

# UTILIZAÇÃO DE MEDIDAS DE TURBIDEZ NA QUANTIFICAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS POR VEICULAÇÃO HÍDRICA NAS BACIAS DOS RIOS ANTA GORDA, BRINCO, COXILHA RICA E JIRAU – SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

## *THE USE OF TURBIDITY MEASURES IN THE QUANTIFICATION OF SOLID MOVEMENT BY HIDRYC VEHICULATION IN THE BASINS OF THE RIVERS ANTA GORDA, BRINCO, COXILHA RICA AND JIRAU IN THE SOUTHWEST OF, COXILHA RICA PARANÁ*

Julio Caetano Tomazoni<sup>1</sup>  
Luiz Eduardo Mantovani<sup>2</sup>  
André Virmond Lima Bittencourt<sup>2,3</sup>  
Ernani Francisco da Rosa Filho<sup>2,3</sup>

### RESUMO

Este trabalho demonstra um fator de conversão de turbidez em NTU para concentração de material particulado suspenso em mg/L. Otimizações foram feitas para que se conseguisse melhores resultados em termos de pesquisa de campo e de laboratório, propiciando um fator de conversão mais próximo da realidade das condições de concentração de material particulado em ambiente hídrico natural do Sudoeste do Estado do Paraná. A pesquisa foi desenvolvida utilizando dados de amostras coletadas em estações flúvio-sedimentométricas, dados originários de amostras com adição de material particulado e dados originários de resgate histórico de análises de material particulado efetuadas pela Sanepar de 1984 até 2000.

*Palavras-chave:* turbidez; material particulado suspenso; erosão; sedimentometria; bacia hidrográfica.

1 Cefet-PR Unidade Pato Branco - Pato Branco

2 Departamento de Geologia - UFPR - Curitiba - PR

3 Mestrado em Gestão Ambiental - Unicenp - PR

## ABSTRACT

This paper shows a factor of turbidity conversion in NTU for concentration of suspended particled material in mg/L. Optimizations were made in order to get better results in terms of laboratory and field research, propitiating a conversion factor closer to the reality of the concentration conditions of particled material in natural hydric environment in the Southwest of Paraná. The research was developed using sample data collected from fluvial metric-sediment stations, data from samples with particled material added and data from historical rescue of particled material analyses carried out by Sanepar from 1984 up to 2000.

*Key-words:* turbidity; suspended particled material; erosion; metric-sediment; hydrographic basin.

## INTRODUÇÃO

As partículas coloidais em suspensão são originárias da degradação mecânica ou da transformação química e biológica de materiais, principalmente argilas, lodo, limo e plâncton, com conformação diferenciada entre si, cujo tamanho oscila de 0 a 100 microns (Micronal 1993).

O material particulado em suspensão está em constante mobilidade pela turbulência, pelas correntes convectivas no líquido e pela repulsão causada pelas cargas elétricas presentes na superfície das partículas. Esse processo mantém as partículas em equilíbrio dinâmico, sendo que as menores permanecem em suspensão e as maiores tendem a sedimentar gradativamente.

A turbidez corresponde à redução da transparência da água, ocasionada pelo material em suspensão, que reflete a luz, dificultando a sua passagem pela solução. A quantificação de luz refletida pelas partículas suspensas dá uma ordem de grandeza de sólidos em suspensão na amostra.

A turbidez das águas, após diversos estudos, deixou de ser um parâmetro estético para ser correlacionado com a concentração de Cloro residual, número de colônias de coliformes fecais e totais, casos de hepatite A e Poliomielite. Outro aspecto é a correlação da turbidez com a eficácia da desinfecção da água, o que dá a esse parâmetro grande importância sanitária, (OMS 1996).

Os trabalhos já efetuados demonstram que, mesmo em água tratada, há a presença de coliformes fecais em turbidez > que 1 NTU, isto é mesmo se o teor de Cloro residual for de 0,5 a 0,8 mg/L, pois as partículas ocultam os microorganismos, protegendo-os da ação oxidante da desinfecção (Masini & Neves 1987).

Atualmente, a evolução tecnológica permitiu o desenvolvimento de instrumentos com precisão e sensibilidade ideais para medir e entender a importância do controle da turbidez. Para atingir o estágio atual, um longo processo evolutivo das técnicas e dos

equipamentos que determinam esse parâmetro teve que ser percorrido.

A técnica mais adequada para medir a turbidez é a Nefelometria. Por essa metodologia mede-se a quantidade de material sólido suspenso, a partir da luz dispersa. O nefelômetro é um instrumento que realiza essa medida e é constituído basicamente por fonte luminosa, cuba de amostra e fotodetector, instalado em ângulo de 45 ou 90° em relação à fonte de luz (APHA 1992).

Através de dados originários de amostras coletadas em estações flúvio-sedimentométricas, de dados originários de amostras com adição de material particulado e de dados originários de resgate histórico de análises de material particulado efetuadas pela Sanepar de 1984 até 2000, nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – Sudoeste do Estado do Paraná, obteve-se um fator que, multiplicado pela turbidez em NTU, converte esse parâmetro em material particulado suspenso em mg/L.

Esse método é importante para ser usado na caracterização e quantificação de material particulado suspenso em ambiente hídrico. Os métodos de quantificação de material particulado suspenso em uso são morosos, pois se submete a amostra ao processo de filtragem ou evaporação para determinação de material particulado. Além da rotina de análise demorada, é necessário transportar o material até o laboratório.

A nova metodologia propõe um processo simples e rápido, pois medida a turbidez em NTU é só multiplicar pelo fator 0,6937 e o produto será a concentração de material particulado suspenso em mg/L. Portanto, esse é um método preciso e que dispensa tanto o transporte de amostras quanto as rotinas de laboratório para determinação desse parâmetro, que pode ser determinado em campo.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é identificar um fator de conversão da turbidez em NTU, para concentração em mg/L de material particulado suspenso em ambiente hídrico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – Sudoeste do Estado do Paraná.

Para coleta das amostras, implantou-se em cada bacia uma estação flúvio-sedimentométrica simples.

Além do monitoramento normal da estação, o funcionário da Sanepar responsável pela ETA – Estação de Tratamento de Água da Sanepar - coletou amostras diárias nos dias de maior concentração, para determinação dos materiais particulados suspensos e dos sólidos dissolvidos. As amostras foram armazenadas em frascos de plástico branco com capacidade para 1 litro. Para a coleta, os mesmos foram introduzidos lentamente no fluxo da superfície para baixo sem tocar o fundo e retornados para a superfície, até preencher 80% do recipiente.

Logo após a coleta, através de turbidímetro, foi identificada a turbidez em NTU. Posteriormente, esse material seguiu, em contingentes de 20 garrafas, ao laboratório de sedimentologia do Cefet-PR – Unidade de Pato Branco, para quantificação dos materiais particulados suspensos e dissolvidos hidrotransportados.

Nas ETAs dos rios Brinco, Coxilha Rica e Jirau, o turbidímetro usado para quantificar a turbidez em NTU

foi o Turbidímetro Micronal, modelo B250, e no rio Anta Gorda em Santa Isabel do Oeste, o turbidímetro usado foi o da marca Desel.

No laboratório, foram quantificados os materiais particulados pelo método a vácuo em aparelho Millipore, com membranas filtrantes com poros de 0,45  $\mu\text{m}$ . As amostras filtradas variaram de 60 mL, nas grandes concentrações, até 990 mL nas baixas concentrações, com pouco material em suspensão. Como a turbidez era conhecida, efetuou-se a correlação dos dados em NTU, com a concentração em mg/L.

A figura 01 localiza as bacias no Sudoeste do Estado do Paraná.

A pesquisa foi desenvolvida utilizando-se dados de três origens:

### Dados originários de amostras coletadas em estações flúvio-sedimentométricas

Uma pesquisa de campo foi iniciada com a implantação de estações flúvio-sedimentométricas nas bacias hidrográficas dos rios Brinco, Coxilha Rica, Jirau e Anta Gorda.

Os funcionários da Sanepar das ETAs locais ficaram monitorando tais estações e coletando cota, velocidade de fluxo, turbidez, pH e temperatura. Nos dias com turbidez razoável, inicialmente acima de 100

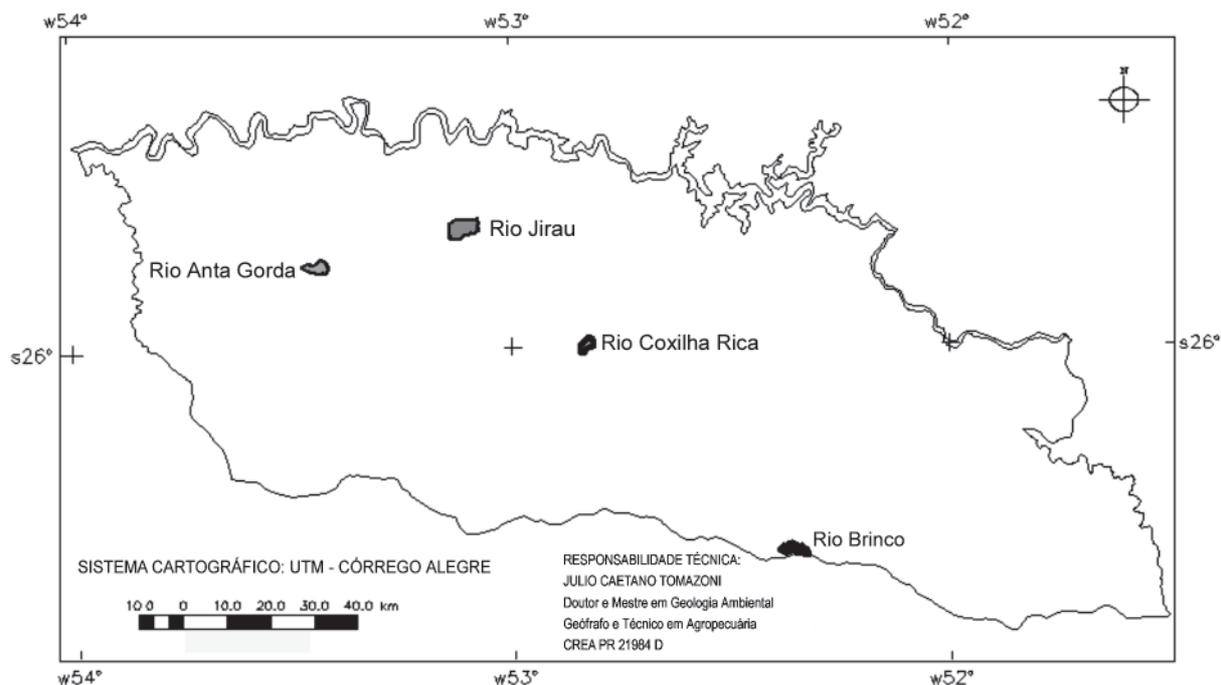


Figura 01 - Localização das bacias, no sudoeste do estado do Paraná

NTU e seqüencialmente acima de 25 NTU, coletaram amostras que foram enviadas ao Cefet-PR Unidade de Pato Branco, para a análise de material particulado suspenso total (MPT).

### Dados originários de amostras com adição de material particulado

No período de maio e junho de 2001, adotou-se outra forma de pesquisa paralela, para confrontar os dados com os da pesquisa.

Nessa segunda etapa, utilizou-se água dos respectivos rios e adicionou-se material particulado às mesmas, para obter amostras com concentrações diferenciadas.

O material particulado adicionado à água dos rios Brinco e Coxilha Rica constituiu-se de material de fundo dos respectivos rios e de solos de diferentes locais da bacia, enquanto que o material particulado adicionado à água dos rios Anta Gorda e Jirau constituiu-se de solos de diferentes locais da bacia.

Colocou-se aproximadamente 200 ml de água em 10 a 15 frascos e em um balão, também com a mesma água, com aproximadamente 500 ml, adicionou-se solo ou material de fundo (250g), sem nenhum peneiramento ou exclusão de material. Os frascos foram então longamente agitados até se obter uma água barrenta. Após repouso durante 15 min, retirou-se com pipeta o material em suspensão para adicioná-lo aos frascos. Visualmente, deixaram-se os frascos com concentrações diferenciadas, de modo a obter altas e baixas concentrações. Dessas amostras tirou-se 50 ml para determinar em ambiente Millipore o material particulado suspenso e o restante foi enviado à Sanepar, para a determinação da turbidez em NTU, cor e MO. A turbidez foi determinada por turbidímetro eletrônico.

### Dados originários de resgate histórico de análises de material particulado efetuadas pela Sanepar de 1984 até 2000

Para obter dados passados das bacias, resgatou-se dos arquivos da Sanepar as análises efetuadas sobre as bacias dos rios Anta Gorda, Brinco e Jirau e avaliou-se o comportamento da turbidez em NTU e o MPT em mg/L desses recursos hídricos. O rio Coxilha Rica não tem histórico por ser uma bacia que ainda está em fase de estudos para implantação de estação de captação de água pela Sanepar.

De posse de todos esses dados, e verificando o comportamento da turbidez em relação ao MPT- Material particulado suspenso, efetuou-se tratamento

matemático-estatístico para determinar o fator de conversão de NTU para mg/L.

### Tratamento matemático-estatístico

A preocupação, então, foi a de obter um fator de multiplicação para identificar a concentração de material particulado em função da turbidez.

Inicialmente obteve-se um fator bruto resultante da divisão da concentração em mg/L pela turbidez em NT.

$$F = \frac{mg/l}{NTU} \quad (1)$$

Em seguida, identificou-se a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV%) desse fator.

$$CV\% = \frac{Desvp}{Média} * 100 \quad (2)$$

Admitiu-se um CV% ideal próximo ou inferior a 30%. Quando esse coeficiente não atingiu esse valor, foi efetuado saneamento dos dados amostrados, pelo seguinte método:

$$S_{min} = Média - Desvp \text{ e } S_{max} = Média + Desvp \quad (3)$$

Portanto, os valores inferiores ao  $S_{min}$  e superiores ao  $S_{max}$  foram descartados e efetuados nova média e novo Desvio Padrão, até atingir o CV% ideal.

### Equações para calcular linhas de tendência

Uma linha de tendência linear é uma linha reta de melhor ajuste usada com conjuntos de dados lineares simples. Seus dados serão lineares se o padrão nos pontos de dados se parecer com uma linha. Uma linha de tendência linear geralmente mostra que algo está aumentando ou diminuindo com uma taxa fixa.

No trabalho, foi usada a equação de linha de tendência linear e para cada gráfico determinou-se o  $R^2$  e o  $y$ . Os cálculos e os gráficos foram gerados no Microsoft Excel 2000.

### Equação linear

Calcula o ajuste por mínimos quadrados para uma linha representada pela seguinte equação:

$$y = mx + b \quad (4)$$

onde  $m$  é a inclinação e  $b$  é a interseção.

**Valor de R-quadrado**

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (5)$$

onde:

$$SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (6)$$

$$SST = \left( \sum y_i^2 \right) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (7)$$

**Observação:** o valor de R ao quadrado, que pode ser exibido com uma linha de tendência, não é um valor ajustado. Para linhas de tendência logarítmicas, de potência e exponenciais, o Microsoft Excel usa um modelo de regressão transformado.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Assim, através da pesquisa de campo, desenvolveram-se trabalhos para obter um fator que, multiplicado pela turbidez em NTU, convertesse esse parâmetro em mg/L.

Os dados demonstram que, quando tratadas as amostras de cada bacia individualmente, a correlação para dados brutos e saneados, isto é, com um CV% ideal próximo ou inferior a 30%, comprovou os comportamentos apresentados nas Tabelas 01, 02 e 03.

A melhor correlação linear de dados brutos é a do rio Brinco, e seqüencialmente aparecem os rios Anta Gorda, Jirau e Coxilha Rica. Essa correlação linear para dados brutos é considerada de regular (0,7) a boa (0,9).

**Dados saneados** – Após o saneamento e admitindo-se um coeficiente de variação máximo de 30%, os dados apresentaram a correlação linear a seguir (Tabela 03):

Tabela 01 – Resumo dos dados para obtenção do fator de conversão NTU/MG/L (Fator F)

Amostras	Dados relativos ao fator $F = \frac{MPT}{NTU}$			
	Média do fator	Desvio padrão	CV%	Correlação linear ( $R^2$ )
Rio Anta Gorda (1)	0,69	0,557372	80,23039	0,92
Rio Anta Gorda (2)	<b>0,67</b>	<b>0,176957</b>	<b>26,58798</b>	0,94
Rio Brinco (1)	1,11	0,895843	80,63837	0,94
<b>Rio Brinco (2)</b>	<b>0,66</b>	<b>0,192118</b>	<b>29,1733</b>	0,97
Rio Coxilha Rica (1)	1,10	0,730983	66,32999	0,73
Rio Coxilha Rica (2)	<b>0,70</b>	<b>0,165102</b>	<b>23,42585</b>	0,95
Rio Jirau (1)	0,74	0,498799	67,33765	0,85
Rio Jirau (2)	<b>0,70</b>	<b>0,158101</b>	<b>22,50476</b>	0,92
Todos(1)	0,897821	0,700141	77,98222	0,81
Todos (2)	<b>0,693704</b>	<b>0,102653</b>	<b>14,79774</b>	0,98

Legenda: (1) correspondem a dados sem nenhum saneamento; (2) correspondem a dados saneados.

Tabela 02 – resumo dos dados sem saneamento para obtenção do fator de conversão NTU/MG/L (Fator F)

Bacia	Média do fator	Correlação linear ( $R^2$ )
Rio Anta Gorda	0,69	0,92
Rio Brinco	1,11	0,94
Rio Coxilha Rica	1,10	0,73
Rio Jirau	0,74	0,85

Tabela 03 – Resumo dos dados saneados para obtenção do fator de conversão NTU/MG/L (Fator F)

Bacia	Média do fator F	Correlação linear (R <sup>2</sup> )
Rio Anta Gorda	0,67	0,94
Rio Brinco	0,66	0,97
Rio Coxilha Rica	0,70	0,95
Rio Jirau	0,70	0,92

Tabela 04 – Resumo do conjunto total de dados para obtenção do fator de conversão NTU/MG/L (Fator F)

	Média do fator	Correlação linear (R <sup>2</sup> )
Todos sem saneamento	0,897821	0,81
Todos com saneamento	<b>0,693704</b>	0,98

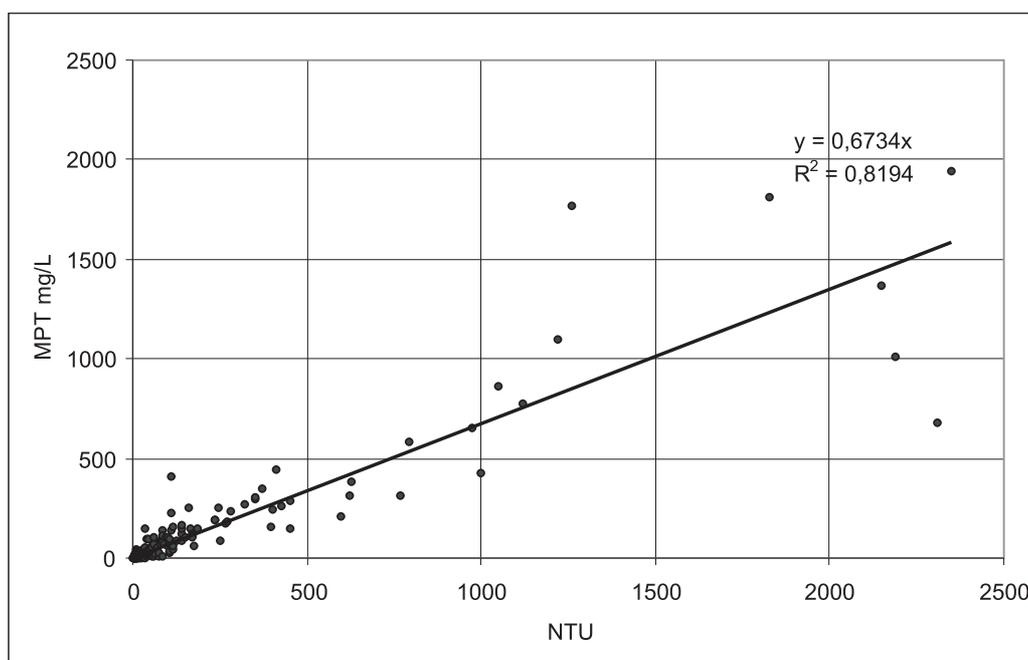


Figura 02 – Material particulado suspenso (MPT) e turbidez (NTU) nos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau (dados sem saneamento)

A melhor correlação linear de dados brutos é a do rio Brinco, e seqüencialmente aparecem os rios Coxilha Rica, Anta Gorda e Jirau. Essa correlação linear para dados saneados é considerada de boa (0,94) a muito boa (0,97).

Portanto, para cada bacia, o fator de conversão de NTU para MPT mg/L é a média do fator F dos dados saneados.

Por último, foram agrupados os dados de todas as bacias e iniciou-se um tratamento estatístico com um número bem maior de amostras, como ilustra a tabela 04.

Os dados sem tratamento apresentaram um grau de correlação linear regular (0,81), porém com um coeficiente de variação de 77,9%, que é inaceitável. Efetuados os saneamentos, o grau de correlação linear ficou ótimo (0,98) e o coeficiente de variação ficou em 14%.

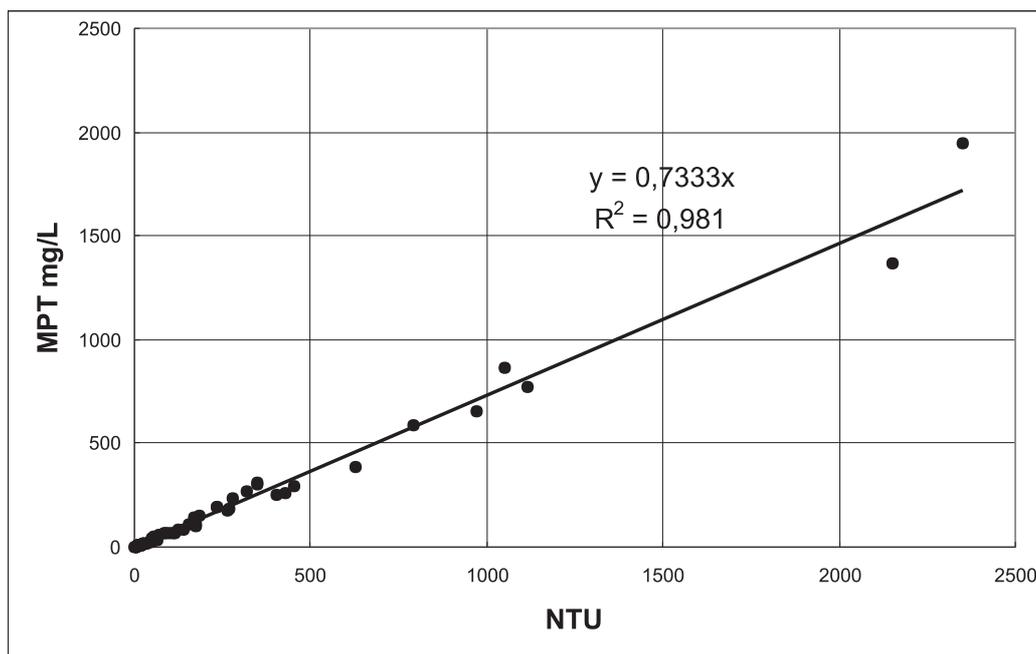


Figura 03 – material particulado suspenso (MPT) e turbidez (NTU) nos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau (dados saneados)

A junção de todos os dados permitiu identificar um fator mais próximo da *realidade possível, que é 0,693704*. Esse fator, se multiplicado pela turbidez em NTU, dará a concentração de material particulado em mg/L para qualquer rio do Sudoeste do Estado do Paraná ou mesmo para solos da área de basaltos do Sul do Brasil.

A figura 02 ilustra, por meio de um gráfico, a relação entre o material particulado suspenso (MPT) e a turbidez (NTU) nos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau, referentes aos dados sem saneamento.

A figura 03 apresenta, também por meio de um gráfico, a correlação média existente entre o material particulado suspenso (MPT) e a turbidez (NTU) nos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau, referentes aos dados saneados.

## CONCLUSÕES

A determinação de um fator de conversão da turbidez em NTU, para concentração de material particulado suspenso, em mg/L é uma contribuição importante no monitoramento e gestão de bacias hidrográficas e abre nova perspectiva de pesquisa.

Para concretização dessa pesquisa, foi necessário entender a turbidimetria no seu contexto histórico/evolutivo, bem como seu funcionamento e os

procedimentos de calibração e aferição de turbidímetros.

Um embasamento importante na determinação do fator foi comprovar a correlação linear perfeita ( $R^2=1$ ) em soluções padrões com concentrações diferentes de Sulfato de Bário.

A água destilada, com ausência total de interferentes suspensos que possam afetar a cor e a turbidez, quando adicionada a Sulfato de Bário, apresenta um fator de conversão de NTU para mg/L de 0,66666, ou seja, multiplicando-se esse fator pela turbidez em NTU, o resultado é a concentração de partículas suspensas em mg/L.

Com base nos dados do Sulfato de Bário e sabendo-se que a turbidez é a redução da transparência da água pelo material suspenso, que reflete a luz e dificulta sua passagem pela solução, cujos interferentes principais são o tamanho das partículas e o teor de matéria orgânica suspensa, foram desenvolvidas três linhas de pesquisa para se obter um fator de conversão da turbidez em NTU em concentração de material particulado suspenso em mg/L, em bacias hidrográficas do Sudoeste do Estado do Paraná.

Efetuada a correlação linear dos dados brutos de cada bacia hidrográfica, verificou-se que o  $R^2$  variou de 0,73 no rio Coxilha Rica, 0,85 no rio Jirau, 0,92 no rio Anta Gorda e 0,94 no rio Brinco. Portanto, sem nenhum saneamento, os dados já apresentavam uma boa

correlação linear, sendo a pior a do rio Coxilha Rica e a melhor a do rio Brinco. Juntando os dados das quatro bacias, a correlação linear continuou boa, ficando o  $R^2$  em 0,81.

O fator de conversão médio de NTU para mg/L nos dados sem saneamento ficou entre 0,69 a 1,11. Se esses dados fossem verificados individualmente para cada bacia, o valor médio encontrado no rio Anta Gorda seria de 0,69, no rio Jirau 0,74, no rio Coxilha Rica 1,10 e no rio Brinco 1,11. A média bruta agrupando os dados das quatro bacias ficou em 0,89.

Após a realização de saneamentos, houve uma melhoria significativa da correlação linear ( $R^2$ ), que ficou

entre 0,92 a 0,97, quando tratados os dados dos rios de forma individualizada. Agrupando-se os dados de todas as bacias, o valor de  $R^2$  foi igual a 0,98.

O fator de conversão de NTU para mg/L, quando tratadas as bacias de forma individualizada, ficou em torno de 0,66 a 0,7. Para os dados agrupados das quatro bacias foi 0,6937.

Portanto, é possível afirmar com segurança que, para as bacias hidrográficas do Sudoeste do Estado do Paraná que sejam tipicamente agrícolas, o fator de conversão de turbidez em NTU para concentração de material particulado suspenso em mg/L se situa em torno de 0,6937.

## REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, APHA,AWWA, WEF.

MASINI A.C. & NEVES V.A.P.L. 1987. Relação entre a presença de coliformes com a turbidez e o cloro residual livre. *Revista DAE*, São Paulo, **47**(150).

MICRONAL. 1993. *Manual do Turbidímetro B250*. São Paulo.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. 1996. *Guidelines for drinking water quality, vol. 2 ('Health criteria and other supporting information')*. Genebra (Suíça).