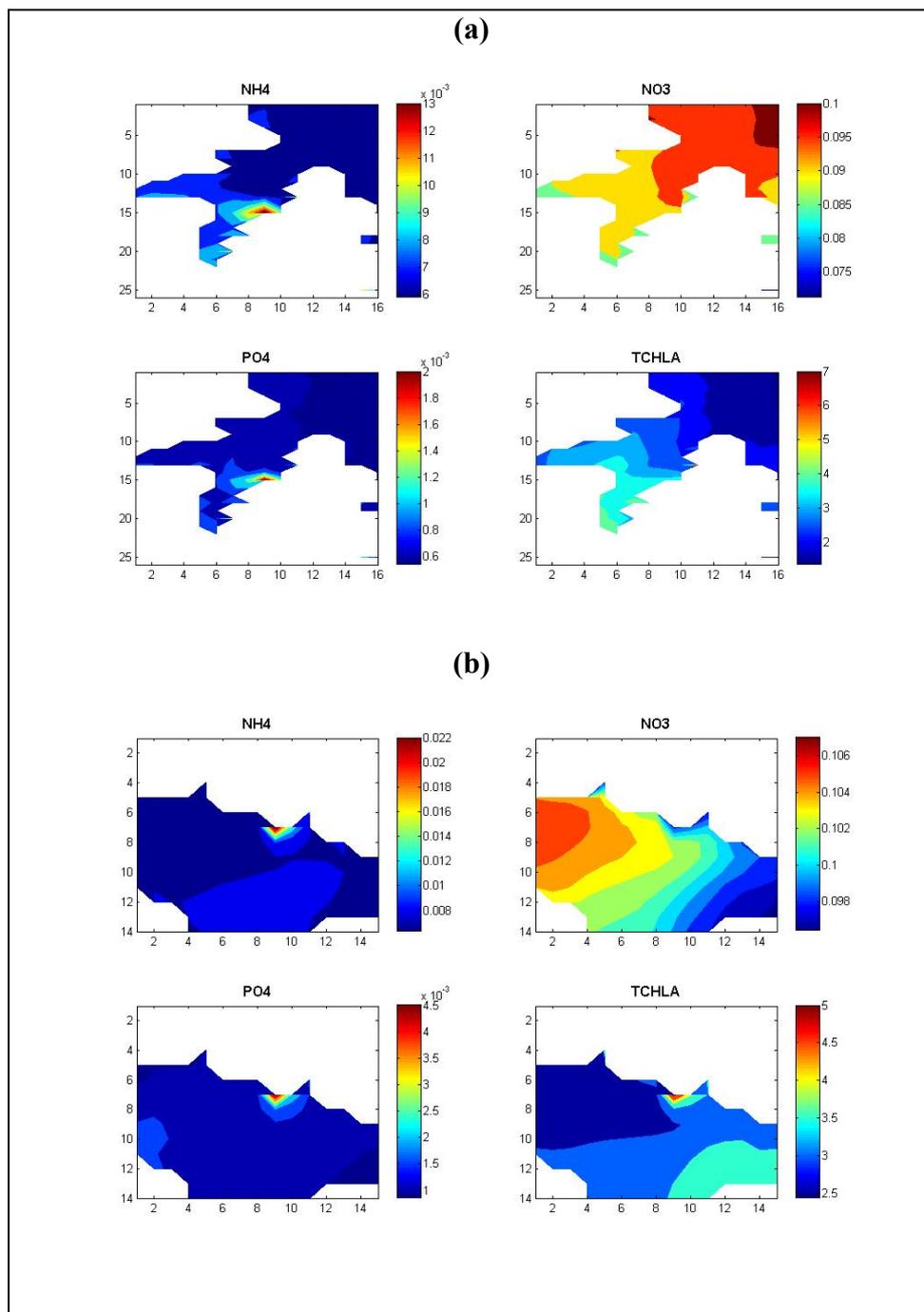


Figura 4.32 – Dinâmica espacial dos Nutrientes e clorofila-a na simulação 2

3.2.3 Simulação 3

A terceira simulação compreende o lançamento de esgoto na posição redpoint 1 (ver figura 3.41) localizado no braço do quilombo antes de chegar ao delta formado com o rio da Casca, soma posição na batimetria é: $x_i = 80$ e $y_i = 24$ (ver mapa batimétrico construído para o trabalho no anexo 1). Esta simulação, assim como as anteriores, se desmembra em outras três, referentes ao aumento populacional como se segue:

Simulação 3.1

Nesta, foi simulado o lançamento de uma carga pontual referente a 5000 habitantes na posição determinada como já fora explicitado. A figura 4.33 mostra o comportamento da dinâmica temporal da média da concentração de NH_4 em áreas diferentes ao redor do ponto de lançamento, como ocorrido nas simulações que a antecedem. O comportamento desta simulação é muito semelhante à simulação 1, com picos nos mesmos períodos porem com valores diferentes. O mesmo pode ser dito das concentrações dos demais nutrientes (figura 4.34 e 4.35), no entanto, a produtividade, medida pela clorofila-a (figura 4.36) apresenta picos ou *blooms* seguidos começando em Julho, e seguindo até Setembro, e ainda um pico acentuado no final de Março, sinalizando uma produtividade mais acentuada nesta simulação.

Os aumentos percentuais médios em cada um dos nutrientes e para clorofila-a são vistos na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Aumentos percentuais para simulação 3.1

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	19.66	-1.85	83.28	39.35
2.4 km	7.41	-1.51	28.74	23
5 km	4.01	-1.41	13.32	17.52

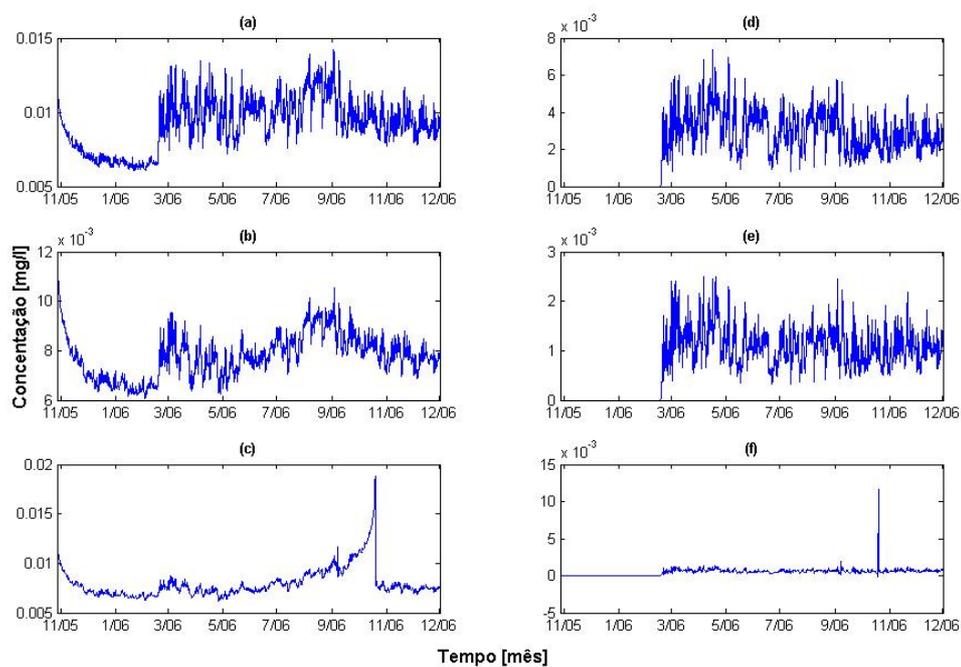


Figura 4.33 – Concentração de NH_4 na simulação 3.1

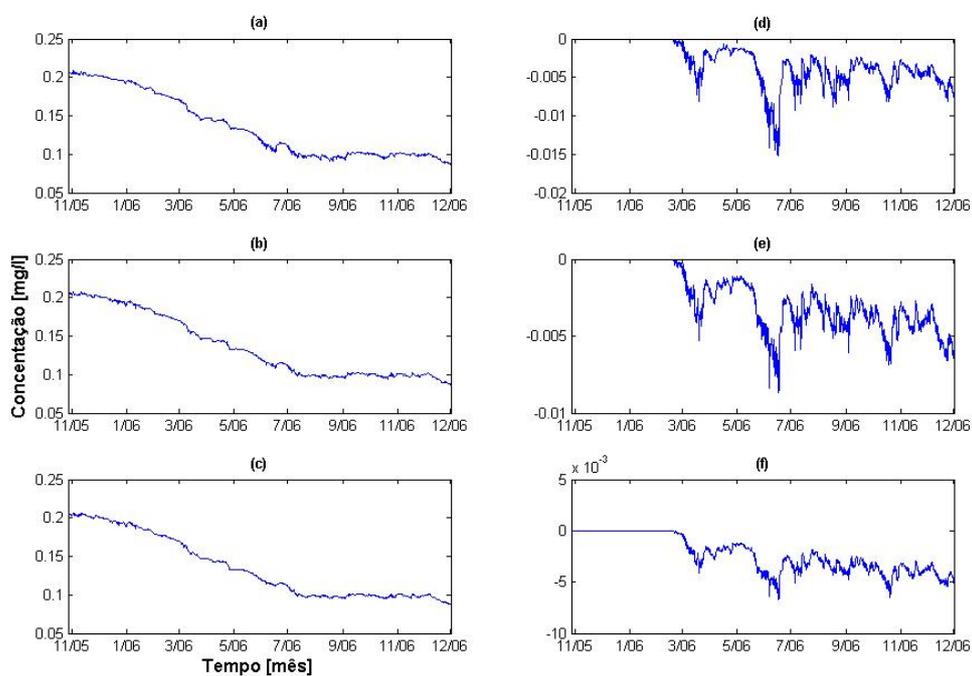


Figura 4.34 – Concentração de NO_3 na simulação 3.1

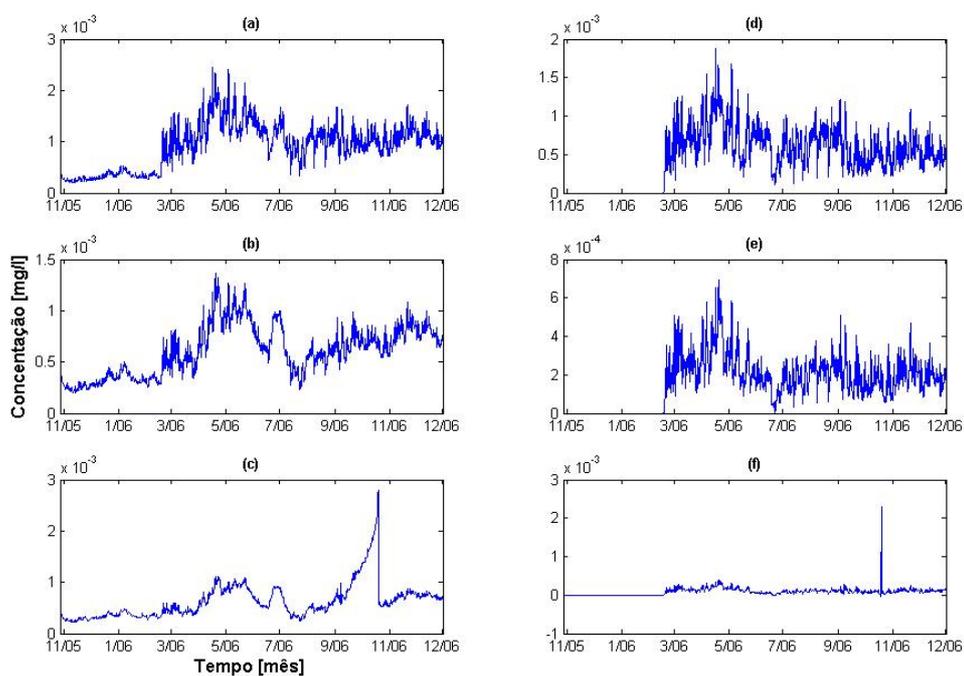


Figura 4.35 – Concentração de PO4 na simulação 3.1

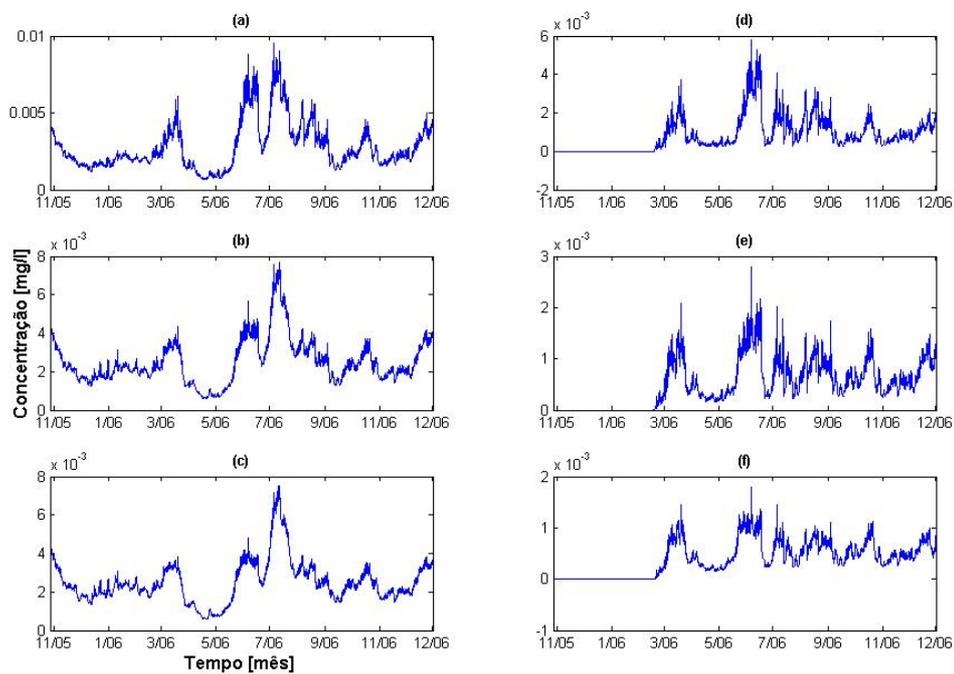


Figura 4.36 – Concentração de clorofila-a na simulação 3.1

Simulação 3.2

Embora seja efetuada a inserção de uma carga pontual de 10000 habitantes, ela segue as mesmas características de comportamento temporal da carga de 5000 habitantes vista na simulação 3.1. No entanto a diferença está no aumento da concentração de nutrientes e do indicador de estado trófico (clorofila-a) (ver figuras 4.37 a 4.40), que atinge neste momento picos acima de $15\mu\text{g/l}$. Os aumentos médios percentuais dos dados de interesse podem ser vistos na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Aumentos percentuais para simulação 3.2

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	29.83	-2.45	126.88	72.42
2.4 km	13.38	-3.1	54.79	49.03
5 km	7.53	-2.86	25.39	36.36

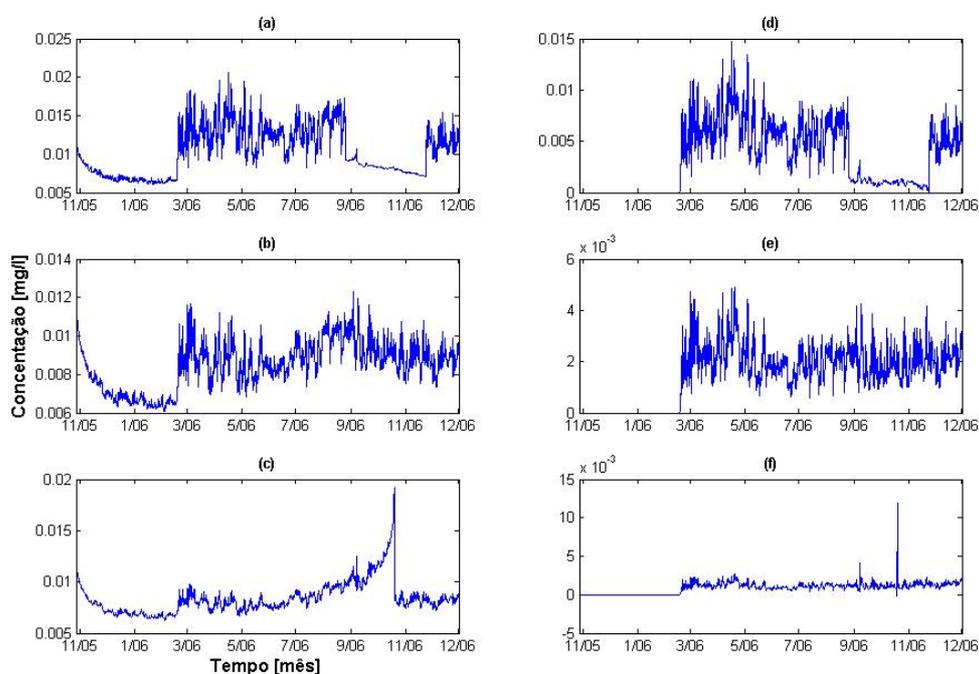


Figura 4.37 – Concentração de NH4 na simulação 3.2

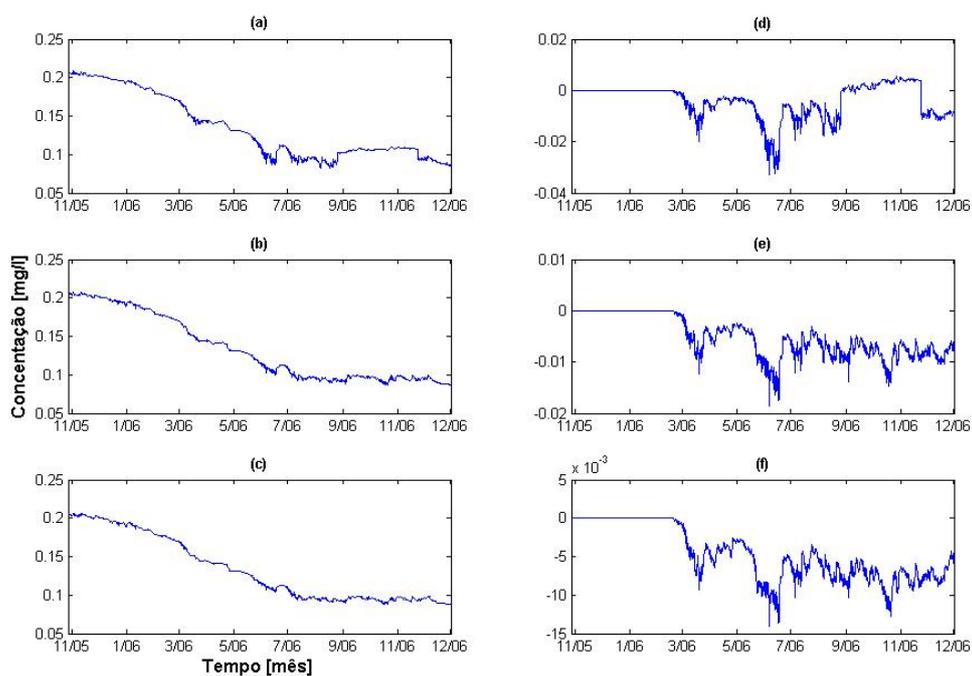


Figura 4.38 – Concentração de NO_3 na simulação 3.2

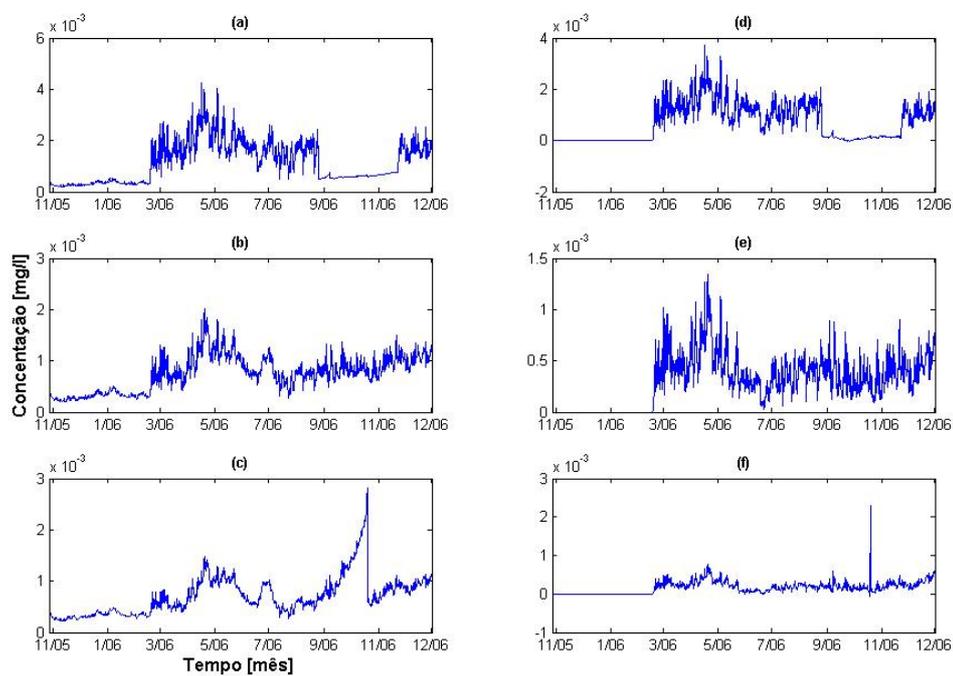


Figura 4.39 – Concentração de PO_4 na simulação 3.2

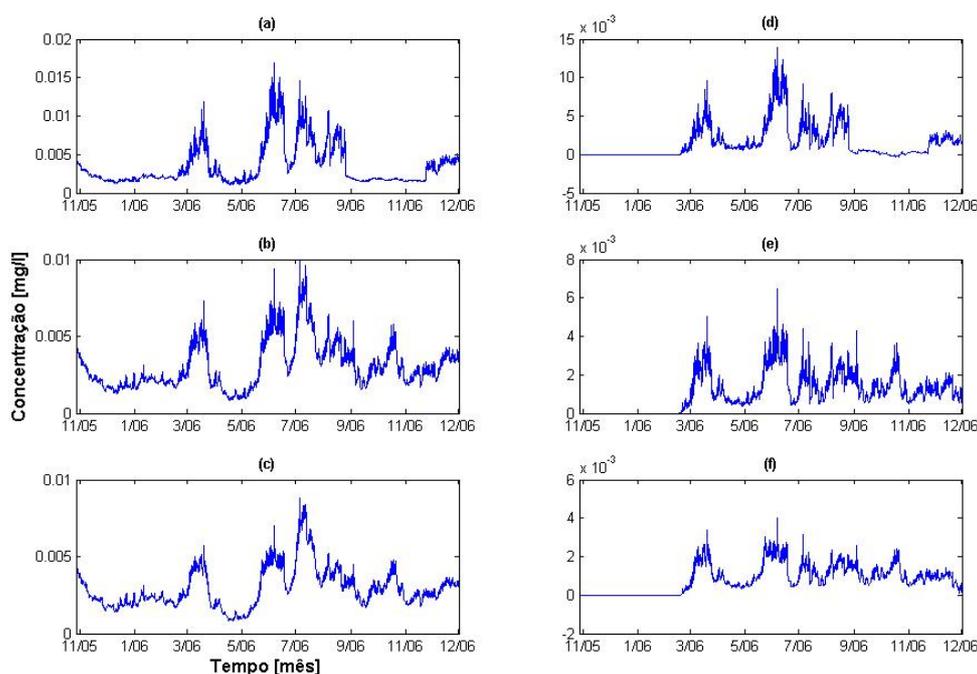


Figura 4.40– Concentração de clorofila-a na simulação 3.2

Simulação 3.3

Esta simulação representa um aumento populacional de 20000 habitantes e seu comportamento é apresentado nas figuras 4.41 a 4.44, nas quais podemos perceber que esta é a primeira simulação que apresenta uma concentração média de clorofila-a acima de $10 \mu\text{g/l}$, com picos que ultrapassam a $20 \mu\text{g/l}$ em março para uma área correspondente a um raio de 1,2 km ao redor do ponto de lançamento, estando classificados nesta área, pela tabela 1.3 como eutrófico em ambos os sistemas de classificação OECD e Niirberg.

A tabela 4.8 correspondente aos aumentos médios percentuais na concentração dos nutrientes estudados e da clorofila-a.

Tabela 4.8 - Aumentos percentuais para simulação 3.3

	NH4	NO3	PO4	Clorofila-a
1.2 km	72.44	-6.93	330.11	159.6
2.4 km	26.08	-5.64	117.47	91.1
5 km	14.62	-5.23	56.92	68.33

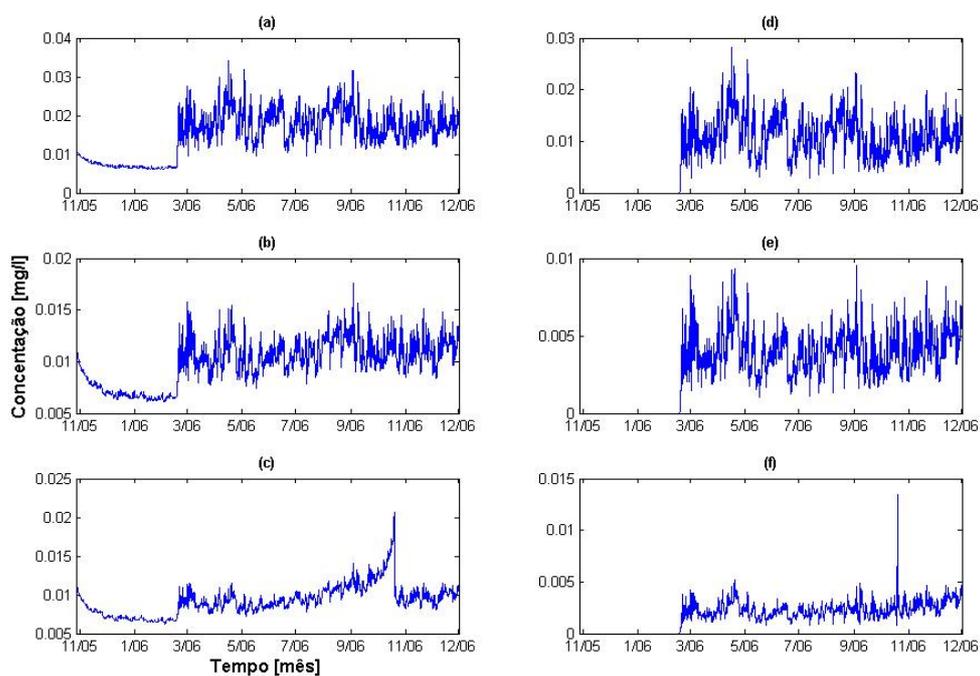


Figura 4.41 – Concentração de NH_4 na simulação 3.3

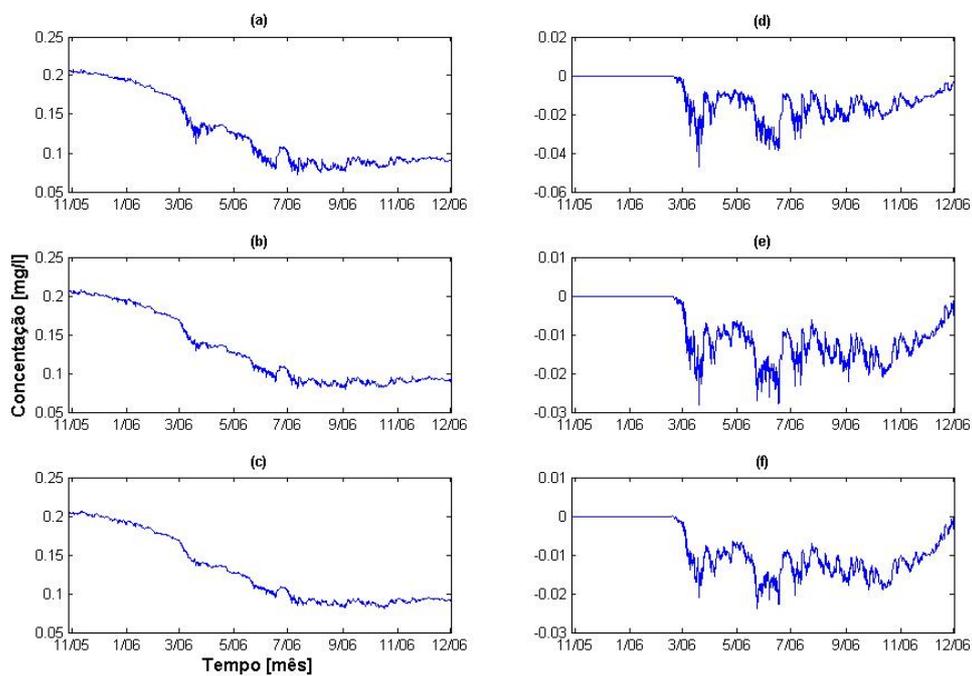


Figura 4.42 – Concentração de NO_3 na simulação 3.3

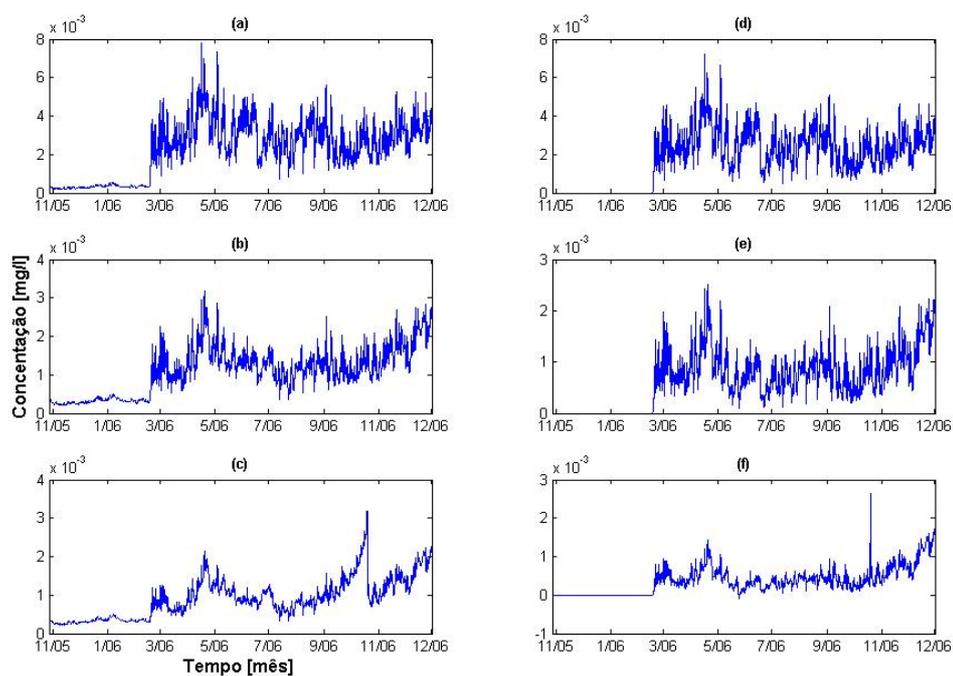


Figura 4.43 – Concentração de PO4 na simulação 3.3

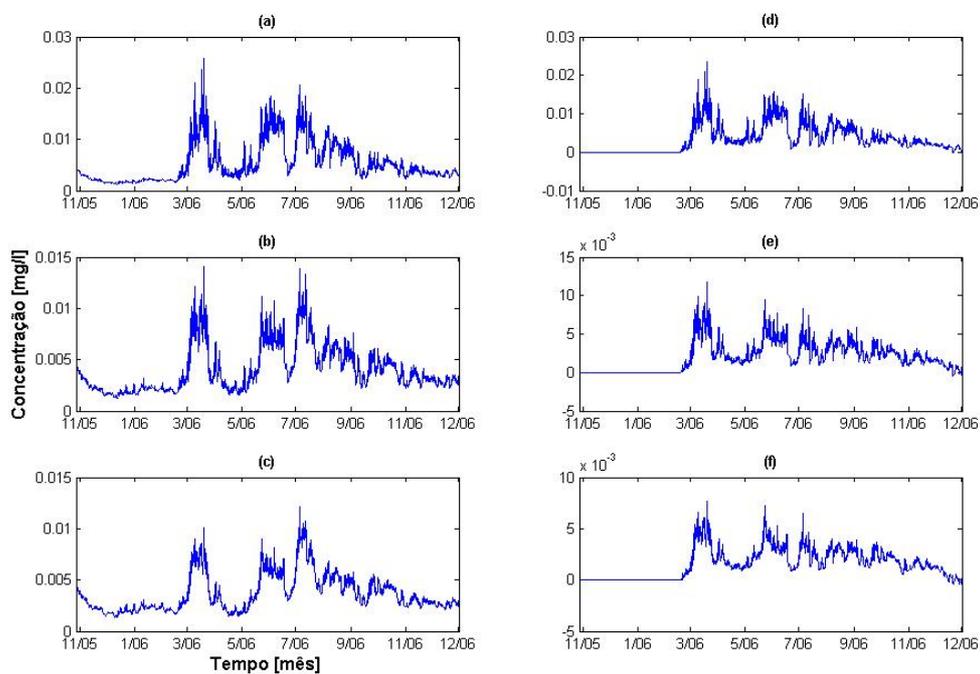


Figura 4.44 – Concentração de clorofila-a na simulação 3.3

As tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 demonstram que a dinâmica de espalhamento neste ponto (redpoint1) é semelhante à primeira simulação (redpoint3), isso se deve ao fato de que embora a simulação 3 esteja no braço do rio quilombo seu distanciamento da entrada do rio, associado a seu regime de baixa e constante vazão faz com que este trecho do reservatório se comporte como um habitat lacustre.

Dinâmica Espacial

Para a simulação 3 vemos que o comportamento do NH_4 e PO_4 neste trecho do reservatório, o impacto do lançamento neste ponto situado no braço do rio quilombo, pouco alcança o rio da Casca, enquanto que o comportamento de NO_3 , novamente se relaciona de forma inversamente proporcional a concentração de clorofila-a no reservatório. A produtividade encontrada aumenta com a aproximação da entrada do rio quilombo e não próximo ao lançamento de esgoto, onde podem ser notados apenas alguns *blooms* moderados, demonstrando uma vulnerabilidade maior deste trecho do reservatório (próximo a entrada do rio Quilombo), o que pode ocorrer devido à migração das formas móveis do fitoplâncton simulados (ver seção 3.2.1) em direção a esta parte do reservatório. A figura 4.45 apresenta uma imagem estática (dois instantes t_1 e t_2) da dinâmica espacial superficial do trecho discutido neste parágrafo.

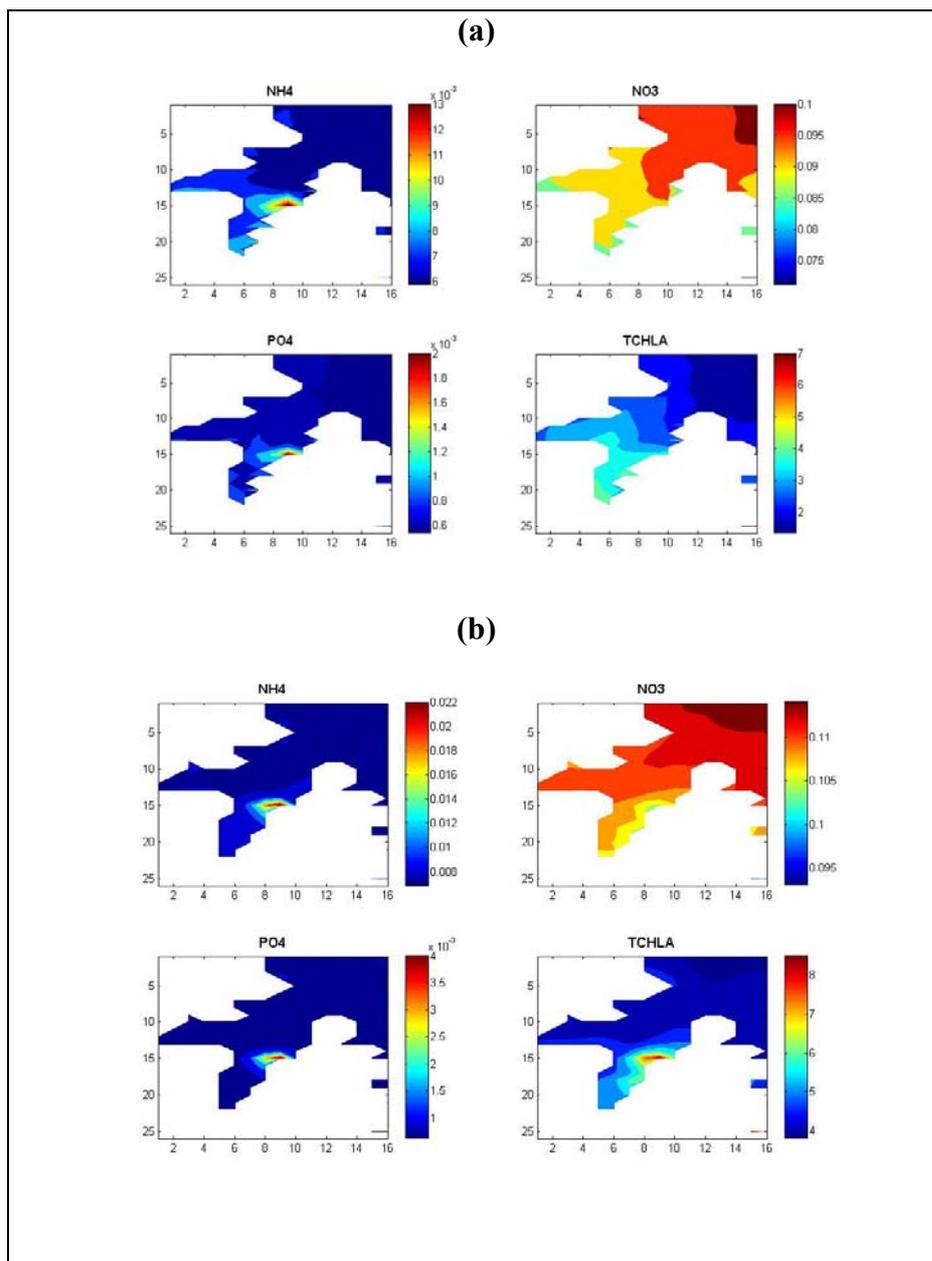


Figura 4.45 – Dinâmica espacial dos Nutrientes e clorofila-a na simulação 2

3.2.4 Impacto médio no reservatório

O impacto médio no reservatório para cada uma das simulações 1, 2 e 3 e suas variações populacionais podem ser acompanhadas nas figuras 4.46 a 4.57 onde (a), (b) e (c) representam as populações de 5000, 10000 e 20000 habitantes e (d), (e) e (f) a diferença (ou acréscimo nas concentrações) entre a simulação com o sem o lançamento de esgoto para cada

nutriente estudado (NH_4 , NO_3 e PO_4) e o indicador de nível trófico (clorofila-a). As tabelas 4.9 à 4.12 mostram os aumentos percentuais em cada uma das simulações com relação as médias obtidas no reservatório como um todo para a simulação *clean*.

A observação dos gráficos nas figuras 4.46 a 4.57 nos mostra que pouca ou nenhuma variação perceptível ocorre na comparação entre cada uma das simulações (1, 2 e 3), demonstrando ainda, na análise das tabelas 4.9 a 4.12 que o impacto destes lançamentos no reservatório como um todo não implica em um aumento superior a 3,7% da clorofila-a (ver tabela 4.12), indicando que um tempo maior de descarte contínuo ou ainda uma população maior que 20000 habitantes é necessário para efetiva mudança do estado trófico do reservatório de maneira ampla e não localizada.

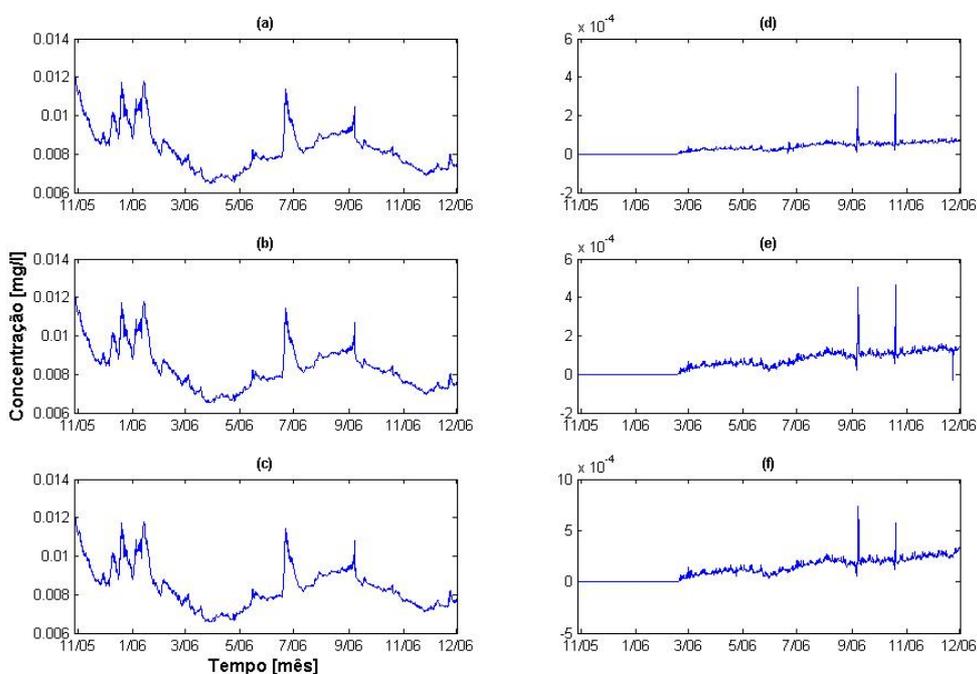


Figura 4.46 – Concentração de NH_4 na simulação 1.1 (a), 1.2 (b) e 1.3 (c)

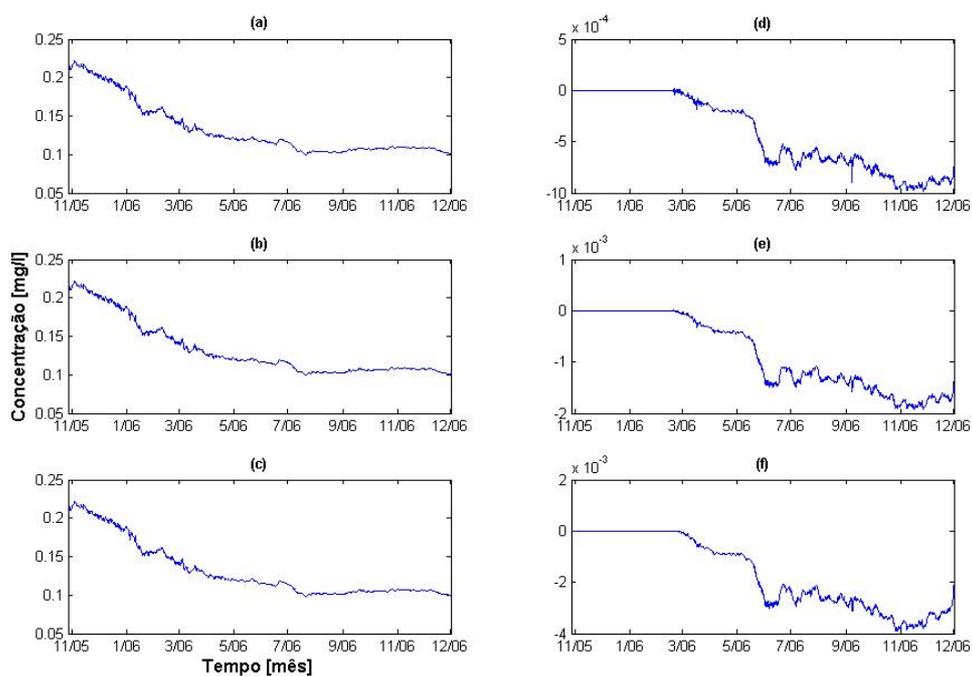


Figura 4.47 – Concentração de NO_3 na simulação 1.1 (a), 1.2 (b) e 1.3 (c)

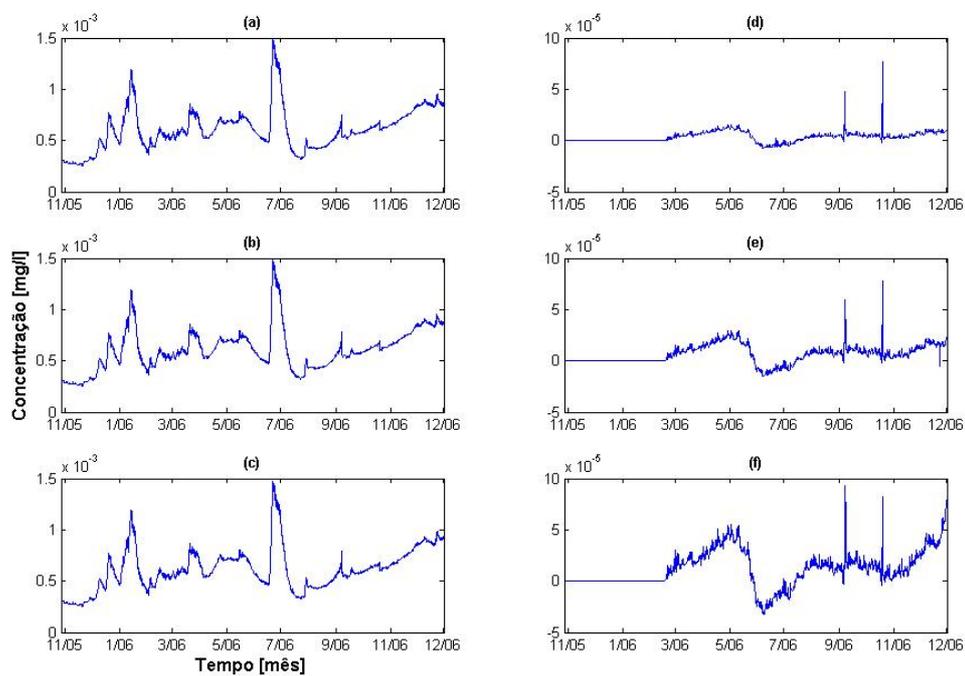


Figura 4.48 – Concentração de PO_4 na simulação 1.1 (a), 1.2 (b) e 1.3 (c)

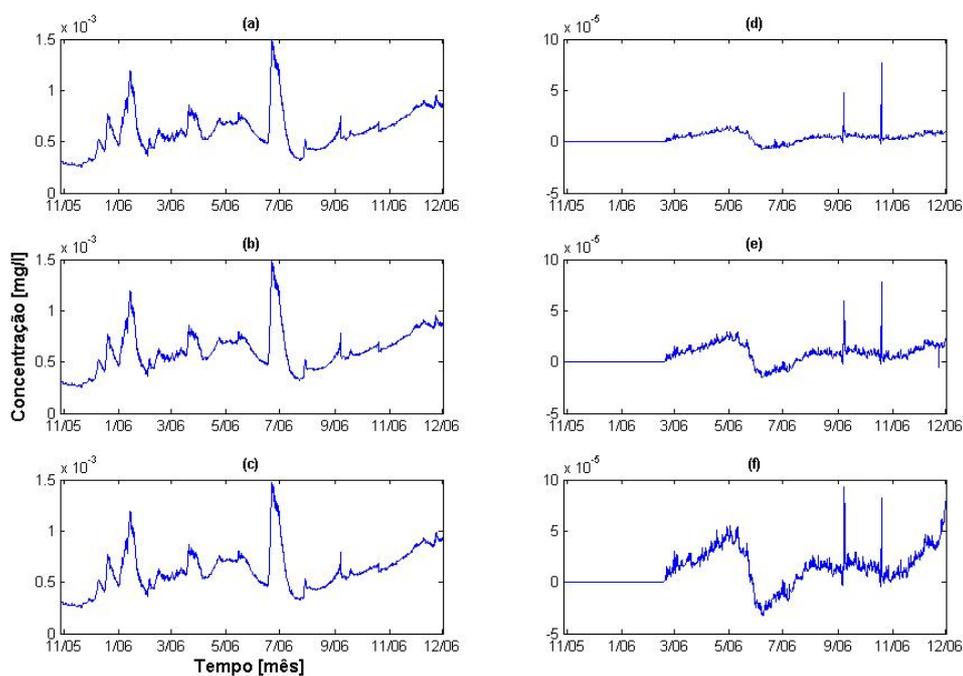


Figura 4.49 – Concentração de clorofila-a na simulação 1.1 (a), 1.2 (b) e 1.3 (c)

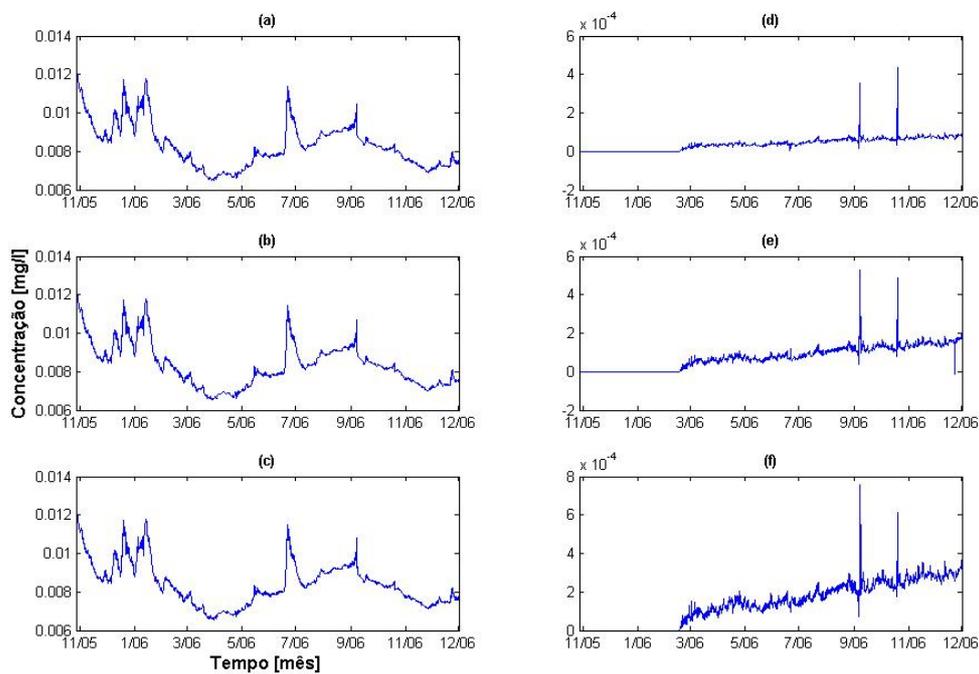


Figura 4.50 – Concentração de NH_4 na simulação 2.1 (a), 2.2 (b) e 2.3 (c)

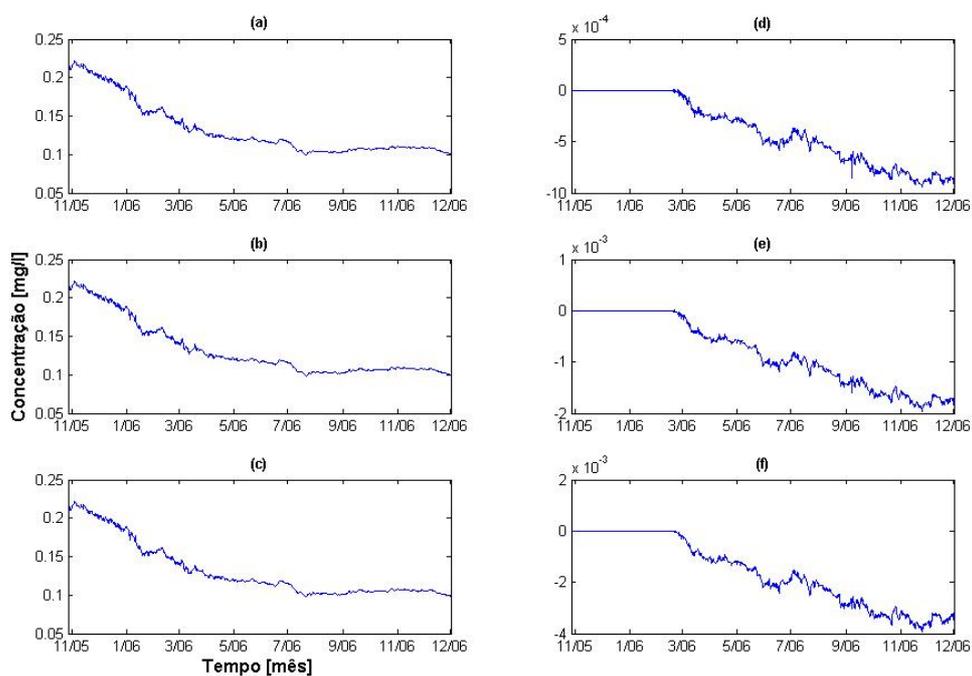


Figura 4.51 – Concentração de NO_3 na simulação 2.1 (a), 2.2 (b) e 2.3 (c)

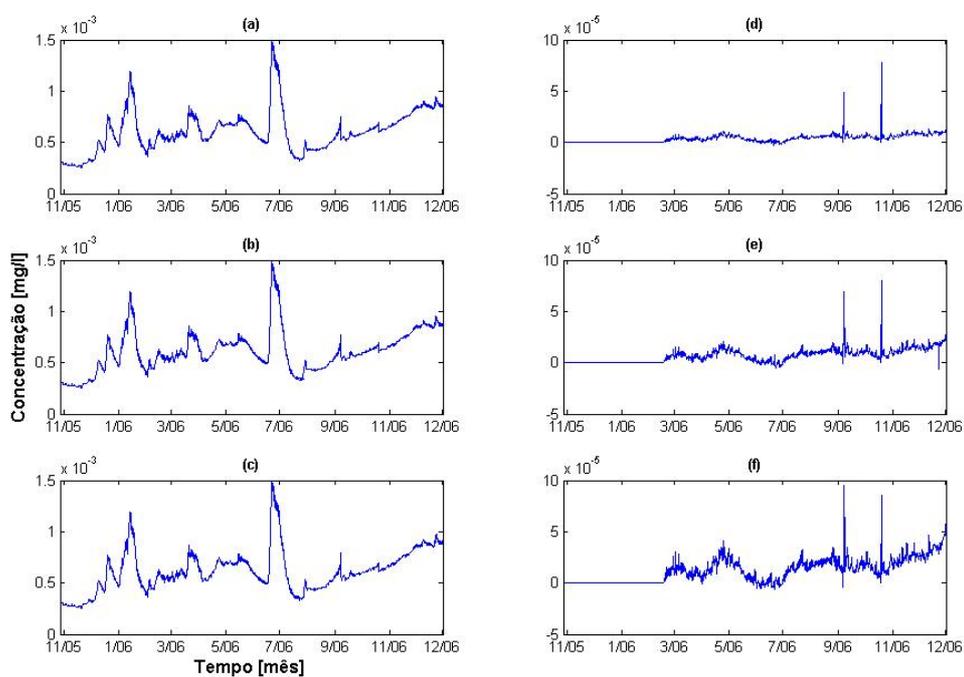


Figura 4.52 – Concentração de PO_4 na simulação 2.1 (a), 2.2 (b) e 2.3 (c)

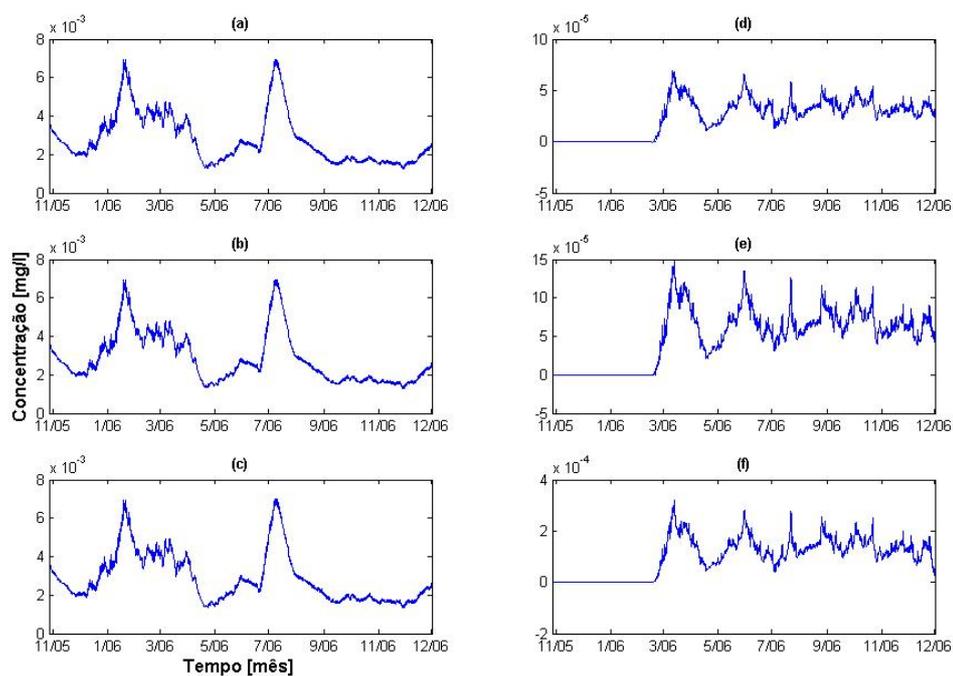


Figura 4.53 – Concentração de clorofila-a na simulação 2.1 (a), 2.2 (b) e 2.3 (c)

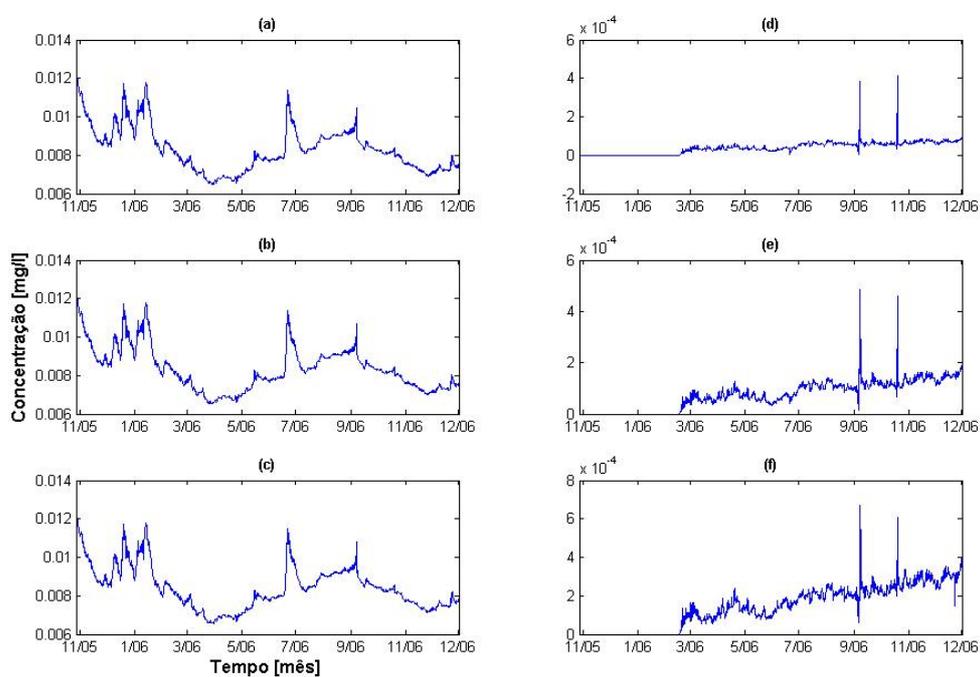


Figura 4.54 – Concentração de NH_4 na simulação 3.1 (a), 3.2 (b) e 3.3 (c)

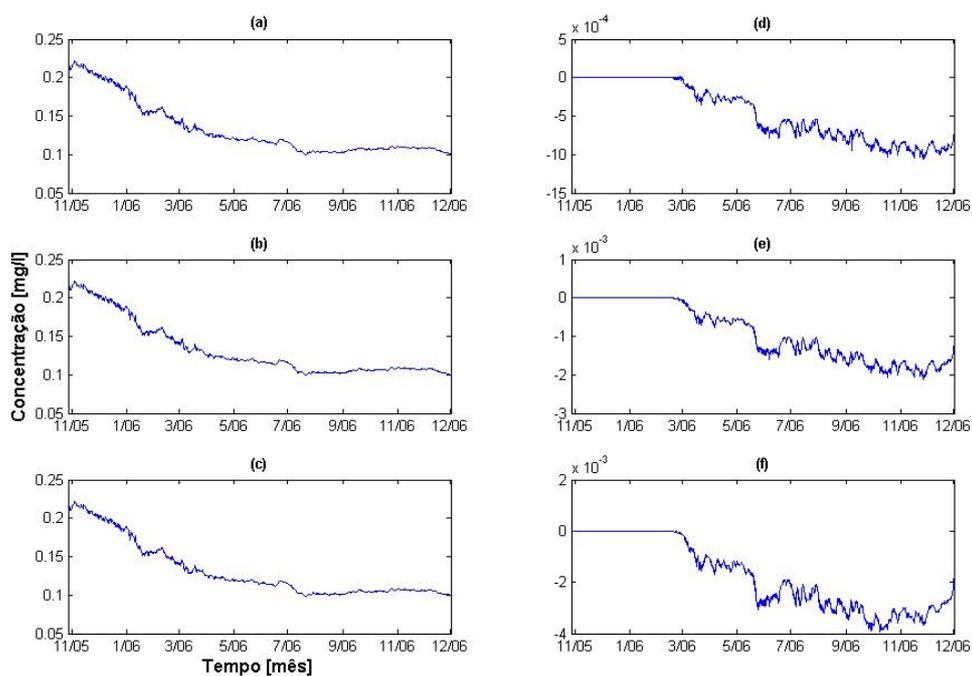


Figura 4.55 – Concentração de NO_3 na simulação 3.1 (a), 3.2 (b) e 3.3 (c)

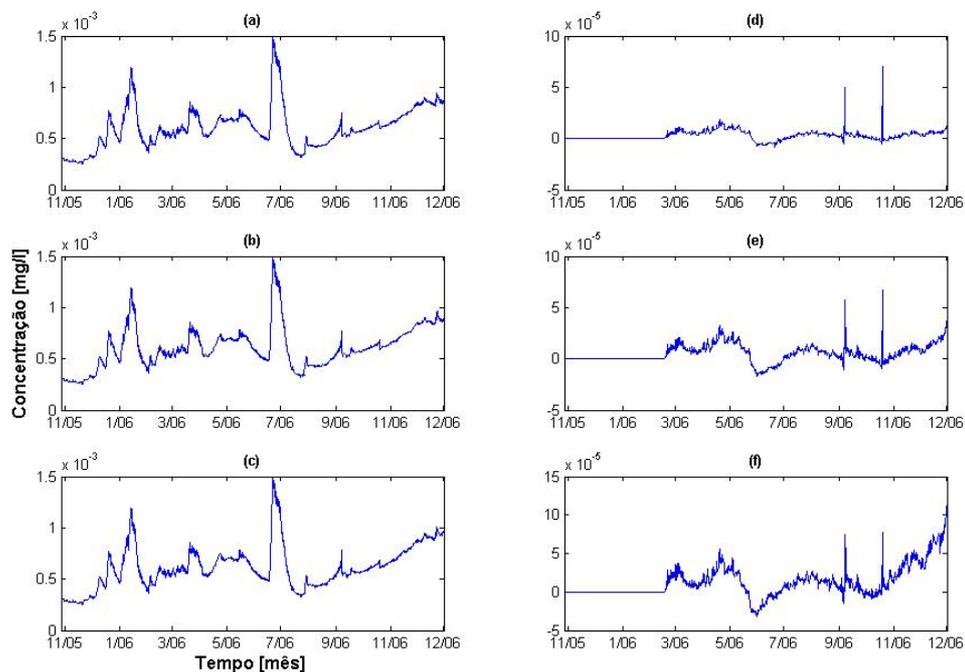


Figura 4.56 – Concentração de PO_4 na simulação 3.1 (a), 3.2 (b) e 3.3 (c)

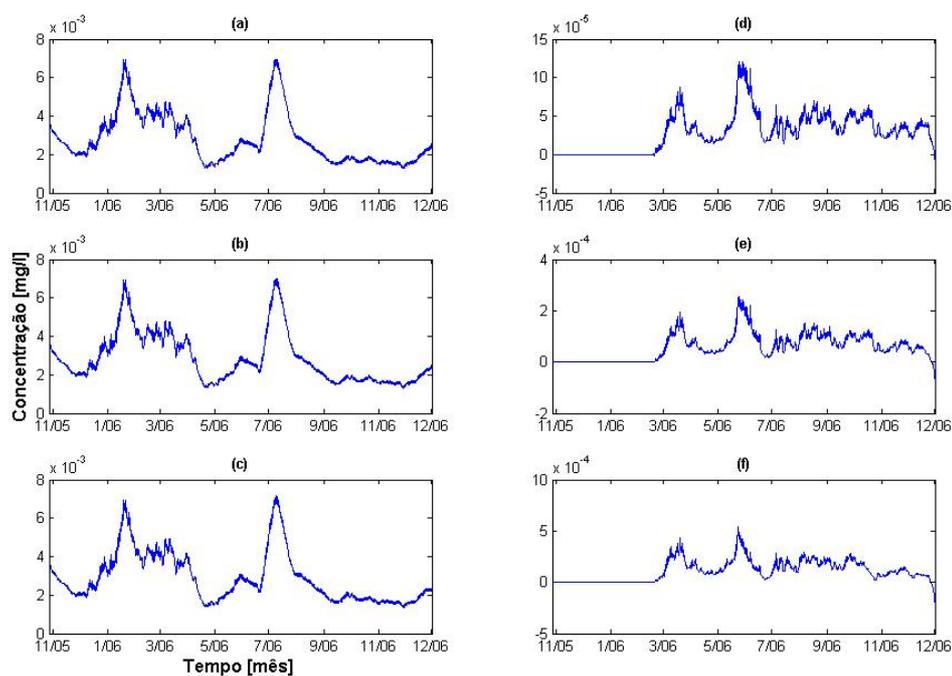


Figura 4.57 – Concentração de clorofila-a na simulação 3.1 (a), 3.2 (b) e 3.3 (c)

Tabela 4.9 - Aumentos percentuais para as concentrações de NH₄ nas simulações 1, 2 e 3

	NH ₄		
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
5000 habitantes	0.26	0.27	0.22
10000 habitantes	0.51	0.52	0.44
20000 habitantes	1	1	0.87

Tabela 4.10 - Aumentos percentuais para as concentrações de NO₃ nas simulações 1, 2 e 3

NO₃			
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
5000 habitantes	-0.28	-0.24	-0.26
10000 habitantes	-0.56	-0.5	-0.52
20000 habitantes	-1.09	-1.01	-1.03

Tabela 4.11 - Aumentos percentuais para as concentrações de PO₄ nas simulações 1, 2 e 3

PO₄			
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
5000 habitantes	0.39	0.54	0.49
10000 habitantes	0.69	0.97	0.9
20000 habitantes	1.78	1.77	1.67

Tabela 4.12 - Aumentos percentuais para as concentrações de PO₄ nas simulações 1, 2 e 3

Clorofila-a			
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
5000 habitantes	0.97	0.81	0.86
10000 habitantes	1.93	1.66	1.69
20000 habitantes	3.73	3.36	3.28

4 CONCLUSÃO

Quanto às cargas simuladas

Este trabalho simulou em três pontos distintos do reservatório o lançamento de esgoto de populações de 5000, 10000 e 20000 habitantes como visto na seção 4.2.

O aumento da população significa um lançamento de maior vazão para cada um dos nutrientes alvos deste estudo. Para cada uma das nove simulações, o aumento da carga de entrada representou um aumento percentual na concentração de nutrientes encontrados no reservatório, nas áreas ao entorno dos pontos de lançamento considerados. Este aumento de nutrientes também levou a um aumento da biomassa fitoplanctônica (indicada pela concentração de clorofila-a), este aumento da biomassa não demonstrou encontrar, para nenhuma das simulações, um ponto crítico, onde o este crescimento algal cessaria, o que indicaria qual a carga de nutrientes na qual o fator nutricional não seria, mas o fator limitante preponderante. No entanto, com o aumento das cargas, (derivados do aumento populacional) nota-se não só picos maiores na clorofila-a, mas também novos picos em períodos onde não havia picos notáveis que interferem totalmente na dinâmica temporal do crescimento algal nas áreas consideradas nas simulações 1, 2 e 3.

Quanto ao efeito nas proximidades dos pontos de lançamento

Três áreas foram estudadas ao entorno de cada ponto de lançamento (1,2 km, 2,4 km e 5km) no intuito de entender os efeitos do aporte de nutrientes ao redor dos pontos de lançamento e conseqüentemente a área de atuação das cargas lançadas.

Para os nutrientes analisados nota-se que o comportamento do espalhamento tem a característica de diminuição das concentrações com o aumento do raio de distância do ponto de lançamento, tanto para a simulação 1 quanto para a simulação 3. No entanto este comportamento linear de gradiente negativo que pode ser notado nas tabelas que apresentam o percentual de mudança nas áreas consideradas, não ocorre para a simulação 2, onde a maior mudança ocorre para uma área de 2,4 km de raio do ponto de lançamento. Estes comportamentos distintos em diferentes pontos simulados do reservatório, nos leva a conclusão de que duas características básicas influenciam na concentração de nutrientes. A primeira é o consumo pela biomassa fitoplanctônica e a segunda é a morfometria do trecho

analisado do reservatório, com especial atenção as características lênticas ou lacustres que a área analisada pode apresentar.

Assim, para as simulações 1 e 3 podemos considerar como trechos de características lacustres, o que favorece o espalhamento linear ocorrido nas simulações, devido a baixa turbulência e vazão da água. A simulação 2, no entanto, compreende o lançamento em um trecho de comportamento lêntico (braço do rio da Casca), e como o fluxo é maior no centro do braço (em comparação com as bordas) gerava um trecho de menor concentração de nutrientes. Assim, após o lançamento, esse é o trecho (à 2,4 km de raio) que sofre o maior aumento percentual na carga de nutrientes para a esta simulação. Este fato nos mostra que para a simulação 2, a característica linear de decaimento de nutrientes visto nas simulações 1 e 3, deixa de existir.

Estes efeitos distintos nos levam a concluir que aplicação de um modelo tridimensional, que acople características hidrodinâmicas e biogeoquímicas, pode explicar de maneira satisfatória este tipo de comportamento, o que aponta os modelos utilizados neste trabalho (ELCOM-Caedym) como ferramentas gerenciais de maior precisão para este tipo de estudo.

Quanto à influência em todo o reservatório

Nenhuma das simulações apresenta aumento superior a 3,73% da concentração de clorofila-a se considerarmos a média em todo o reservatório, indicando pouca influência pode ser dada aos lançamentos de esgoto no reservatório para as populações simuladas (5000, 10000 e 20000 habitantes) a um curto prazo. No entanto conclusões a médio e longo prazo e para populações superiores a 20000 habitantes não podem ser decorrentes deste trabalho, carecendo de novas simulações para que esse tipo de discussão seja feita.

Quanto às concentrações dos nutrientes, nenhum deles ultrapassa um aumento de 1,78% encontrado para PO_4 na simulação 3.3, reforçando a conclusão que aponta para uma baixa influência (média em toda a extensão do reservatório) desses lançamentos para o período de simulação.

Quanto à dinâmica espacial

Conclui-se que cada ponto de lançamento tem características distintas, podendo apresentar desde plumas com direcionamento bem definido dado pelo fluxo de água dos rios contribuintes, quanto apresentar concentrações maiores que se direcionam para ramificações curtas devido ao aspecto dendrítico do reservatório.

Este tipo de comportamento pode levar a um acúmulo de nutrientes nestes pontos, que não necessariamente são os mais próximos ao ponto de lançamento, como ocorre para a simulação 1, onde este acúmulo de nutrientes ocorre em uma dessas ramificações, embora o lançamento não seja efetuado em um ponto desta ramificação. Com este acúmulo de nutrientes em um ponto de águas calmas há um *bloom* fitoplanctônico.

A análise da dinâmica espacial dos pontos de lançamento, nos mostram quais as áreas mais frágeis que devem ser passíveis de monitoramento. Isto demonstra mais um uso gerencial desta ferramenta. Deste modo, embora para as simulações 2 e 3 seja importante monitorar próximo ao ponto de lançamento, para a simulação 1 o ponto mais importante é o primeiro braço ramificado a direita do despejo.

Quanto ao ponto de lançamento mais crítico

Como foi visto anteriormente, os diferentes pontos de lançamento possuem características de espalhamento e consumo de nutrientes diferentes entre si, e por isso crescimento algal diferenciado. A análise das simulações nos leva a conclusão que o pior ponto de lançamento é representado para a simulação 3, no braço do rio Quilombo, onde para população de 20000 habitantes, picos superiores a 20 $\mu\text{g/l}$ em março seguido de vários outros picos superiores a 10 $\mu\text{g/l}$. Estes valores correspondem a um acréscimo percentual médio de 159,6% na área mais próxima ao lançamento. Para fins de comparação o maior aumento médio para a simulação 2 é de 45,93% e de 56,44% para simulação 1, ambos para a população de 20000 habitantes.

Estes picos seguidos, superiores a 10 $\mu\text{g/l}$ classificam este trecho do reservatório (área a 1,2 km de raio do lançamento) como eutrófico para o despejo de 20000 habitantes. Mais uma vez, gerencialmente, através da aplicação dos modelos utilizados podemos detectar este ponto como um trecho do reservatório onde deve ser evitado o lançamento de esgoto com maior empenho das autoridades devido a sua fragilidade relativa aos outros pontos dimulados.

Sugestões para trabalhos futuros

- Simular aumentos populacionais maiores;
- Simular períodos maiores despejo para verificar o efeito dos lançamentos a médio e longo prazo;
- Simular lançamentos em outros pontos do reservatório, completando o mapeamento e determinando os pontos mais críticos do reservatório quanto ao aporte de nutrientes e,
- Obter dados de campo com espaçamento temporal menores resultando em uma melhor calibração do modelo;
- Simular a sucessão das espécies fitoplanctônicas afim de entender a dinâmica entre as espécies;

REFERÊNCIAS

- ALLAN J. D.; CASTILLO M. M. **Stream Ecology: Structure and function of running waters**. 2nd ed. New York: Springer. 2007.
- AMSLER C. D. **Algal Chemical Ecology**. 1st ed. Heidelberg: Springer, 2008.
- BALISTRIERI L.S. et al. Modeling spatial and temporal variations in temperature and salinity during stratification and overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. **Applied Geochemistry**, Amsterdam, v. 21, p. 1184–1203, Jun. 2006.
- BARROS, N. O.; CESAR, D. E.; ROLAND, F. **Variação da intensidade luminosa em dois reservatórios do sistema Furnas**. In: Seminário de Iniciação Científica, 11. , 2004, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Programa Furnas de Limnologia, 2004.
- BASMADJIAN, D. **The art of modeling in science and engineering**. 1th Ed. New York: CRC Press LLC, 1999.
- BEGON M.; TOWNSEND C. R.; HARPER J. L. **Ecology : from individuals to ecosystems**. 4th ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2006.
- BITON, G. **Wastewater microbiology**. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons inc, 2005.
- BOTELHO D. et al. A hydrostatic/non-hydrostatic grid-switching strategy for computing high-frequency, high wave number motions embedded in geophysical flows. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 24, p. 473–488, Nov. 2008.
- BRUCE L.C. et al. A numerical simulation of the role of zooplankton in C, N and P cycling in Lake Kinneret, Israel. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 193, 412-436 , nov. 2005.
- BURDEN R. F. et al. **Environmental Monitoring Handbook**. McGraw-Hill, 2004.
Disponível em: www.digitalengineeringlibrary.com
- BURGER D. F.; HAMILTON D. P.; PILDITCH C. A. Modelling the relative importance of internal and external nutrient loads on water column nutrient concentrations and phytoplankton biomass in a shallow polymictic lake. **Ecological modeling**, Amsterdam, v. 211, p. 411–423, dez 2007.
- CALLISTER E. V. **A three-dimensional, time-dependent circulation model of Utah lake**. 2008. 163 f. Master of science (Mechanical Engineering) - Mechanical and Aerospace Engineering Department - Utah State University, Logan, 2008.
- CHAN T. U. et al. Impacts of Hydrological Changes on Phytoplankton Succession in the Swan River, Western Australia. **Estuaries**, vol. 25, 68, p. 1406–1415, dez. 2002.

CHATTERJEE S.; HAD1 A. S. **Regression Analysis by Example**. 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

CHONG, L. **Modelling Deep Chlorophyll Maxima in Oligotrophic Lakes**. 2006. 78 f. Final Year Project Dissertation. (Bachelor of Engineering) - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2006.

CHUNG S.W. et al. Modelling the propagation of turbid density inflows into a stratified lake: Daecheong Reservoir, Korea. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 24, p. 1467–1482, Jul. 2009.

DE JESUS, J. A. O. **Utilização de Modelagem matemática 3D na gestão da qualidade da água em mananciais – aplicação no Reservatório Billings**. 2006. 157 f. Doutorado (saúde pública) – Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DE LA FUENTE A.; NIÑO Y. Pseudo 2D ecosystem model for a dendritic reservoir. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 213, p. 389–401, Mar. 2008.

DE MOURA, R. M. P. **Mapeamento do processo de sedimentação na baía de chacororé, pantanal matogrossense**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2008. Anais... Rio de Janeiro. ABES . 2008.

DE OLIVEIRA, C. F. A gestão dos serviços de saneamento básico no Brasil. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, Barcelona, v. 9, 194, ago 2005. Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-73.htm>

DEL'DUCA, ALESSANDRO. **Bacterioplâncton em Reservatórios Tropicais de Geração de Energia: Variação no Espaço e no Tempo da Estrutura Bacteriana em Sete Reservatórios de Furnas Centrais Elétricas S.A.** 2007. 115 f. Mestrado (ECOLOGIA) - Instituto de Ciências Biológicas - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, Juiz de Fora, 2007.

DOODS W. K. **Freshwater Ecology - Concepts and Environmental Applications**. Elsevier Inc., 2002 Disponível em:

FIGUEIREDO, DANIELA MAIMONI DE. **Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso)**. 2008. 270 f. Doutorado (Ecologia e Recursos Naturais) - CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, São Carlos, 2008.

FORSMANN D. M.; NIELSEN A. **Evaluation of Phoslock™ applications to mesotrophic Lake Okareka: a modelling study**. 2008. 95 f. Final Year Project Dissertation. (E n v i r o n m e n t a l E n g i n e e r i n g) - Centre for Biodiversity and Ecology Research - University of Waikato, Hamilton, 2008.

FURNAS. **Aproveitamento múltiplo de Manso monitoramento limnológico e da qualidade da água**. Relatório parcial de avaliação, 2007. 238 p.

FURNAS. **O fio que nos une: Energia e Cidadania**. Balanço Social, 2001. 108p. disponível em: www.furnas.com.br.

GAL G. et al. Implementation of ecological modeling as an effective management and investigation tool: Lake Kinneret as a case study. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 220, p. 1697–1718, Mai. 2009.

GARCIA-WEBB J. **A Numerical Study of the Water Quality in Wilson Inlet**. 2003. 163 f. Final Year Project Dissertation. (Environmental Engineering) - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2003.

HIPSEY, M.R. et al. Computational **Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v2**. 2006. 102 f. Science Manual - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2006.

HIPSEY, M.R. et al. **Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v2.1**. 2004, 62 f. User Manual. Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2004.

HODGES B. R. et al. Numerical error assessment and a temporal horizon for internal waves in a hydrostatic model. **Ocean Modelling**, Amsterdam, v. 13, p. 44–64, Nov. 2005.

HODGES B.; DALLIMORE C. (a). **Estuary and lake computer model: Code Version 1.5.0** – 2001. 58 f. Science Manual - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2001.

HODGES B.; DALLIMORE C. (b). **Estuary and lake computer model: Code Version 1.5.0** – 2001. 49 f. User Manual - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2001.

HODGES, B. **Heat budget and thermodynamics at a free surface: Some theory and numerical implementation**. 1998. 14 f. manuscript - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 1998.

HODGES, B. **Numerical Techniques in CWR-ELCOM (code release v.1)**. 2000. 43 f. manuscript - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2000.

HOLZBECHER E. **Environmental Modeling Using MATLAB®**. 1st ed. New York: Springer, 2007.

HORNUNG, R. **Numerical Modelling of Stratification in Lake Constance with the 1-D hydrodynamic model DYRESM**. 2002. 111 f. Master of Science (Water Resources Engineering and Management) - Institut für Wasserbau - Universität Stuttgart. Stuttgart. 2002.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

JØRGENSEN S. E. et al. **A New Ecology: Systems Perspective**. 1th Ed. Amsterdam: Elsevier, 2007.

LAMPERT W.; SOMMER U. **Limnology**. 2nd ed. Wiltshire: Oxford University Press Inc, 2007

LAVAL B.; IMBERGER J. Modeling circulation in lakes: Spatial and temporal variations *Limnol. Oceanogr.*, v. 48, 3, p. 983–994, Jan. 2003.

LEGENDRE P.; LEGENDRE L. **Numerical Ecology**. 2nd Ed. Amsterdam: Elsevier, 1998.

LIN S. D.; LEE C. C. **Water and Wastewater Calculations Manual**. 2nd ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2007.

LYSHEVSKI S. E. **Engineering and Scientific Computations Using MATLAB®**. 1 st ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

MARTINI L. C. P.; LANNA A. E. Medidas compensatórias Aplicáveis à questão da poluição hídrica de Origem Agrícola. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, 1, p. 111-136, Jan. 2003.

MENDONÇA, R. F.; MARINHO, M. M.; ROLAND, F. **Dinâmica dos estoques de carbono orgânico e inorgânico em reservatórios de diferentes idades**. In: Seminário de Iniciação Científica, 10. , 2005, Ilheus. Anais... Ilheus: Programa Furnas de Limnologia, 2005.

MICHAEL H. G.; MEL C. Z. **Wastewater Pathogens**. 1rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.

NASCIMENTO, A. Q. et al. **Situação atual das famílias atingidas pela construção da usina hidrelétrica de Manso - Chapada dos Guimarães, Mato Grosso**. In: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 2. , 2005, Presidente Prudente. Anais... Presidente Prudente: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 2005.

NICHOLAS P. C. **Handbook of water and wastewater treatment technologies**. 1rd ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2002.

NOYMA, N. P.; CESAR, D. E.; ROLAND, F. **Concentração de silicato em dois reservatórios do sistema Furnas**. In: Seminário de Iniciação Científica, 11. , 2004, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Programa Furnas de Limnologia, 2004.

OKELY, P. et al. **Modelling of the impact of the Perth Seawater Desalination Plant discharge on dissolved oxygen in Cockburn Sound**. 2006. 43 f. Final Report - Centre for Water Research - University of Western Australia, Perth, 2006.

OLIVEIRA L. D. et al. Observações hidrobiológicas e mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 55, 2, p. 211-275, dez. 1957.

OLIVEIRA P. S.; MARQUIS R. J. **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. 1st ed. New York: Columbia University Press, 2002.

- PACHECO, F. S.; CESAR, D. E.; ROLAND, F. **Análise e comparação de carbono orgânico total em dois reservatórios do sistema Furnas de geração de energia elétrica.** In: Seminário de Iniciação Científica, 11. , 2004, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Programa Furnas de Limnologia, 2004.
- PIEGORSCH, W.W.; BAILER. A.J. **Analyzing Environmental Data.** 1th Ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- RAINER F. **Amazing Numbers in Biology.** 6th Ed. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- REIS, S. A. Ribeirinhos e os impactos de represas na bacia hidrográfica dos rios Paraná (PR) e Cuiabá (MT). **Revista Urutágua**, Maringá, v. 19, p. 35-50, set. 2009
- ROBSON B.J.; HAMILTON D.P. Three-dimensional modelling of a Microcystis bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v 174, p. 203–222, jun. 2004.
- ROMERO J.R.; ANTENUCCI J.P., IMBERGER J. One- and three-dimensional biogeochemical simulations of two differing reservoirs. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 174, p. 143–160, jan. 2004.
- ROSA, PRISCILA GOMES. **Comunidade Zooplânctônica de Cinco Reservatórios Tropicais do Sistema Furnas S.A. (Brasil): Abundância e Biomassa em Carbono.** 2008. 113 f. Mestrado (Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, Juiz de Fora, 2008.
- SEPPELT R. **Computer-Based Environmental Management.** 1st ed. Darmstadt: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2003.
- SILVA, L.H.S. et al (a). **Dinâmica do fitoplâncton no reservatório de Manso (MT).** In: Seminário de Iniciação Científica, 10. , 2005, Ilheus. Anais... Ilheus: Programa Furnas de Limnologia, 2005.
- SILVA, L.H.S. et al (b). **Distribuição vertical do fitoplâncton nos reservatórios de SERRA DA MESA (GO) e MANSO (MT) no início do período de chuvas.** In: Simpósio de Ecologia de Reservatórios, 1., 2004, Avaré. Anais... Avaré: Programa Furnas de Limnologia, 2004.
- SPILLMAN C.M. et al. A spatially resolved model of seasonal variations in phytoplankton and clam (*Tapes philippinarum*) biomass in Barbamarco Lagoon, Italy. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Amsterdam, v. 79, p. 187–203, Abr. 2008.
- SPILLMAN C.M. et al. Modelling the effects of Po River discharge, internal nutrient cycling and hydrodynamics on biogeochemistry of the Northern Adriatic Sea. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 68, p. 167–200, Jan 2007.
- TAKEUCHI Y.; IWASA Y.; SATO K. **Mathematics for Ecology and Environmental Sciences.** 1st ed. New York: Springer, 2007.

TRINDADE, T. N. **Distribuição vertical do fitoplâncton nos reservatórios de SERRA DA MESA (GO) E MANSO (MT) em três períodos climatológicos.** In: Seminário de Iniciação Científica da Biologia da Universidade Gama Filho, 6. , 2006, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Programa Furnas de Limnologia, 2006.

TROLLE D. et al. The Water Framework Directive: Setting the phosphorus loading target for a deep lake in Denmark using the 1D lake ecosystem model DYRESM–CAEDYM. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 219, p. 138–152, Ago. 2008.

WAINWRIGHT J.; MULLIGAN M. **Environmental modelling: finding simplicity in complexity.** 1st Ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2004.

WEINER E. R. **Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Practical Guide.** 2nd ed. New York: CRC Press, 2007.

WETZEL R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems.** 3 rd ed. New York: academic press, 2001.

WHITTON B. A.; POTTS M. **The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity In Time And Space.** 1 st ed. New York: Kluwer Academic Publisher, 2002.

ZEKTSER I. S. **Geology and Ecosystems.** 1 st ed. New York: Springer. 2006.

ZHANG H.; CULVER D. A.; BOEGMAN L. A two-dimensional ecological model of Lake Erie: Application to estimate dreissenid impacts on large lake plankton populations. **Ecological Modelling**. Amsterdam, v 214, p. 219–241, Abr. 2008.

ZIMMERMAN B. J. W. **Process Modelling and Simulation with Finite Element Methods.** 1th Ed. Singapore: World Scientific Publishing Co. Re. Ltd., 2004.

