
**Metodologia e Desenvolvimento de Aplicativo
Computacional para Qualificação em Tempo-Real de
Grandezas Telemedidas pelo Sistema de Telemetria e
Monitoramento Hidrometeorológico da CEMIG**

Roberto River Ferreira

Monografia submetida à Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência – CESEP, ênfase: Supervisão, Controle e Proteção de SEP, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do certificado da Especialização.

Aprovada em 30 de outubro de 2007

Peterson Resende - Dr.

Supervisor

Silvério Visacro Filho - Dr.

Coordenador do CESEP

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a criação de uma ferramenta computacional que forneça uma idéia da qualidade de uma medição realizada remotamente, baseando-se na análise de dados estatísticos históricos do comportamento da grandeza ao longo do tempo. Espera-se construir uma aplicação que pontue os dados recebidos pelo STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Meteorológico da CEMIG, baseando-se na avaliação dos seus qualificadores, taxa de variação, limites estatísticos, históricos e físicos, de forma a aumentar a qualidade e a confiança nos dados recebidos pela plataforma de aquisição.

ABSTRACT

The purpose of this job is to build a computational tool in order to qualify a measurement that is acquired remotely, using in the data analysis the historical and statistical data that describe the behavior of the measurement. The central idea is to build an application that can give a grade to the measurements received by the STH – System of Telemetry and Meteorological Monitoring of CEMIG, based in statistical and physical limits, qualifiers flags and variation rate of the data received by the SCADA sub-system.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
1.1.	Relevância e Contexto da Investigação -----	5
1.2.	Objetivo -----	6
1.3.	Metodologia de Desenvolvimento -----	7
1.4.	Organização do texto -----	7
2.	STH – SISTEMA DE TELEMETRIA E MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO	9
2.1.	Introdução -----	9
2.2.	Histórico -----	9
2.3.	Principais Funcionalidades -----	10
2.4.	Base de Dados -----	11
2.5.	Cálculos -----	12
2.6.	Monitoria -----	13
2.7.	Simulação -----	17
2.8.	Alarmes -----	20
2.9.	Consultas -----	20
2.10.	Conclusão do Capítulo -----	22
3.	PREPARANDO OS DADOS	24
3.1.	Introdução -----	24
3.2.	Histórico -----	24
3.3.	Primeiras Telemedições -----	25
3.4.	Faltou Sol -----	26
3.5.	Águas Nipônicas Águas Brasileiras -----	26
3.6.	A Remota do STH -----	27
3.7.	Tratando as Inconsistências -----	28
4.	METODOLOGIAS DE QUALIFICAÇÃO DOS DADOS	29
4.1.	Introdução -----	29
4.2.	Regra do Negócio ou Condição de Contorno -----	29
4.3.	Análise Macroscópica dos Dados -----	30
4.4.	Análise Microscópica dos Dados -----	32
4.5.	Processamento dos Dados Recebidos -----	36
5.	DESENVOLVENDO OS ALGORITMOS	42
5.1.	Introdução -----	42
5.2.	Condições Existentes -----	42
5.3.	Estratégia de Desenvolvimento -----	43
5.4.	Tarefa de Pós-Processamento -----	44
6.	RESULTADOS ENCONTRADOS	46
6.1.	Introdução -----	46

6.2.	Um Estado de Temperaturas Amenas -----	46
6.3.	Umidade do Ar Pode Gerar Alerta -----	47
6.4.	Um Bug Detectado -----	48
6.5.	Os Problemas com Medição de Nível D'água -----	48
6.6.	Síntese Quantitativa da Qualificação dos Dados -----	50
6.7.	Análise Qualitativa dos Resultados Obtidos -----	51
7.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	53
7.1.	Introdução -----	53
7.2.	Novas Utilidades para o Sistema Qualificador -----	53
7.3.	A Qualidade do Dado com Foco no Cliente -----	54
7.4.	Propostas de Continuidade -----	54
7.5.	Palavras Finais -----	55
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 Introdução

1.1 RELEVÂNCIA E CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO

O controle dos reservatórios da CEMIG é feito de forma distribuída, sendo que os do SIN (Sistema Interligado Nacional) são de responsabilidade do COS (Centro de Operação do Sistema) e os demais são monitorados por pequenos centros de operação regionais.

A operação de reservatórios tem se mostrado mais complexa a cada dia, lidando com um conjunto cada vez maior de variáveis de controle e exigindo a especialização crescente dos operadores do sistema. Para acompanhar as novas exigências do setor, as empresas têm buscado o desenvolvimento de ferramentas computacionais que agreguem em um mesmo ambiente todos os requisitos necessários.

Visando uma maior agilidade no processo de decisão, fundamentado na aquisição de dados hidrometeorológicos, seu processamento e disponibilização, foi desenvolvido na Cemig e inaugurado em 1998 o aplicativo STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Hidrometeorológico, para atender a uma crescente demanda interna, reforçada pela Resolução ANEEL 396/98. Desde então, tanto a infra-estrutura quanto o aplicativo vêm sofrendo manutenções evolutivas, buscando a adequação tecnológica e desempenho requerido pelos usuários.

Inicialmente o aplicativo STH estava em uma plataforma cliente – servidor e possuía 84 remotas coletoras de dados hidrológicos e meteorológicos e possuía em seu cadastro 50 usuários. A sua utilização pelos técnicos dos centros de operação era restrita a visualização de determinadas medições, conforme demanda dos próprios operadores. Entre 2004 e 2006, a infra-estrutura foi ampliada para 97 remotas e o número de usuários cresceu significativamente, causando a necessidade reestruturação do aplicativo que foi migrado para o ambiente WEB. Nessa oportunidade foram agregadas diversas novas funcionalidades e o número de usuários chegou a cerca de 450. Assim o

sistema passou a ter a capacidade de monitorar 42 reservatórios da Cemig, integrando diversas áreas através de uma base única de dados.

Com o aumento acentuado do número de usuários, a confiabilidade das informações telemidas, principalmente no que diz respeito à qualidade da medição, tornou-se uma necessidade primordial. Desta forma, uma ferramenta, objeto foco deste trabalho, capaz de criticar ou pontuar uma telemida recebida de uma unidade terminal remota, agregaria ao subsistema de telemedição um alto índice de confiança. Como as telemidas são as bases para todo o processamento matemático realizado pelos processos mais especializados, o ganho alcançado teria uma abrangência sistêmica.

Ainda, como fonte de dados para outros sistemas corporativos da Cemig, os resultados desta proposta de trabalho poderão auxiliar e dar suporte de informações a diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em curso, já aprovados na empresa, e em fase de aprovação na ANEEL, tais como o Sistema de Visualização e Tratamento Estatístico de Dados e Imagens, o Sistema de Armazenamento e Recuperação de Dados e Imagens, o de Desenvolvimento da Central de Diagnóstico da Manutenção e o de Utilização de Limites Dinâmicos em Linhas de Transmissão.

Neste contexto, abordando a importância da análise qualitativa dos dados recebidos por um sistema de supervisão e monitoramento, que se localiza o desenvolvimento desta monografia.

1.2 OBJETIVO

Não se espera que o desenvolvimento da ferramenta proposta para a qualificação dos dados telemidos tenha a complexidade daquelas de estimação de estado dos aplicativos de análise de redes dos sistemas de gerenciamento de energia, com seus métodos iterativos de solução de matrizes e equações diferenciais, mas espera-se que o tratamento feito sobre o dado em análise, permita indicar se tal dado é digno de confiança para ser usado pelos diversos outros processos ou se está tão contaminado de ruídos e erros que não possa ser usado e ainda, que indique se a cadeia de medição associada à telemida necessita de manutenção.

Da análise de resultados decorreram conclusões e propostas de aplicação de metodologias e critérios com o fim de auxiliar às diversas áreas da CEMIG que dependam de dados hidrometeorológicos para tomadas de decisões.

1.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

A princípio, os dados básicos telemedidos, dos quais derivam uma enormidade de outros, e que deverão ser criticados ou pontuados pela ferramenta proposta, são: precipitação pluviométrica (chuva), nível de rios e de reservatórios, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar e pressão atmosférica. Como são grandezas hidrometeorológicas, associadas a fenômenos naturais sob os quais não se tem controle, a modelagem matemática se torna extremamente difícil, senão impossível de ser realizada. Sendo assim, torna-se muito atrativa e até mesmo indicada a análise exploratória de dados e a utilização de métodos estatísticos para a solução do problema da qualificação dos dados telemedidos.

A ferramenta proposta deverá basear-se na base histórica de telemedidas, que está disponível em sua maioria numa base horária desde junho de 1998, e através da análise exploratória de dados desta base, inferir, preferencialmente em tempo-real, sobre a qualidade da telemedida recebida.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Procurou-se evitar nesta monografia a repetição no texto de abordagem de temas exaustivamente discutidos e detalhados num grande número de trabalhos da literatura técnica. Estes trabalhos que tratam das ciências da estatísticas, da hidrologia e da meteorologia, serão referenciados no texto quando necessário. Assim sendo, o texto desta monografia ficará dedicado objetivamente aos desenvolvimentos e resultados da investigação específica em foco.

Nesta perspectiva, o texto desta monografia foi distribuído em 8 capítulos, incluindo a presente introdução compondo o **Capítulo 1**.

No **Capítulo 2** é feita uma apresentação sucinta do STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Hidrometeorológico e sua contextualização dentro das atividades do planejamento energético da CEMIG.

O **Capítulo 3** apresenta uma forma de organização dos tipos de grandezas disponíveis na base de dados histórica do STH e a forma de tratamento inicial dos mesmos para sua utilização no desenvolvimento da ferramenta de qualificação das telemedições.

O **Capítulo 4** aborda a estratégia a ser usada para a qualificação das telemedições, indicando os mecanismos a serem utilizados pelos algoritmos que serão desenvolvidos para a ferramenta de qualificação.

O **Capítulo 5** apresenta os desenvolvimentos dos algoritmos, baseados nas estratégias traçadas conforme descrito na capítulo 5. Espera-se construir inicialmente uma ferramenta off-line para a confirmação da eficácia dos mecanismos de tratamento de dados e posteriormente, validados os mecanismos, construir uma ferramenta que funcione em tempo-real.

O **Capítulo 6** apresenta alguns resultados encontrados durante os desenvolvimentos dos trabalhos de preparação inicial da base de dados histórica de grandezas hidrológicas e meteorológicas sobre a qual foram realizados os estudos.

As conclusões finais desta monografia, decorrentes das avaliações realizadas, assim como os possíveis desdobramentos relativos às propostas de continuidade, são apresentadas no **Capítulo 7**.

Ao final do texto são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas, compondo o **Capítulo 8**.

2 STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Hidrometeorológico

2.1 INTRODUÇÃO

O sistema de telemetria da Cemig existe desde 1998 e foi criado para atender a uma demanda interna, reforçada pela Resolução ANEEL 396/98. Desde então, tanto a infra-estrutura quanto o aplicativo vêm sofrendo manutenções evolutivas, buscando a adequação tecnológica e de performance requerida pelos usuários.

2.2 HISTÓRICO

Inicialmente o aplicativo STH era baseado numa arquitetura cliente – servidor e possuía 84 remotas, 10 concentradoras e 50 usuários. A sua utilização pelos técnicos dos centros de operação era restrita a visualização de determinadas medições, conforme demanda dos próprios operadores.

Entre 2004 e 2006, a infra-estrutura foi ampliada para 97 remotas e 12 concentradoras e o aplicativo foi reestruturado e migrado para o ambiente WEB. Foram agregadas diversas novas funcionalidades e o número de usuários chegou a cerca de 450, o que deu ao sistema uma abrangência corporativa. Assim o STHWeb passou a ter a capacidade de monitorar 42 reservatórios da Cemig, integrando diversas áreas através de uma base única de dados e aumentando a confiabilidade das informações.

A seguir serão apresentadas as funcionalidades desenvolvidas.

2.3 PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES

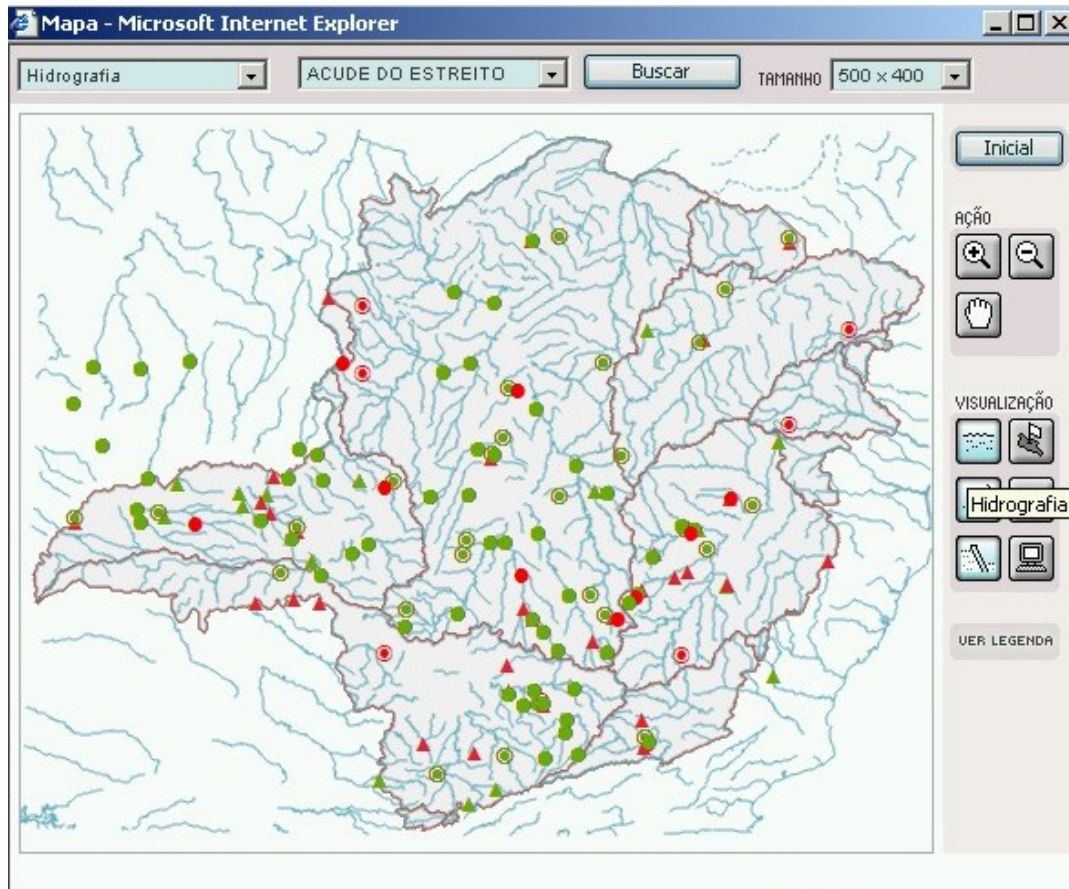
O sistema atual foi resultado de uma série de reuniões entre a equipe de desenvolvimento e os usuários, onde se buscou a integração dos interesses das principais áreas envolvidas: pré operação e procedimentos, tempo real e pós operação.

A navegação pelas páginas do sistema foi concebida para permitir o agrupamento de todas as funcionalidades em um mapa de referência ou através de uma barra de menu com um “help” associado (ver figuras 1 e 2).

Figura 1



Figura 2



2.4 BASE DE DADOS

O gerenciador de banco de dados do STHWeb é o Microsoft SQL Server. O aporte de dados brutos ao sistema é feito através das remotas (coletores de dados) hidrometeorológicas, da conexão com o Sistema de Supervisão e Controle Distribuído – SSCD do COS da Cemig e da digitação dos dados na própria interface do STHWeb ou em sistemas associados como, por exemplo, o Sistema de Gerenciamento da Operação – SIGO, instalado nas usinas.

Os dados são recebidos em tempo real e são utilizados pelo módulo de cálculos. São então exibidos na interface do sistema estando disponíveis ao usuário, sinalizados através de cores ou grafias diferenciadas dos valores.

Todo valor armazenado na base de dados está sempre vinculado a um elemento hidrológico, a saber: Bacia Hidrográfica, Rio, Reservatório, Posto ou Usina. Por sua vez, cada elemento hidrológico está vinculado a um número restrito de tipos de informação. Uma associação válida entre um elemento

hidrológico e um tipo de informação caracteriza uma grandeza. O *STHWeb* possui 475 elementos hidrológicos, 70 tipos de informação que formam 3947 grandezas (vide tabela 1).

Para a atualização, via interface, do banco de dados foi construído um aplicativo chamado *STHWebAdmin* visando facilitar as tarefas de cadastro e manutenção pelo administrador do sistema não exigindo conhecimentos específicos de gerenciamento e manipulação de banco de dados.

2.5 CÁLCULOS

O sistema possui um módulo específico para a realização de cálculos.

Os cálculos são totalmente parametrizados sendo que o administrador pode interferir na frequência de sua realização, na sua fórmula, na fonte de medida dos dados integrantes, na especificidade de execução para um ou vários elementos hidrológicos ao mesmo tempo. O sistema pode interferir de forma inteligente na frequência de realização de um cálculo de reservatório em função de seu estado operativo, ou seja, se for detectado que o reservatório está em estado de alerta, a frequência de cálculo será alterada automaticamente.

Outro grande avanço nesta nova versão foi o retrocálculo, que permite que um cálculo já efetuado possa ser refeito caso alguma parcela seja considerada inconsistente e o usuário decida informar um novo valor. O retrocálculo corrigirá não somente o cálculo em questão, mas também todos os demais vinculados a ele, formando um processamento em cascata.

A inserção de uma nova fórmula ou a verificação das existentes é feita através de um construtor que permite ao administrador cadastrar e testar as mais diversas possibilidades.

2.6 MONITORIA

A monitoria é dividida de acordo com o perfil de cada centro de operação regional sendo que cada operador visualizará apenas os reservatórios sob responsabilidade do centro regional, podendo os mesmos ser agrupados por Bacia Hidrográfica ou exibidos de forma específica.

A monitoria é baseada nas instruções de operação as quais estabelecem, dentre inúmeras outras diretrizes, a periodicidade de coleta de dados para verificação das seguintes grandezas hidrológicas: níveis, vazões, volume de espera.

Chegado o momento da monitoria de um reservatório, o sistema emitirá alerta, através do mapa georeferenciado (ver Figura 2) ou da própria interface, através de botões e suas cores sinalizadoras (ver Figura 3).

Figura 3

SISTEMA DE TELEMETRIA E MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO

Monitoria Supervisão Medidas Ferramentas Mensagens Relatórios Help About

Monitoria BACIAS HIDROGRÁFICAS

Paranaíba

Reservatórios

Postos

Filtrar

Exibir Mapa

OBSERVAÇÕES

Anil

O STH ainda não carregado com as tabelas de descarga dos órg...

Página 1 de 3 << >>





Paranaíba

Contatos Atualizar

Reservatório Posto

Reservatório	Data - Hora	NA(m)	VU(%)	Qa(m³/s)	Qt(m³/s)	Qv(m³/s)	
Capim Branco 1	27/11/2006 18:05	623,48	21,48	297,97	223,46	0,00	H C R A
Emborcação	27/11/2006 18:05	643,14	48,19	458,55	854,48	0,00	H C R A
Miranda	27/11/2006 18:05	695,59	85,52	370,86	320,74	0,00	H C R A
Nova Ponte	27/11/2006 18:05	810,60	82,53	267,79	289,69	0,00	H C R A
São Simão	27/11/2006 18:05	392,98	20,73	2.828,23	2.156,81	1.304,82	H C R A

Os botões  indicam:

-  – horário de coleta e verificação obrigatória das grandezas hidrológicas;
-  – existência de observação temporária para o reservatório;
-  – o reservatório encontra-se fora da região normal de operação;
-  – existência de alarme gerado pela violação de alguma inequação do reservatório.

As cores dos botões indicam: **Vermelho** – evento gerado pelo sistema e ainda não reconhecido pelo operador; **Amarelo** – evento gerado pelo sistema, reconhecido pelo operador, mas com a permanência da situação que o causou; **Verde** – situação normal .

Foi solicitada pelos despachantes do COS - Cemig, a integração do STHWeb com o SSCD, para permitir a visualização dos dois sistemas em uma única tela. Assim, o mapa de bacias hidrográficas do STHWeb fica ativo dentro da interface do SSCD e caso ocorra algum dos eventos citados acima, a bacia em questão muda de cor, alertando ao despachante sobre a necessidade de monitoria no STH (ver Figura 4).

Figura 4



O despachante ainda conta com o auxílio das informações em tempo real dos postos hidroclimatológicos de montante e jusante para subsidiar o controle e as decisões operativas. (ver Figuras 5 e 6)

Figura 5

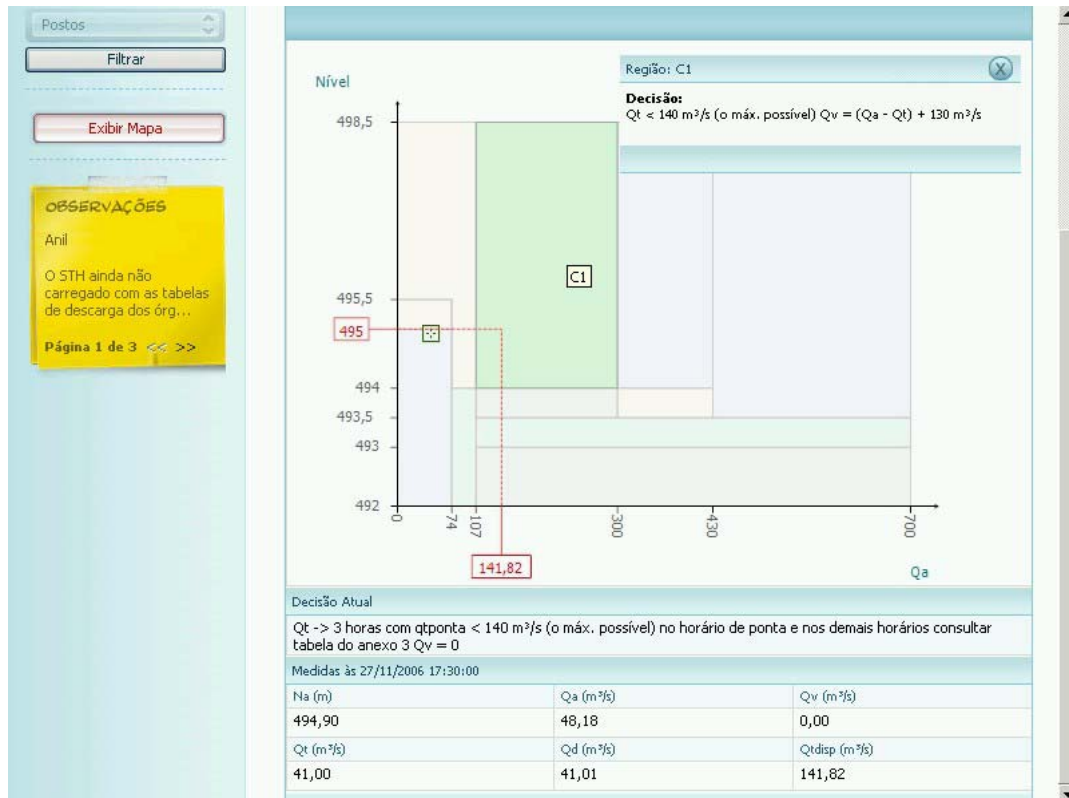


Figura 6



As grandezas hidrológicas também podem ser visualizadas de forma gráfica, facilitando a sua compreensão e a interpretação do estado operativo de cada reservatório. O estado operativo atual e os demais, bem como as suas respectivas decisões são traduzidas no diagrama de operação exibidas na interface, sendo esta uma excelente ferramenta de suporte à decisão (ver Figura 7).

Figura 7



2.7 SIMULAÇÃO

O sistema dispõe de ferramentas de simulação aonde é possível realizar simulações diárias e horárias. Além disto, partindo-se ou não de um estado de vazão afluente conhecido pode-se aplicar um coeficiente de recessão à mesma e simular o comportamento do reservatório ou então utilizar os valores previstos pela área de hidrologia ou a MLT e seus percentuais ou ainda a digitação de valores de vazão afluente (ver Figura 8).

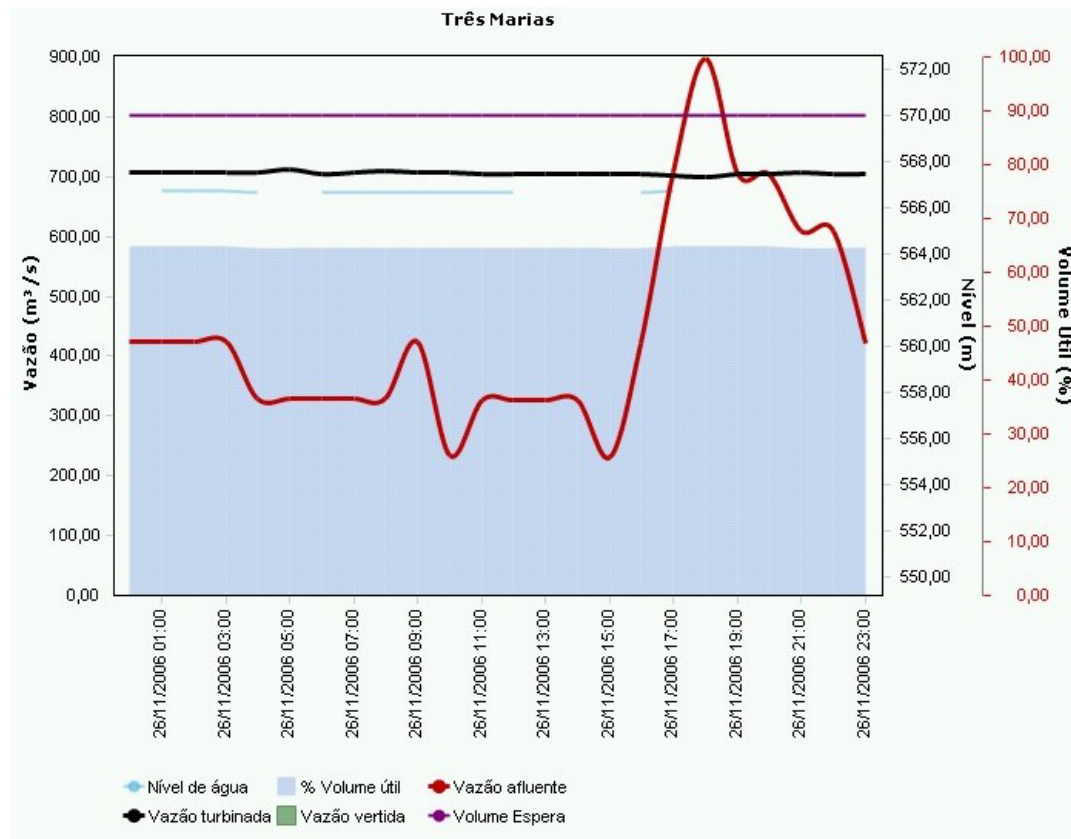
Uma nova funcionalidade foi implementada nesta versão que é a possibilidade de realizar simulações em cascata, ou seja, a simulação de um reservatório servirá como entrada para a simulação do reservatório de jusante e assim por diante. Além disto, várias simulações podem ser efetuadas sem que se percam as anteriores e é possível visualizar as mesmas através de gráficos (ver Figura 9) ou exportá-las para planilha Excel. Nas simulações também pode-se optar pela verificação das inequações, visando informar ao usuário sobre os

efeitos e conseqüências da simulação que está sendo efetuada, comparada com os limites do reservatório no cadastro do sistema.

Figura 8



Figura 9



2.8 ALARMES

Podemos classificar os alarmes emitidos pelo sistema, de acordo com a sua origem:

Supervisão da infraestrutura

- as remotas instaladas em campo são capazes de enviar em tempo real, qualquer ocorrência que mereça a intervenção da equipe de manutenção. Exemplos: porta do abrigo aberta, falha de corrente contínua ou alternada, falha de comunicação. Estes alarmes são exibidos na interface, na opção Mensagens do menu ou na camada de postos telemedidos (remotas) do mapa georeferenciado do sistema. As cores das remotas são dinâmicas, indicando o tipo de ocorrência verificada.

Violação de inequações

- o STHWeb possui um módulo de inequações, onde o usuário pode construir combinações entre as variadas grandezas do sistema e colocar estas fórmulas sob monitoramento. Caso a comparação dos valores em tempo real destas grandezas, viole o determinado pela inequação, o sistema emitirá alarmes que serão exibidos na interface de monitoria de reservatórios (botão A) e nas camadas de bacias ou reservatórios do mapa georeferenciado. Estes alarmes também poderão, se configurados para tal, alertar ao usuário via telefone celular ou e-mail.

Os alarmes buscam garantir a integridade na operação do sistema sob todos os aspectos, seja no acompanhamento das variáveis dos reservatórios, seja na confiabilidade da fonte geradora de tais dados, ou seja, as remotas.

2.9 CONSULTAS

O volume e a variedade de informações geradas pelo STHWeb é imenso, e atende não só as equipes dos centros de operação, mas também as áreas de hidrologia, meteorologia, hidrometria e as engenharias da Cemig. O sistema também possui vários clientes externos, como o ONS, ANEEL, prefeituras, universidades e outras instituições.

As consultas a esta enorme gama de dados podem ser construídas pelos próprios usuários de forma interativa e dinâmica e também podem ser armazenadas para execução posterior. O usuário irá definir as grandezas, a frequência dos dados, o período de cobertura da pesquisa, a fonte da medida, dentre outros parâmetros.

O sistema disponibiliza os resultados através de gráficos e planilhas, sendo que estas são exportáveis para uso em outros aplicativos (ver Figura 10).

Para os usuários externos à Cemig, o sistema é parametrizado para gerar consultas na frequência e formato desejados e disponibilizar os arquivos em locais pré-definidos, tudo isto de forma automática.

Figura 10



SISTEMA DE TELEMETRIA E MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO

Monitoria Supervisão Medidas Ferramentas Mensagens Relatórios Help About

Relatórios CONSULTA

Dados para FEAM - Baía SFrancisco

20/11/2006 00:00 26/11/2006 00:00 Filtrar Exportar Voltar

Data/Hora	PIRAPORAPTE			
	NAGUA	QAFLUPTCT	CHUACUHORC	
25/11/2006 23:00:00	2,79	888,50	0,00	1,87 ▲
25/11/2006 22:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 21:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 20:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 19:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 18:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 17:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 16:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 15:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 14:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 13:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 12:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87
25/11/2006 11:00:00	2,80	900,00	0,00	1,87 ▼

2.10 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Desde a sua inauguração em 1999, o STH apresentou-se como um sistema pioneiro no setor elétrico brasileiro, na área de monitoramento em tempo real de grandezas hidroclimatológicas. Hoje, com implantação da versão STHWeb, podemos afirmar que este aplicativo representa um esforço pioneiro da Cemig em tornar as decisões operativas mais dinâmicas, fundamentadas em uma base de dados única e segura e em um sistema ágil e amigável.

A nova versão do sistema ainda está em seu período pós implantação, portanto alguns ajustes certamente deverão ser feitos, mas todo o esforço está sendo feito para tornar o STHWeb uma ferramenta altamente customizada que atenda à diversidade de demandas dos seus usuários.

Tabela 1 - TIPOS DE INFORMAÇÃO

CHUVA ACUMULADA DIÁRIA CALCULADA	EVAPOTRANSPIRAÇÃO
CHUVA ACUMULADA HORÁRIA CALCULADA	MAIOR CHUVA OCORRIDA NO DIA
CHUVA ACUMULADA MENSAL CALCULADA	MEGAWATT DISPONIVEL
CHUVA ACUMULADA POR TEMPO VARIÁVEL	NÍVEL DE ÁGUA
CHUVA MÁXIMA DE 10 MINUTOS	NÍVEL DO CANAL DE FUGA
CHUVA MÁXIMA DE 15 MINUTOS	PERCENTUAL DE VOLUME ÚTIL
CHUVA MÁXIMA DE 20 MINUTOS	POTÊNCIA GERADA
CHUVA MÁXIMA DE 25 MINUTOS	POTÊNCIA GERADA DIÁRIA
CHUVA MÁXIMA DE 30 MINUTOS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA INSTANTÂNEA
CHUVA MÁXIMA DE 5 MINUTOS	PRESSÃO ATMOSFÉRICA MÁXIMA DIÁRIA
CHUVA MÉDIA DIÁRIA	PRESSÃO ATMOSFÉRICA MÉDIA
CHUVA MÉDIA HORÁRIA	PRESSÃO ATMOSFÉRICA MÍNIMA DIÁRIA
CHUVA MÉDIA MENSAL	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL
DIREÇÃO INSTANTÂNEA DO VENTO	TEMPERATURA INSTANTÂNEA
DIREÇÃO MÉDIA DO VENTO	TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA
ENERGIA MÉDIA DIÁRIA	TEMPERATURA MÉDIA
ENERGIA MÉDIA HORÁRIA	TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA
ENERGIA MÉDIA MENSAL	UMIDADE RELATIVA DO AR INSTANTÂNEA
ENERGIA VERTIDA TURBINÁVEL	UMIDADE RELATIVA DO AR MÉDIA

VAZÃO AFLUENTE	VAZÃO MÉDIA MENSAL EM PONTOS DE CONTROLE
VAZÃO AFLUENTE HORÁRIA	VAZÃO NO TUNEL
VAZÃO AFLUENTE MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO PELO DISPOSITIVO AUXILIAR
VAZÃO AFLUENTE MÉDIA MENSAL BH	VAZÃO PELO DISPOSITIVO AUXILIAR
VAZÃO AFLUENTE NATURAL MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO PELO TÚNEL MÉDIA DIÁRIA
VAZÃO AFLUENTE NATURAL MÉDIA DIÁRIA PRELIMINAR	VAZÃO TURBINADA
VAZÃO AFLUENTE NATURAL MÉDIA MENSAL	VAZÃO TURBINADA DISPONÍVEL
VAZÃO DE EMERGÊNCIA	VAZÃO TURBINADA MÉDIA DIÁRIA
VAZÃO DE RESTRIÇÃO	VAZÃO TURBINADA MÉDIA MENSAL
VAZÃO DE RESTRIÇÃO A JUSANTE	VAZÃO VERTIDA
VAZÃO DEFLUENTE	VAZÃO VERTIDA MÉDIA DIÁRIA
VAZÃO DEFLUENTE MÉDIA DIÁRIA	VAZÃO VERTIDA MÉDIA MENSAL
VAZÃO DEFLUENTE MÉDIA HORÁRIA	VELOCIDADE INSTANTÂNEA DO VENTO
VAZÃO EM PONTOS DE CONTROLE	VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO
VAZÃO MÉDIA DIÁRIA EM PONTOS DE CONTROLE	

3 PREPARANDO OS DADOS

3.1 INTRODUÇÃO

Considerando-se as grandezas para as quais será desenvolvida a ferramenta de qualificação, temos que até 01/01/2007 foram recebidas e armazenadas nas bases de dados do STH 32.126.631 (trinta e dois milhões cento e vinte e seis mil seiscentas e trinta e uma) medidas. Estas medidas originaram muitas outras, através de cálculos realizados pelos diversos módulos que compõem o sistema. Sendo assim até setembro de 2007 o sistema possuía em sua base 66.231.045 (sessenta e seis milhões duzentos e trinta e um mil e quarenta e cinco) medidas.

Como o número de medidas a serem tratadas é extremamente elevado, um tratamento manual das grandezas se tornou impossível, sendo necessário construir pequenos aplicativos com os mais diversos fins de filtragem inicial de dados. O principal motivo para a necessidade destes aplicativos auxiliares no tratamento inicial dos dados é o grande número de medidas inconsistentes recebidas nas fases iniciais de implantação do sistema.

Para garantir um tratamento estatístico adequado às medidas estas inconsistências verificadas foram filtradas e os motivos principais das inconsistências e os mecanismos de filtragem são detalhados no decorrer deste capítulo.

3.2 HISTÓRICO

Toda a plataforma de aquisição de dados, no que tange a todos os seus aspectos, tais como, sistemas de alimentação de energia, seja por painel solar ou pela rede comercial de distribuição; unidades coletoras de dados e suas capacidades de processamento de dados; sistemas de transmissão de dados, seja por link de rádio VHF/UHF, microondas ou satélite, foram especificados pelos especialistas da CEMIG.

Foi feita então uma licitação internacional para definição da empresa que desenvolveria, conforme as especificações, e integraria todos os elementos da plataforma de hardware, formando um completo sistema de aquisição de dados hidrometeorológicos. A empresa vencedora foi a JRC – Japan Radio Company que tem larga experiência na implantação de sistemas com estas características, seja no Japão ou ao redor do mundo.

Toda a infra-estrutura de software do aplicativo que compõe o STH foi especificada e desenvolvida internamente por especialistas da CEMIG. Por conta desta decisão, toda a tecnologia e o conhecimento adquirido com o desenvolvimento e a evolução do sistema ficaram preservados dentro da empresa, o que garante uma continuidade e manutenção do sistema ao longo dos anos e independência com relação a desenvolvimentos externos.

O início da implantação da infra-estrutura de aquisição de dados ocorreu em 1988. Este período inicial já contava com um protótipo do SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition, o que possibilitou desde o início popular a base de dados do sistema com os dados telemedidos. Esta precocidade na recepção de dados foi muito útil durante a fase inicial de implantação, mas trouxe com ela alguns problemas que dizem respeito à qualidade da medida recebida. Estes problemas são discutidos nos tópicos que seguem.

3.3 PRIMEIRAS TELEMEDIÇÕES

As primeiras medidas recebidas pelo sistema não podiam ser consideradas como confiáveis por diversas razões, dentre elas podemos destacar:

- O sistema estava em sua fase inicial de implantação, o que envolvia obras civis, montagens e desmontagens de equipamentos de sensoriamento, de comunicação de dados e de alimentação elétrica;
- Os sensores estavam com calibração “de fábrica” e suas medições não haviam sido confrontadas com aquelas de medidores padrão;
- Os protocolos de comunicação entre as unidades coletoras de dados e a central estavam em fase de validação. Além disso, os links de dados estavam na fase inicial de alinhamento e adequações de potências de transmissão dos rádios e equipamentos afins.

Sendo assim, um grande número de telemidas inconsistentes foi recebido pelo sistema preliminar de aquisição de dados e estas telemidas foram armazenadas na base de dados.

Essa situação perdurou por alguns meses, visto que quando se terminava o “comissionamento” e implantação de um posto de medição, iniciava-se a implantação de outro. Vale ressaltar que a implantação de postos de medição envolveu todo o estado de Minas Gerais e parte do estado de Goiás, como se pode verificar nos mapas apresentados no Capítulo 2.

3.4 FALTOU SOL

Desde a implantação dos primeiros postos, percebeu-se que era comum a falha na recepção de dados durante parte da noite e até o nascer do sol. Rapidamente foi constatado que o problema era causado por incapacidade de carga das baterias que alimentavam algumas estações coletoras de dados. Estas estações se localizam em lugares de difícil acesso e não dispõem de nenhuma infra-estrutura. Sendo assim, o posto ou estação de medição tinha como fonte de energia painéis solares acoplados à bancos de baterias. Durante o dia os painéis solares fornecem alimentação aos equipamentos de medição e carregam os bancos de baterias que à noite são os responsáveis pela alimentação da estação. Porém, em dias mais nublados, a carga não era suficiente para manter a operação durante todo o período noturno e o posto “era colocado para dormir”.

Este desligamento dos equipamentos de medição trazia consigo, além da ausência dos dados “noturnos”, falhas nos dados que eram acumulados durante o dia, que eram os dados de chuva acumulada e radiação solar global. Estes eram “resetados” para o zero, a cada inicialização da estação que acontecia com o nascer do sol.

3.5 ÁGUAS NIPÔNICAS ÁGUAS BRASILEIRAS

Com a intenção de facilitar a implantação e manutenção futura do sistema, o sensor de nível de água foi especificado como sendo do “tipo

pressão”. Sua instalação é muito mais simples do que os sensores de nível tradicionalmente usados, do tipo bóia e contrapeso.

O sensor de nível de água do tipo “pressão” é baseado numa câmara de pressão conectada a um cabo de interligação com um duto de ar que tem a capacidade de medir a altura da coluna de água sobre o mesmo. Sua instalação é muito simples, uma vez que o mesmo é lançado e ancorado no leito do rio, dispensando as obras civis demandadas pelo sensor do tipo bóia e contrapeso para instalação do “tubulão” e mecanismos de medição.

Entretanto, após alguns meses de operação de diversos desses sensores baseados na câmara de pressão, inúmeras medições de nível d’água começaram a apresentar erros grosseiros. Verificou-se que os sensores estavam sendo rapidamente atacados por um processo de corrosão que chegava a alcançar a câmara de pressão, alterando significativamente as medidas. Esta corrosão entretanto não ocorria de forma tão acentuada nas águas dos rios japoneses, o que levou a se acreditar que a composição das águas brasileiras, mais especificamente das águas mineiras (talvez pela grande presença de minerais), estava “fora das especificações adequadas” para uso do sensor.

Por conta deste acontecimento, todos os sensores de pressão acabaram sendo substituídos pelo bom e velho sensor com bóia e contrapeso.

3.6 A REMOTA DO STH

O equipamento coletor de dados, mais conhecido nos sistemas de supervisão como UTR – Unidade Terminal Remota, ou simplesmente Remota, foi especificado pela CEMIG e desenvolvido pela JRC no Japão. A especificação deste equipamento previu diversas capacidades de processamento a serem implementadas no firmware (micro código operacional do equipamento) dentre as quais a capacidade de autosupervisão do estado dos sensores conectados à remota. Este monitoramento do estado dos sensores inclui:

- Sensor defeituoso;
- Sensor desconectado;
- Sensor desligado;
- Medida inválida;
- Remota em manutenção;

- After start (inicialização).

Esta supervisão da situação dos sensores já fornece às telemidas uma idéia inicial da qualidade da mesma. Estes qualificadores são enviados juntamente com a telemida, atrelados a ela. Nos quatro primeiros casos, a medida vem “zerada”, no quinto caso (em manutenção) é informado o valor de engenharia apropriado, mas é necessário levar em conta que a remota estava em manutenção o que pode indicar que a medição pode estar contaminada. No último caso, a indicação informa que a remota sofreu uma inicialização, ou “reset”, seja por falta de energia no posto de medição ou pro solicitação de um operador do sistema.

3.7 TRATANDO AS INCONSISTÊNCIAS

O número de medições inadequadas devido aos problemas citados durante a implantação do sistema mostrou-se muito elevado e acabariam influenciando negativamente nos dados estatísticos, tais como médias e desvio padrão, necessários à elaboração da ferramenta de qualificação proposta nesta monografia. Sendo assim uma filtragem inicial foi feita de forma a criar uma base de dados inicial para o início das pesquisas.

Esta filtragem se baseia no tratamento de limites físicos das grandezas e no tratamento de violações de taxas de variação da grandeza. Estes valores limites foram conseguidos junto aos hidrólogos e meteorologistas da CEMIG.

Para tratar toda a massa de dados disponível, filtrando as inconsistências primárias foram desenvolvidos alguns aplicativos que ao final de sua execução possibilitaram levantar com um adequado nível de qualidade as médias, desvios padrão e taxas de variação consideradas normais para cada tipo de grandeza telemida. Com esses dados disponíveis, criou-se no banco de dados do sistema uma tabela na qual eram armazenados estes dados notáveis, que são usados em processos comparativos numa primeira etapa de qualificação da telemida recebida.

Os mecanismos de qualificação serão discutidos em mais detalhes no capítulo seguinte.

4 METODOLOGIAS DE QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Após as filtragens iniciais para a eliminação de erros grosseiros como os descritos no Capítulo 3, iniciou-se então a análise dos dados disponíveis. Baseando-se nestas análises, alguns mecanismos de qualificação dos dados foram propostos para implementação de algoritmos computacionais.

Estas propostas de mecanismos para qualificação serão discutidas nas seções que seguem.

4.2 REGRA DO NEGÓCIO OU CONDIÇÃO DE CONTORNO

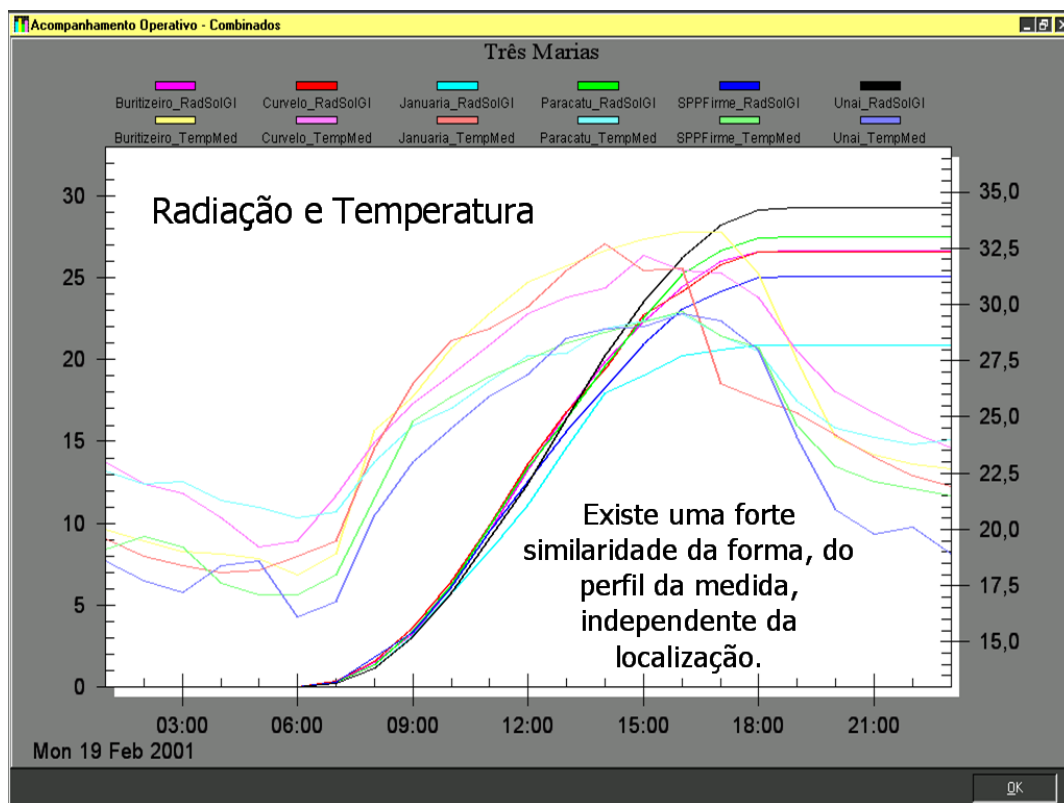
Após algumas entrevistas com usuários do STH, em sua maioria hidrólogos, percebeu-se a grande importância da qualidade de séries históricas de dados hidrológicos. Algumas destas séries remontam ao ano de 1930 e são usadas para a realização de previsões de afluência de água aos reservatórios das usinas e índices de precipitação pluviométrica nas bacias hidrológicas do estado de Minas Gerais.

De forma geral, essas séries eram de dados horários, que posteriormente eram convertidos em diários e mensais. Como o STH é uma grande fonte de dados hidrometeorológicos, se não a maior, estabeleceu-se como frequência mínima de recepção de dados telemedidos a horária, de forma a manter coerência com as séries já existentes e dar consistência aos dados disponíveis para avaliação e tratamento. Opcionalmente ou devido a alguma necessidade operativa esta frequência poderia ser aumentada para até intervalos de dados de 5 em 5 minutos, que era a capacidade máxima especificada para as remotas coletoras de dados.

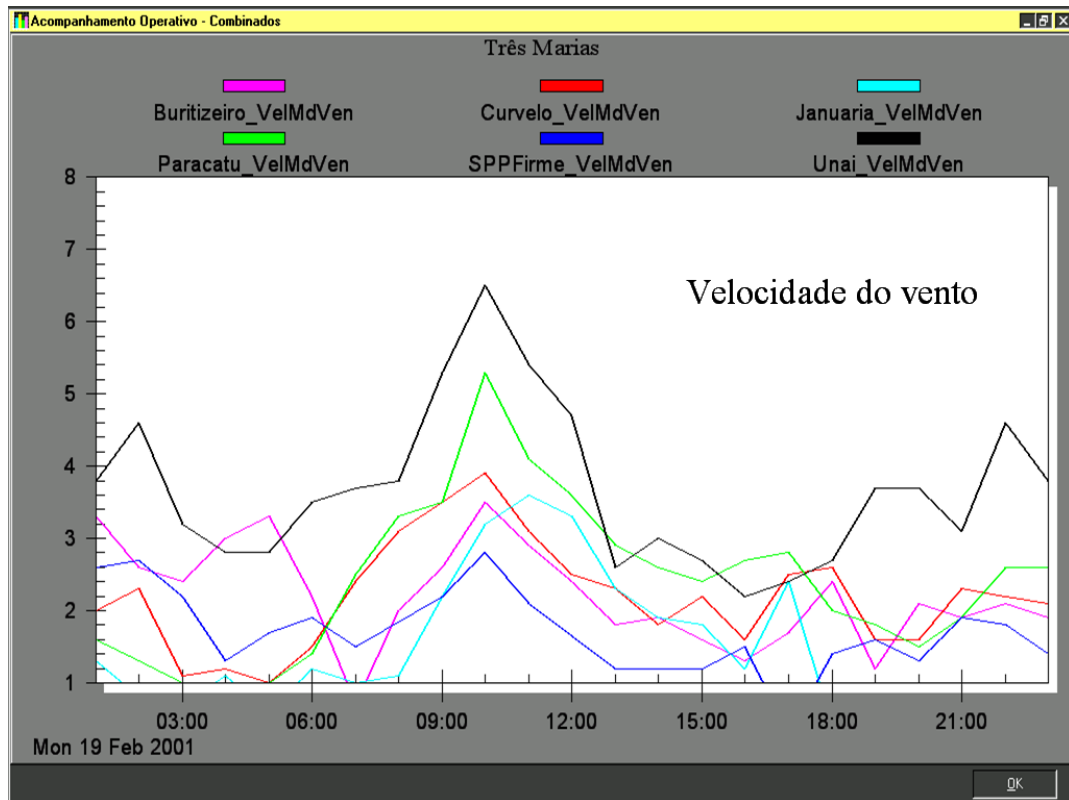
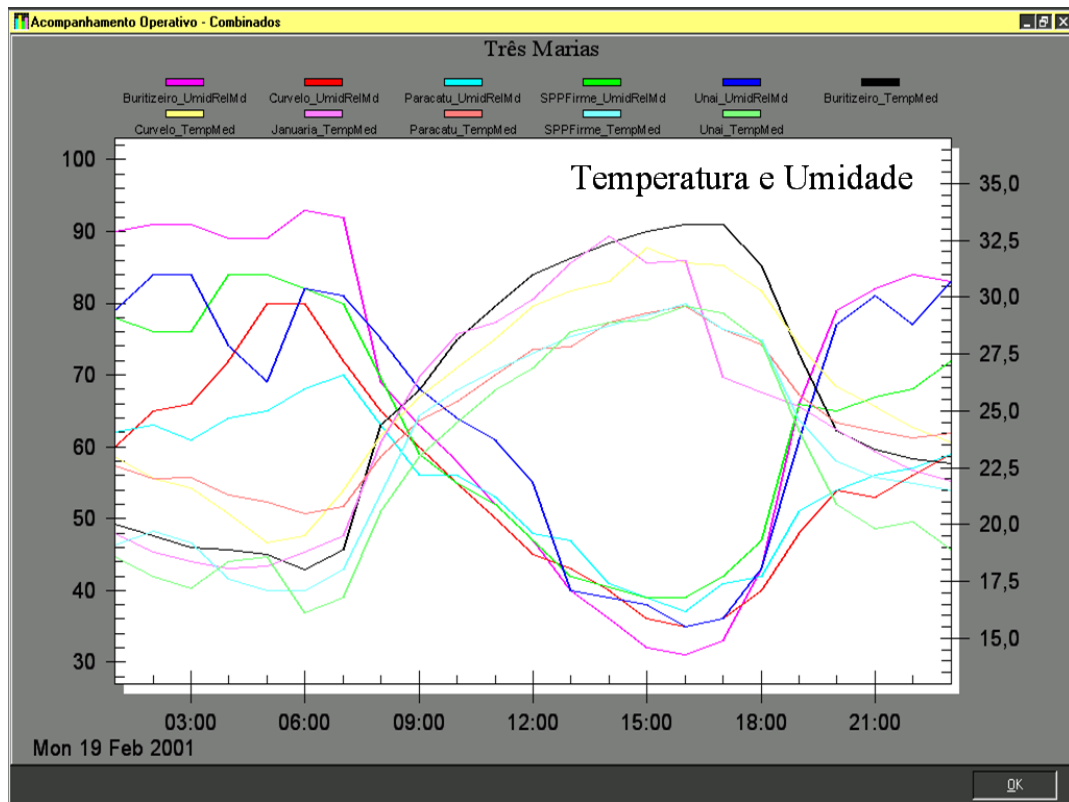
4.3 ANÁLISE MACROSCÓPICA DOS DADOS

Tendo sido estabelecidas as regras para a avaliação das séries de dados, iniciaram-se as primeiras análises dos dados disponíveis.

Com foco numa data específica foi feita uma macro análise dos dados disponíveis para aquela data e foi verificado para a maioria das grandezas uma grande similaridade da forma, do perfil de comportamento da grandeza ao longo do dia, independente da localização da medição. Esta similaridade pode ser verificada nas figuras a seguir onde os dados de temperatura, radiação solar acumulada, umidade relativa do ar e velocidade média do vento, coletados pelo sistema em diversos pontos da bacia do reservatório de Três Marias, se referem ao dia 19 de fevereiro de 2001.



A similaridade continua a ser verificada para outras grandezas, além de ficar evidenciada alguma relação de proporcionalidade entre algumas grandezas, caso claro de temperatura e umidade, conforme mostrado a seguir.

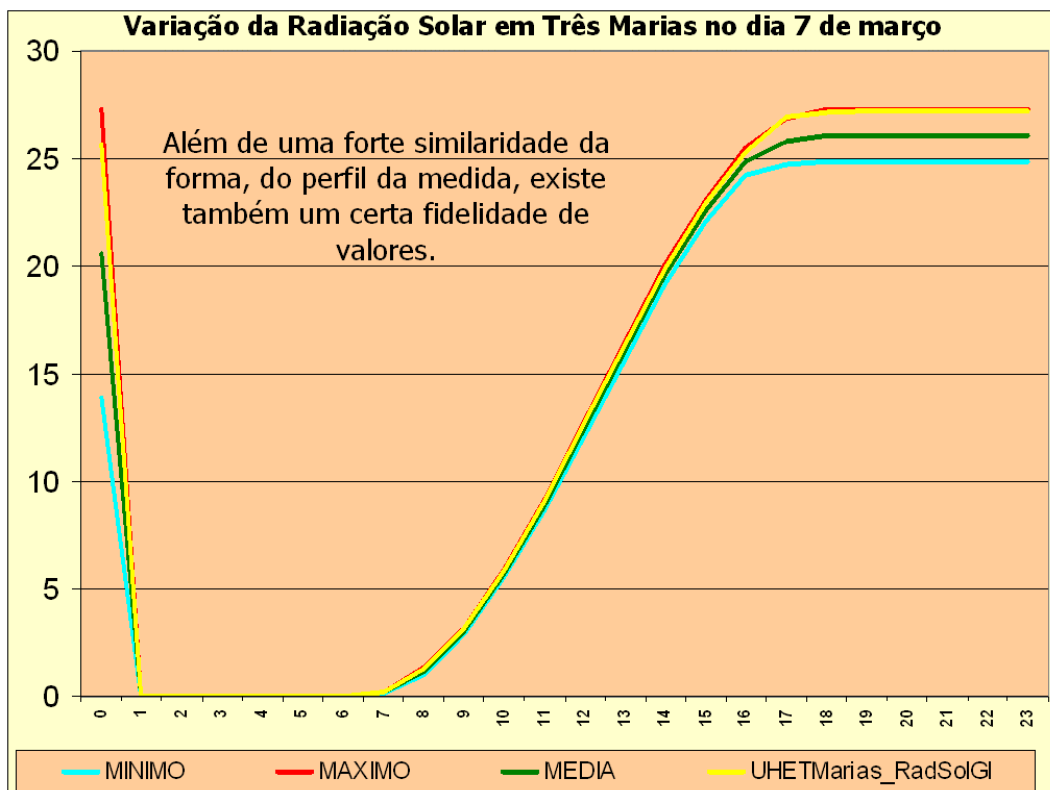


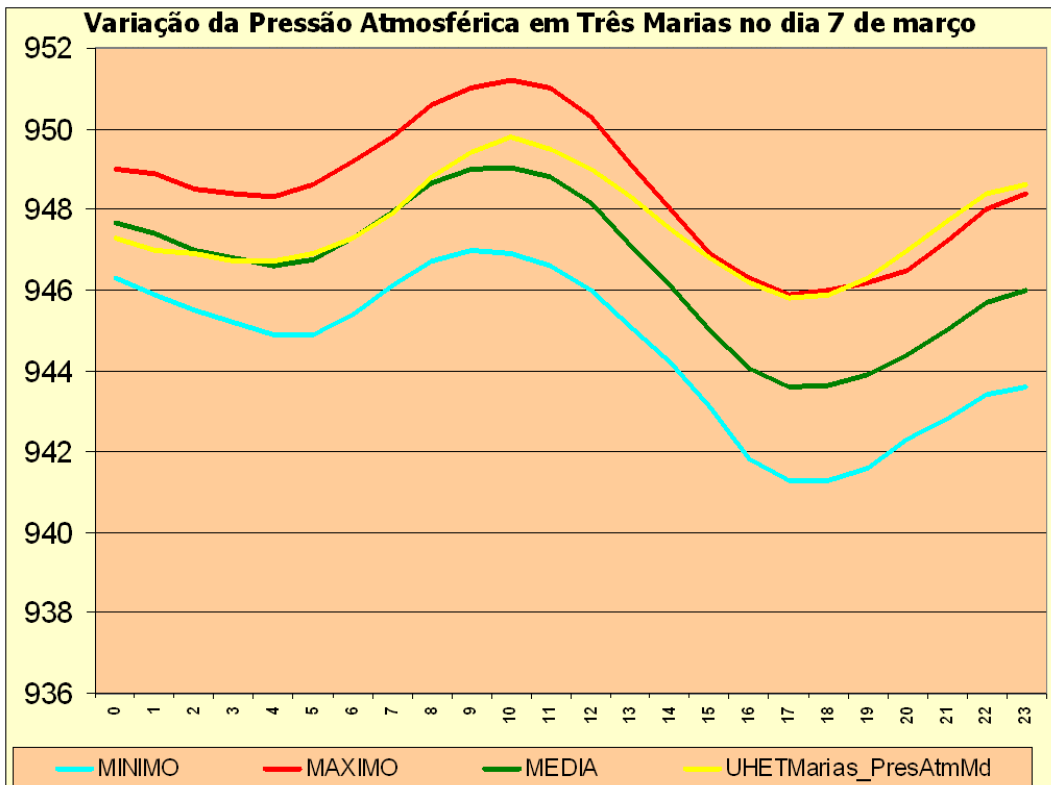
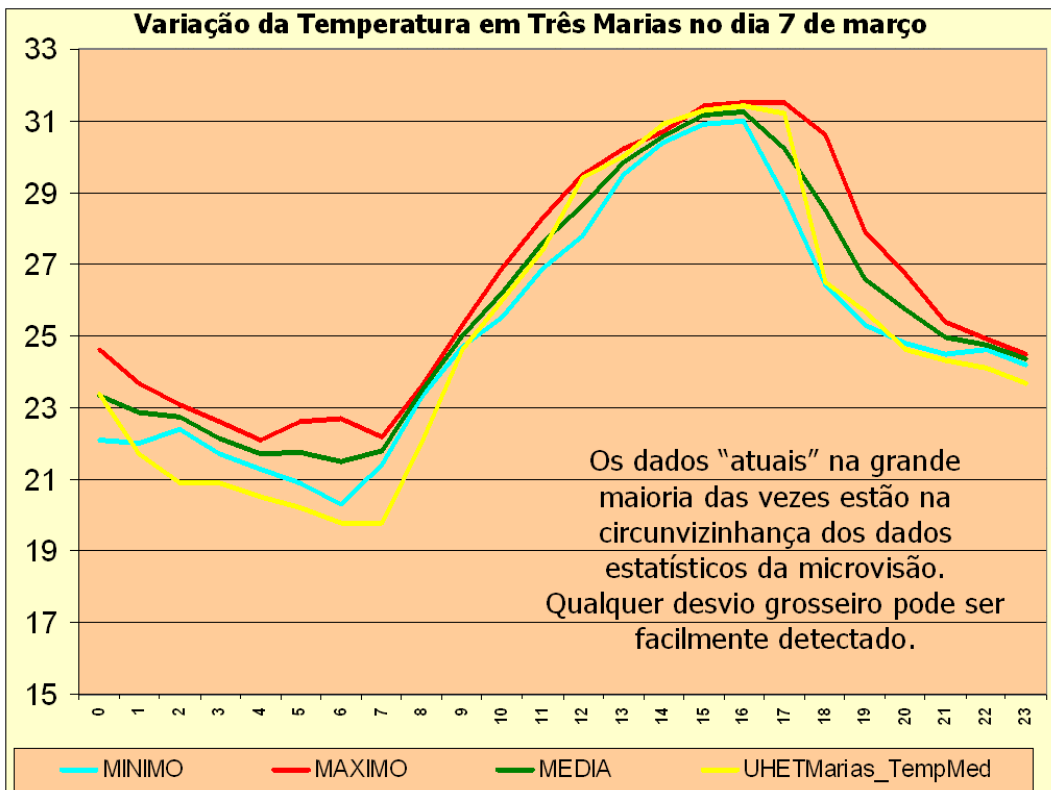
4.4 ANÁLISE MICROSCÓPICA DOS DADOS

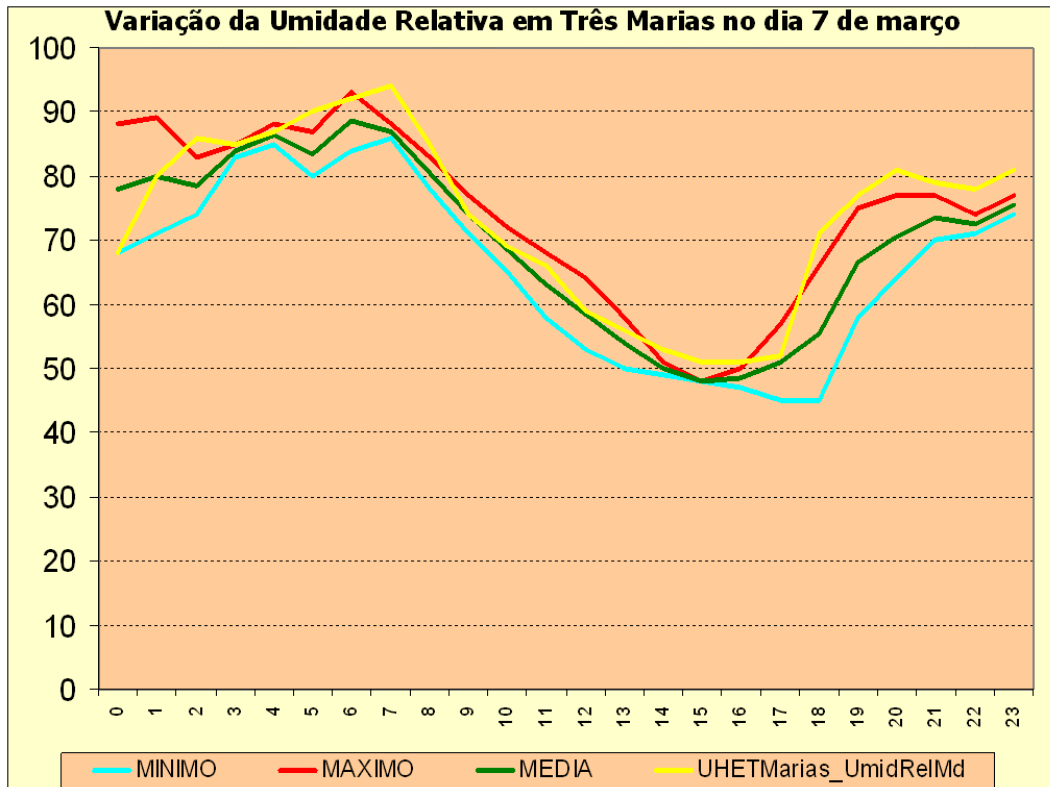
A macro análise descrita na seção anterior focou a perfil da grandeza, para uma determinada data, independente da localização.

Agora, levando-se em consideração uma única localização, pode-se verificar que além da forte similaridade da forma, do perfil da grandeza, existe também certa fidelidade de valores ao longo do dia, tendo como base de avaliação uma data específica do ano para diferentes anos em questão. Estes valores não dispersam muito de um ano para o outro, ficando os valores mais atuais na circunvizinhança de uma faixa relativamente estreita margeada por um valor máximo e um mínimo histórico para o dia específico em questão.

As figuras a seguir mostram este comportamento das grandezas para o dia 7 de março, que no caso foram coletadas pela unidade terminal remota do reservatório da usina de Três Marias desde 1988. Dado este comportamento, qualquer desvio grosseiro pode ser facilmente detectado por algoritmos de comparação de valores.

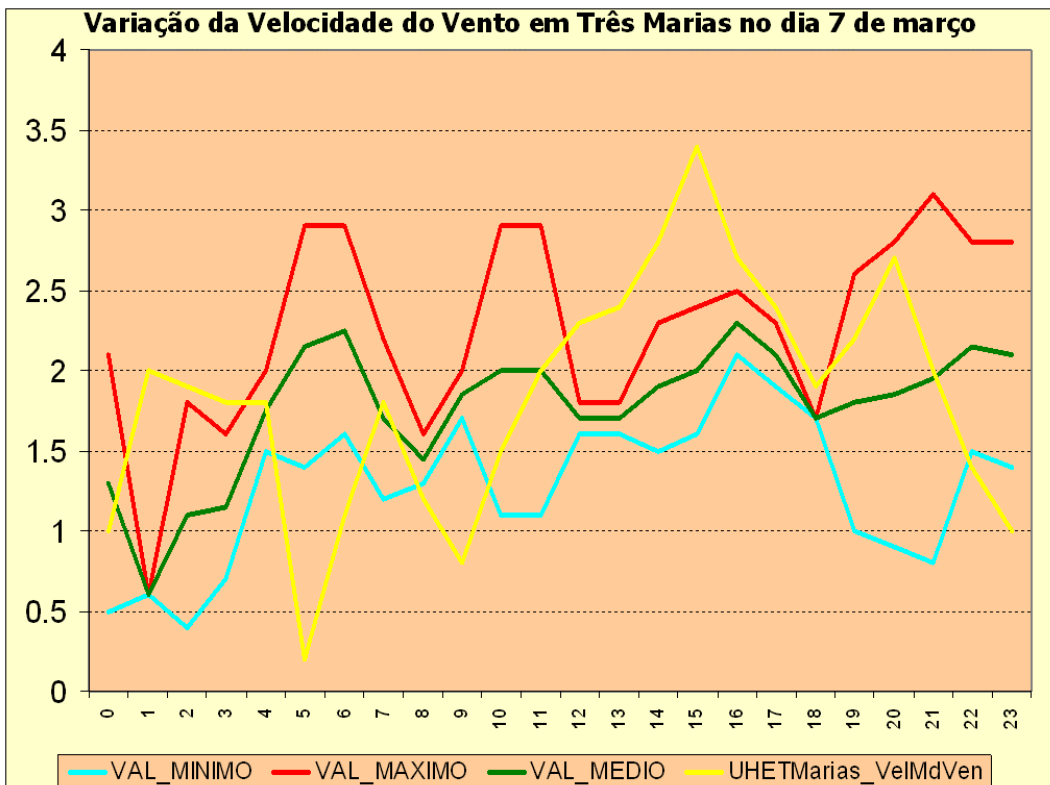
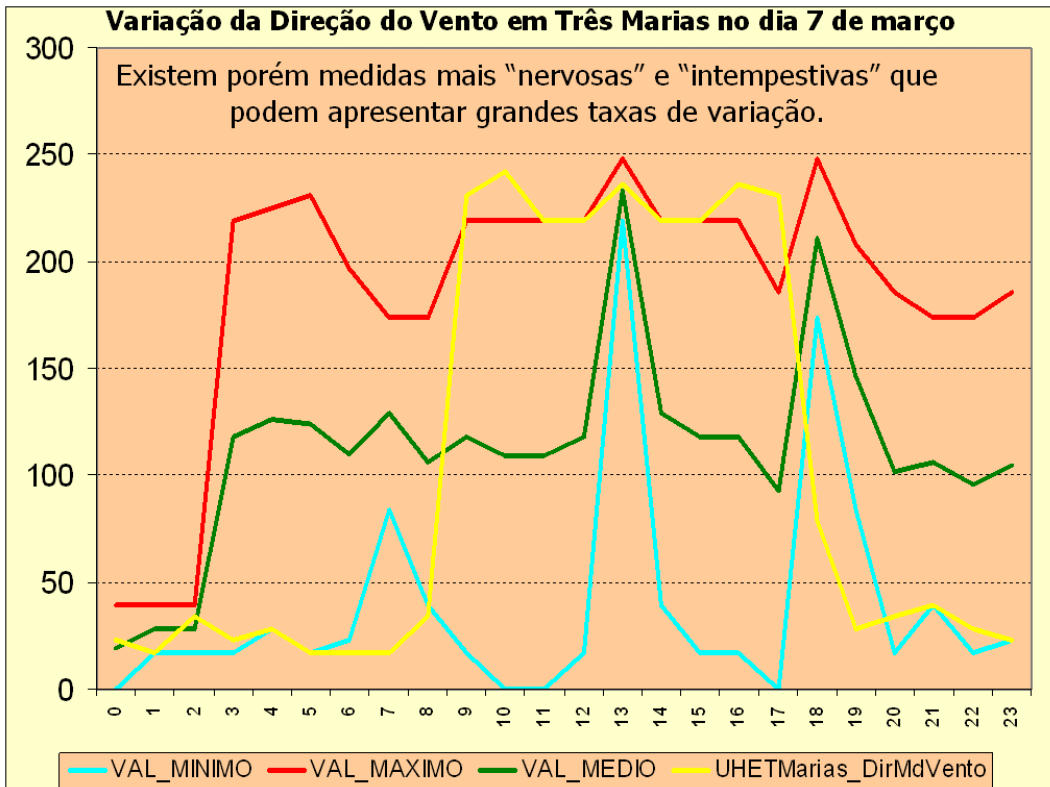






Este comportamento previsível não ocorre para todos os tipos de grandezas, tendo algumas delas um comportamento bastante intempestivo, caso da direção e velocidade do vento. Não é sem fundamento que o indicador de direção do vento é popularmente conhecido como “biruta”.

Nestes casos o tratamento baseado em valores históricos de caráter comportamental é menos efetivo e a eficiência da análise fica comprometida. Para estas grandezas de comportamento mais nervoso, acaba-se contando apenas com as verificações de limites físicos e violações da taxa de variação.

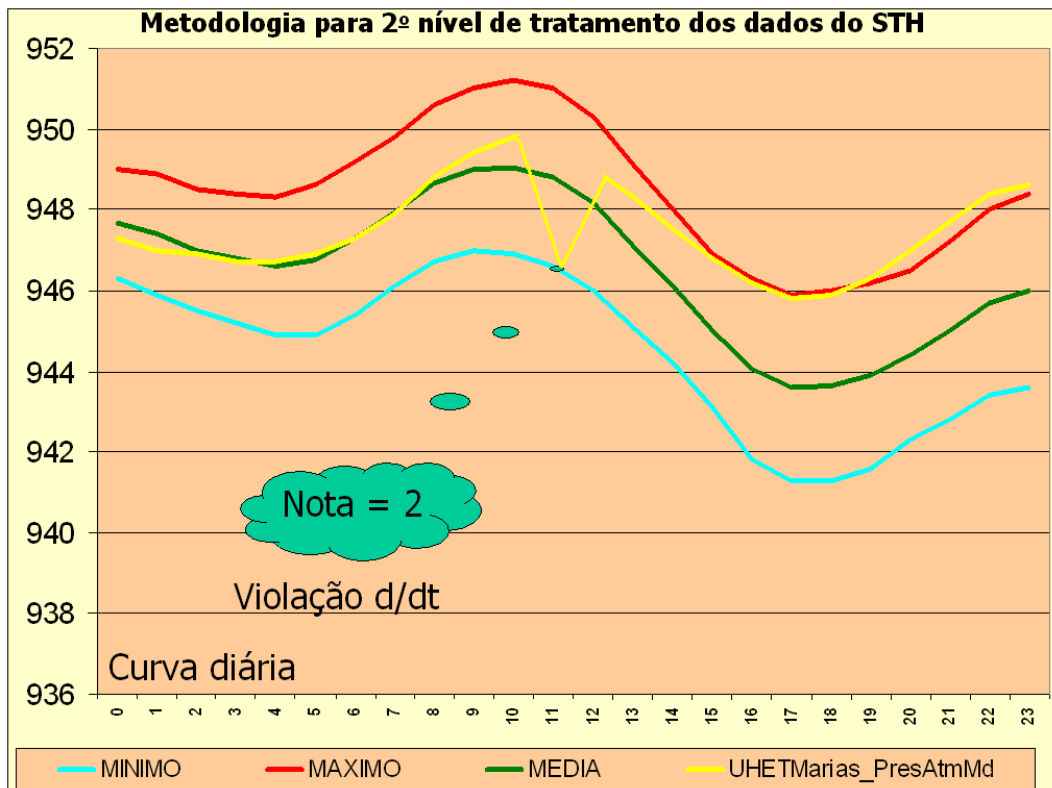


4.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS RECEBIDOS

Conforme descrito anteriormente, a unidade terminal remota faz uma supervisão automática do estado operacional de seus sensores e das condições do posto. Sendo assim definiu-se para o primeiro nível de tratamento que uma medida recebe uma “nota zero” se vem acompanhada de qualquer um dos seguintes qualificadores:

- Medida inválida;
- Sensor defeituoso;
- Sensor desligado;
- Sensor desconectado;
- Remota em manutenção.

Num segundo nível de tratamento, recebe “nota 1” aquela medida que tenha violado seu limite físico e recebe “nota 2” aquela que tenha violado sua taxa de variação admitida como normal. Estes limites foram definidos por grandeza e por localização do posto, nas entrevistas com os hidrólogos e com os meteorologistas da CEMIG, e estão armazenados numa tabela do banco de dados do STH.



O terceiro nível de tratamento baseia-se nos estudos do comportamento das grandezas conforme descrito anteriormente. Para tal, foi criada uma grande tabela com a base de dados histórica horária para cada grandeza de cada posto de medição. Esta tabela armazena os dados estatísticos básicos (máximo, mínimo e média) em base horária, verificados para cada grandeza ao longo do tempo de existência do posto de medição. Sendo assim para cada medida cadastrada existem 8784 registros de máximo, mínimo, média e data de referência (tendo sido arbitrado o ano 2000 para a data de referência), representando cada hora do ano, de 1º de janeiro a 31 de dezembro, o que totalizou 3.015.447 registros estatísticos, avaliados desde 1988. Um exemplo da estrutura desta tabela é mostrado na figura a seguir. Quando uma telemida é recebida pelo sistema de aquisição de dados ela é então confrontada com os dados estatísticos armazenados na tabela, para a data e hora da medição em questão.

COD_ELEMENTO_HIDR	COD_TIPO_INFO	DAT_REFERENCIA	VAL_MINIMO	VAL_MAXIMO	VAL_MEDIO	NUM_ELEM_AMOSTRA	DAT_ATUALIZACAO
33	12	22/12/00 10:00	17	39	33.5	4	01-jan-02
33	16	22/12/00 10:00	554	560.1	557.7	4	01-jan-02
33	18	22/12/00 10:00	945.5	949.5	947.2	4	01-jan-02
33	21	22/12/00 10:00	4.83	7.37	6.2	4	01-jan-02
33	22	22/12/00 10:00	25.1	27.7	26.52	4	01-jan-02
33	25	22/12/00 10:00	61	79	67.75	4	01-jan-02
33	32	22/12/00 10:00	1.6	5.8	3.7	4	01-jan-02
33	55	22/12/00 10:00	0	0	0	3	01-jan-02

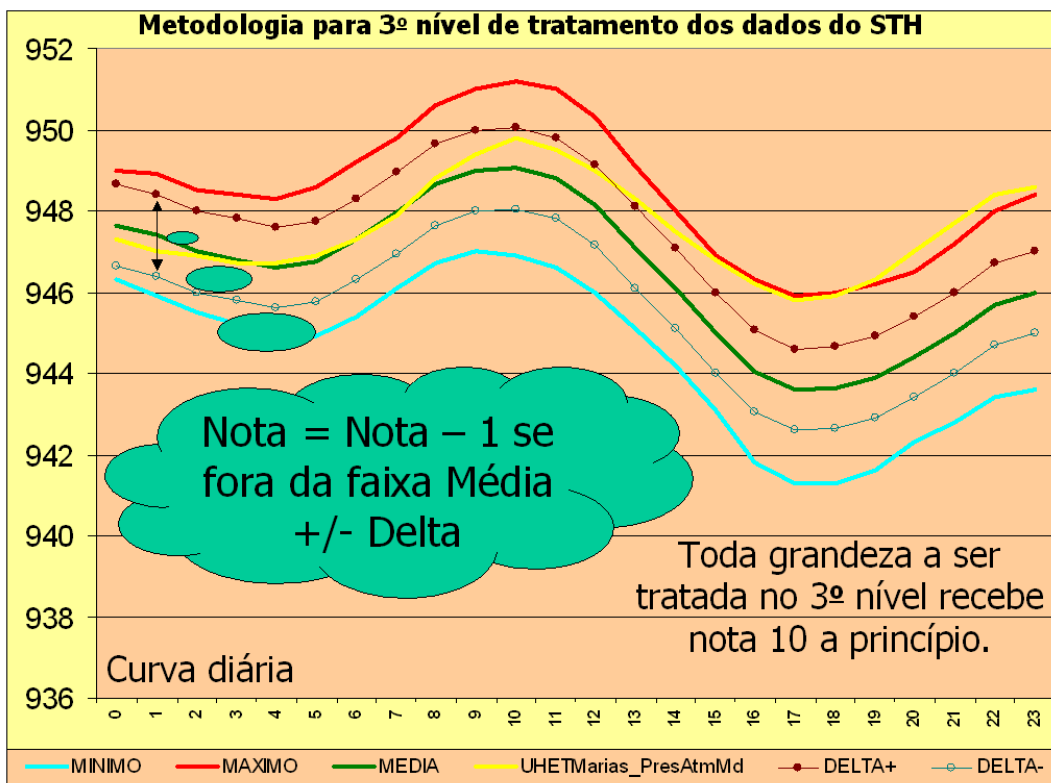
Este terceiro nível de tratamento da grandeza prossegue por várias fases dependendo do nível de qualidade da medida, conforme descrito a seguir.

Se uma medida passou pelos testes de verificação do primeiro e segundo níveis de tratamento, atribui-se a ela a “nota 10” e inicia-se então os testes do terceiro nível. Para cada teste no qual a grandeza seja rejeitada, a nota é subtraída de 1 ponto, assim sucessivamente, até que se chegue ao final da cadeia de testes estatísticos.

No primeiro passo do terceiro nível de tratamento verifica-se se a medida recebida se encontra dentro de uma faixa de valores limitada pela média histórica dos valores para aquela “estampa de tempo” da grandeza (hora e dia),

mais ou menos um “delta”. Se ela se encontra nesta faixa o tratamento se encerra com a medida recebendo “nota 10”. Este valor do delta, inicialmente teve como proposta o desvio padrão do conjunto de medidas disponíveis para o dia e hora associado à grandeza. Porém o número de elementos (medidas) da amostra ainda é muito pequeno, sendo no máximo 9, o que torna o desvio padrão pouco representativo. Decidiu-se então usar inicialmente um valor de delta fornecido pelos hidrólogos e meteorologistas.

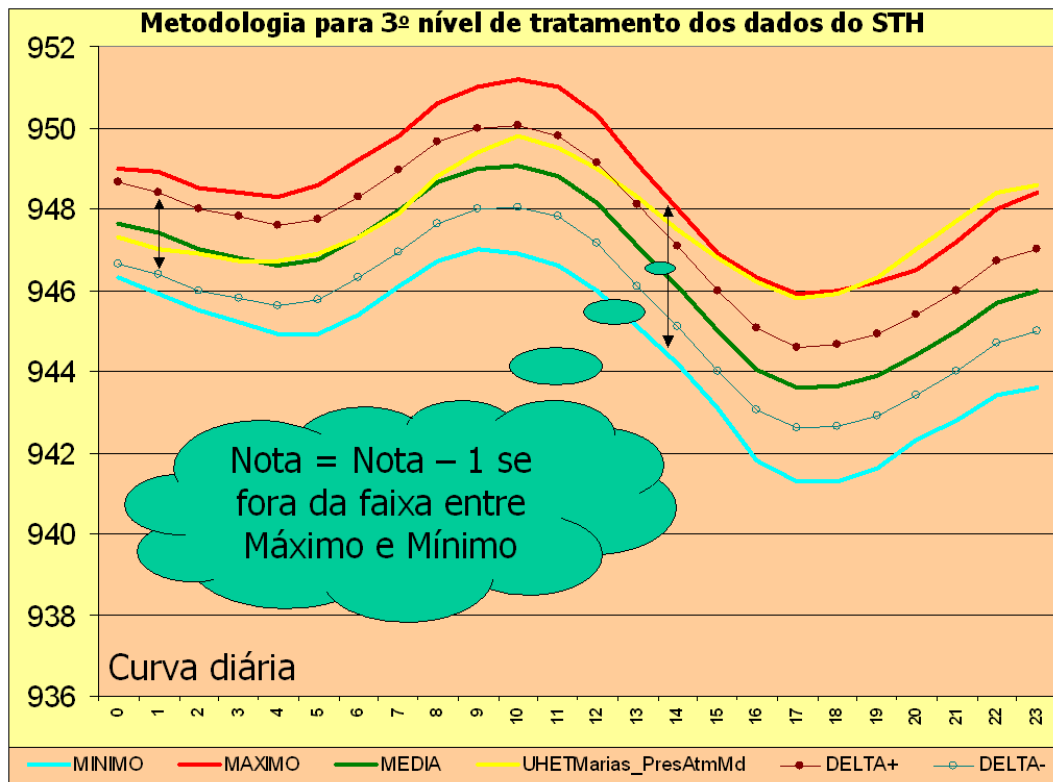
A figura a seguir ilustra este primeiro passo de tratamento da medida recebida, lembrando-se que toda medida que chega ao terceiro nível de tratamento possui inicialmente “nota 10”.



No segundo passo do terceiro nível de tratamento verifica-se se a medida recebida se encontra dentro de uma faixa de valores limitada pelos valores históricos de máximo e mínimo verificados para aquela “estampa de tempo” da grandeza (hora e dia). Se a cadeia de testes alcançou este passo, significa que a medida não passou pelo passo anterior e se encontra com “nota 9”. Estando a medida dentro da faixa de limitação, entre o máximo e mínimo históricos para a hora e dia em questão, o processamento se encerra com a medida sendo

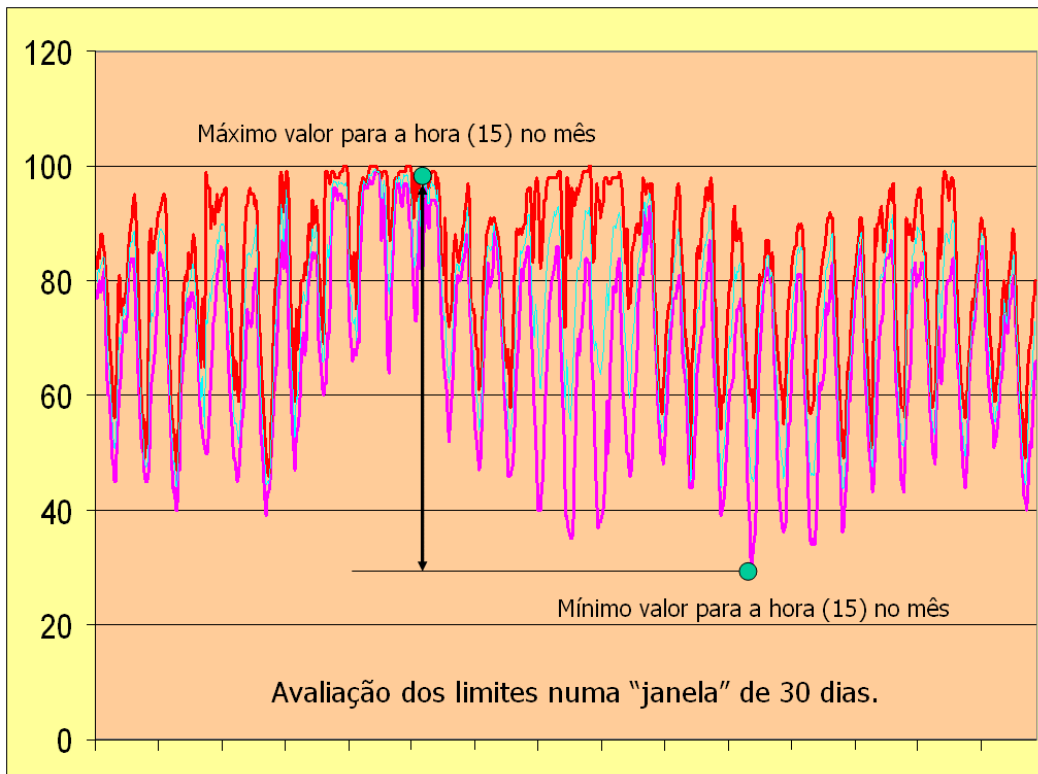
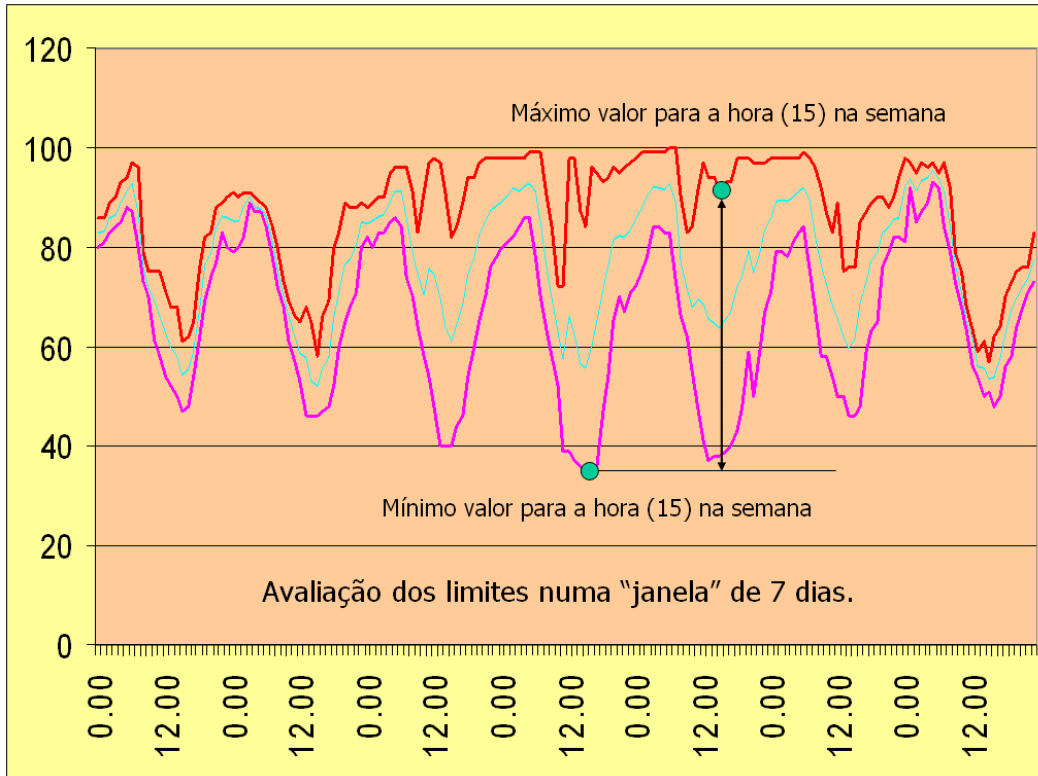
pontuada com a “nota 9” recebida anteriormente, caso contrário ela segue no processo de qualificação.

A figura a seguir ilustra este segundo passo de tratamento da medida recebida, lembrando-se que toda medida que chega ao segundo passo de avaliação possui inicialmente “nota 9”.



Do terceiro passo do terceiro nível de tratamento até o final da cadeia de testes, verifica-se se a medida recebida se encontra dentro de uma faixa de valores limitada pelos valores históricos de máximo e mínimo verificados para uma janela de tempo, que tendo como ponto central o hora e o dia da medida recebida se estende por 7, 30, 90, 180 e 366 dias. Estando a medida dentro da faixa de limitação, entre o máximo e mínimo históricos para a janela de tempo em análise, o processamento se encerra com a medida sendo pontuada com o resultante das subtrações sucessivas de 1 ponto da nota em relação àquela nota recebida no passo anterior. No pior caso, que diz respeito à janela de 366 dias, ou seja, uma janela que cobre todo o histórico anual das estatísticas da medida, a mesma receberá nota 3, indicando que se trata de um novo limite de valor, seja um máximo maximorum ou um mínimo minimorum, e que o valor deve ser observado com maiores critérios.

As figuras a seguir ilustram estes passos de tratamento da medida recebida, que se baseiam numa janela de tempo que se expande proporcionalmente à distância do valor da medida recebida em relação aos valores históricos da mesma.



Arbitrou-se como sendo boa uma medida, aquela que obtivesse uma nota igual ou superior a sete (nota azul) e para as outras iguais ou menores que 6 a nota seria vermelha, indicando que q medida esta muito afastada de seus valores históricos, devendo ser usada com certa cautela ou até mesmo desconsiderada como no caso de nota zero (qualificadores vindos da remota que invalidam a medição), nota 1 (medida viola limite físico) ou nota 2 (medida viola taxa de variação admitida).

Esta cadeia de testes sucessivos pode ser visualizada resumidamente através da figura a seguir, que sumariza a nota da medida baseada na sua “localização” em relação ao seu histórico.

Resumo	...Maximorum	Nota=Nota -1
	Lim. Sup. Hora (90)...	Nota 5
	Lim. Sup. Hora (30 dias)	Nota 6
	Lim. Sup. Hora (7 dias)	Nota 7
	Lim. Sup. Hora	Nota 8
	Média + delta	Nota 9
Média		Nota 10
Média		Nota 10
	Média - delta	Nota 9
	Lim. Inf. Hora	Nota 8
	Lim. Inf. Hora (7 dias)	Nota 7
	Lim. Inf. Hora (30 dias)	Nota 6
	Lim. Inf. Hora (90)...	Nota 5
	...Minimorum	Nota=Nota -1

5 Desenvolvendo os Algoritmos

5.1 INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores foi apresentada a descrição do STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Hidrometeorológico, os trabalhos realizados para a preparação inicial dos dados e a metodologia proposta para o tratamento do dado recebido, é chegada a hora de se desenvolver um software que realize todo o trabalho de mastigação numérica dos dados.

Este software em sua versão final deverá ser integrado aos atuais módulos do STH, sem comprometer o funcionamento do sistema em operação. Para que isso ocorra sem surpresas desagradáveis, todo o cuidado na sua elaboração deverá ser tomado e exaustivos testes deverão ser realizados antes de sua integração definitiva no sistema de produção. Para tanto, deverá existir uma fase de homologação que garanta o perfeito funcionamento do produto final, objetivo deste trabalho.

5.2 CONDIÇÕES EXISTENTES

O STH foi originalmente desenvolvido utilizando-se como plataforma o sistema operacional Microsoft Windows NT 4.0, baseando-se numa arquitetura cliente-servidor e na análise e programação orientada a objetos. Os códigos dos algoritmos foram escritos em três diferentes linguagens, C++, Fortran e Visual Basic 6.0 e o gerenciador da base de dados era o Oracle.

Com o passar do tempo a plataforma inicial foi sofrendo alterações, sem se alterar o software original, e passou pelo Microsoft Windows 2000 e atualmente está no Windows 2003 Standard Server. O gerenciador de base de dados é agora o SQL Server da Microsoft.

Em 2006, a interface homem máquina do sistema foi migrada para a padrão WEB, acessada através da intranet da CEMIG via Internet Explorer,

tendo sido reescrita na linguagem C#, conforme detalhado no Capítulo 2 desta monografia.

5.3 ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO

Para validar a idéia da metodologia de qualificação dos dados, detalhada no Capítulo 4, foi construído um programa que executa todo o procedimento de validação proposto. Este programa, entretanto, funciona de forma off-line, desacoplado dos aplicativos que compõem os diversos módulos computacionais do STH.

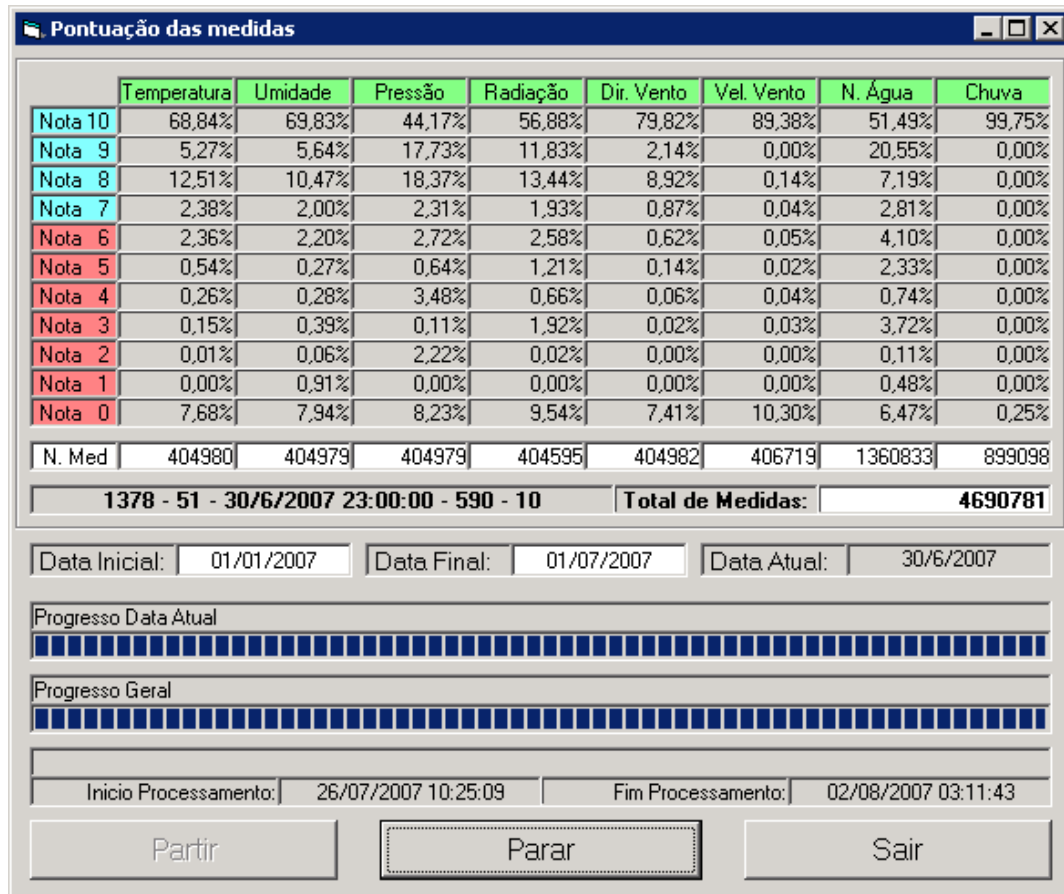
A linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento deste programa foi o Visual Basic 6.0, por ser uma das linguagens usadas no desenvolvimento de diversos programas que compõem o sistema de telemetria.

O desenvolvimento deste protótipo inicial permitiu a realização de testes de desempenho e a mensuração do impacto causado na desempenho do sistema como um todo. Bem como possibilitou medir o consumo e recursos do servidor do sistema e do servidor do banco de dados, necessários à realização dos processamentos de validação da grandeza telemedida.

Após diversos testes com o protótipo desenvolvido, verificou-se que a metodologia proposta se mostrou bastante acertada. A partir daí, iniciou-se o desenvolvimento da ferramenta definitiva a ser integrada ao sistema, fazendo a qualificação dos dados recebidos de forma on-line e em tempo real.

A estratégia adotada para o desenvolvimento do aplicativo definitivo foi a de criação de uma DLL (Dynamic Link Library) de forma que possa ser acoplada aos diversos módulos do STH que necessitem validar um dado telemedido, como por exemplo o SCADA, principal usuário da DLL proposta, uma vez que é o módulo responsável pela recepção das mensagens de comunicação que transportam os dados telemedidos. Além do SCADA outros módulos podem se beneficiar do tratamento de dados, como por exemplo, o módulo de cálculos, o monitorador de inequações, o de interface com outros sistemas dentre outros.

A figura a seguir mostra a tela principal do protótipo desenvolvido para a validação inicial da idéia apresentada nesta monografia, estratificando as grandezas avaliadas baseando-se nas notas recebidas por cada uma delas.



O desenvolvimento do aplicativo para funcionamento off-line permitiu verificar a validade da metodologia proposta para a qualificação dos dados telemidados além de permitir a realização de testes de desempenho e de medições de consumo de recursos do sistema computacional. Em média, pode-se observar que o tempo para qualificação de uma grandeza fica em torno de 125 milésimos de segundo, considerado adequado para a proposta do mesmo.

5.4 TAREFA DE PÓS-PROCESSAMENTO

À medida que os dados vão sendo recebidos pelo sistema de telemetria, qualificados e armazenados no banco de dados, um grande volume de medidas passa a estar disponível para a atualização dos dados estatísticos. Desta forma

foi necessário desenvolver uma ferramenta que atualize a tabela de estatísticas com as novas amostras.

Como um dado estatístico atualizado só servirá para a validação do dado de mesma data do ano seguinte, não se mostrou necessário o desenvolvimento de uma aplicação de tempo real. Foi então desenvolvido um programa que é executado sob demanda para a atualização da tabela de estatísticas. Este programa permite definir a nota mínima, separadamente por tipo de grandeza, admitida para a realização da atualização da tabela principal de estatísticas.

A figura a seguir mostra a tela principal programa utilizado para a atualização das estatísticas das grandezas.

Temperatura	Umidade	Pressão	Radiação	D'Vento	V'Vento	N'Água
3	3	3	3	3	3	3

Início: 01/07/2007 Fim: 01/08/2007

74 - 18 - 1/7/2007 01:45:00 - 933,2 - 8

Iniciar

6 Resultados Encontrados

6.1 INTRODUÇÃO

O trabalho para tratamento inicial dos dados forneceu uma excelente visão sob o aspecto meteorológico, do estado de Minas Gerais. Além disso, foram verificados diversos aspectos típicos da implantação de uma plataforma de coleta de dados do porte do STH. Este capítulo descreve algumas ocorrências interessantes, percebidas durante as análises.

6.2 UM ESTADO DE TEMPERATURAS AMENAS

A tabela a seguir mostra um resumo de uma amostra de dados de temperatura verificados durante a fase de tratamento inicial das grandezas. O número de elementos da amostra é de 939.048 medidas.

TEMPERATURAS	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
<i>Valores Mínimos</i>	-2,00	29,20	17,98	2,31
<i>Valores Máximos</i>	13,00	40,50	25,86	5,53
<i>Valores Médios</i>	5,29	35,96	22,40	3,61
<i>Desvio Padrão</i>	3,51	2,57	1,98	0,75

Os dados referentes à temperatura do ar produziram algumas ocorrências inusitadas, dentre elas a ocorrência de temperaturas de 0° (zero graus) em localidades onde normalmente temos um calor intenso. É claro que se tratam de medições equivocadas, oriundas de sensores defeituosos ou de manutenções realizadas nas unidades terminais remotas sem a devida sinalização para o sistema de recepção de dados. Essa possibilidade de ocorrência é possível durante a fase de implantação e montagem dos equipamentos no campo.

Alguns poucos postos registraram temperaturas incompatíveis com sua localização geográfica, conforme tabela a seguir:

Dados inconsistentes de Temperatura coletados pelos postos do STH

LOCALIZACAO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO	AMOSTRA
Fazenda Campo Grande	0,00	31,60	19,00	4,99	24.215
UHE Três Marias	0,00	36,70	23,60	3,94	41.738

6.3 UMIDADE DO AR PODE GERAR ALERTA

Temperatura e umidade estão sempre relacionadas e como foram verificados para a temperatura os níveis médios da umidade relativa do ar são bastante adequados. Porém nos meses de estiagem os valores podem alcançar níveis alarmantes. A tabela a seguir mostra um resumo de uma amostra de dados de umidade relativa do ar verificados em alguns postos durante a fase de tratamento inicial das grandezas. O número de elementos da amostra completa é de 882.900 medidas.

Dados de Umidade coletados pelos postos do STH

	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO
<i>Valores Mínimos</i>	0,00	98,00	60,14	16,36
<i>Valores Máximos</i>	26,00	100,00	78,10	23,20
<i>Valores Médios</i>	12,37	99,87	69,42	19,68
<i>Desvio Padrão</i>	6,42	0,43	5,13	1,72

LOCALIZACAO	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESVIO	AMOSTRA
Carmo de Minas	12,00	100,00	75,64	21,38	29.611
Coa - Belo Horizonte	11,00	100,00	71,85	17,84	141.627
Curvelo	8,00	99,00	61,79	19,94	24.353
Diamantina	10,00	100,00	74,32	18,13	26.240
Fazenda Campo Grande	0,00	100,00	75,50	20,17	24.219
Fazenda Energetica Uberaba	0,00	100,00	65,39	21,02	27.744
Felisburgo	26,00	100,00	77,74	16,36	24.198
Januária	12,00	100,00	63,84	22,95	28.223
Juiz de Fora	18,00	100,00	76,64	17,53	23.601
Paracatu	17,00	100,00	70,48	17,98	22.260
Passos	12,00	100,00	65,17	19,65	28.169
Quartel Geral	13,00	100,00	68,22	20,59	28.852
Salinas	13,00	98,00	64,09	20,37	23.053
São Pedro da Ponte Firme	16,00	100,00	67,04	19,56	23.981
São Roque de Minas	0,00	100,00	63,56	23,20	29.403
Turmalina	15,00	100,00	68,99	20,61	23.720
UHE São Simão	10,00	100,00	65,27	21,41	29.204
UHE Três Marias	0,00	100,00	65,39	18,93	41.588

Também nas medidas de umidade relativa do ar se verificam algumas inconsistências, conforme destacadas na tabela, que podem ser atribuídas as causas citadas anteriormente.

6.4 UM BUG DETECTADO

Durante o tratamento de amostras de dados de radiação solar acumulada foram verificadas algumas anomalias que ocorreram devido a um problema em alguns micro-códigos de software instalados na remota. A radiação solar que deveria ser acumulada até a meia-noite e “resetada” neste horário, em alguns casos continuava acumulando a partir do nascer do sol, alcançando valores impraticáveis. Este bug foi então corrigido pelo fornecedor do hardware que gerou uma nova versão do firmware.

A tabela a seguir ilustra esta ocorrência, indicada pelo valor máximo dos valores máximos observados.

Dados de Radiação Solar Acumulada coletados pelos postos do STH
Número de elementos da amostra 883.394

	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIO	DESVIO
Valores Mínimos	0,00	28,78	7,75	8,03
Valores Máximos	0,00	99,99	11,06	12,20
Valores Médios	0,00	35,99	9,71	9,00
Desvio Padrão	0,00	17,45	0,62	0,78

6.5 OS PROBLEMAS COM MEDIÇÃO DE NÍVEL D'ÁGUA

Conforme descrito anteriormente, os sensores de nível d'água do tipo pressão, não se deram bem em águas mineiras e tiveram que ser substituídos pelos do tipo bóia e contra-peso. Esses problemas com os sensores do tipo pressão foram facilmente percebidos durante os trabalhos de tratamento inicial dos dados conforme ilustra a tabela a seguir. Foram avaliados 1.601.307 medidas de nível de água de rios e de reservatórios.

Dados de Nível d'Água coletados pelos postos do STH

LOCALIZACAO	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESVIO	AMOSTRA
Abadia dos Dourados	1,00	99,00	2,79	1,46	15.186
Abaixo da Barra do Rio Verde	1,74	4,36	2,41	0,39	24.014
Aiuruoca	1,08	7,93	1,45	0,39	25.282
Barra do Escuro	0,00	8,13	3,99	1,13	22.125
Bom Jardim de Minas	0,55	4,63	0,95	0,34	26.433

Caatinga	0,00	5,34	2,50	0,83	25.681
Cachoeira do Gambá	0,00	3,59	1,44	0,25	17.979
Fazenda Boa Vista de Goiás	0,00	5,28	1,21	0,41	10.264
Fazenda Bonita de Baixo	0,00	5,85	1,99	0,49	7.920
Fazenda Meloso	1,37	4,67	1,95	0,39	26.137
Fazenda Nova do Turvo	0,00	5,09	0,98	0,60	15.876
Fazenda Ouro Fino	0,00	4,73	0,53	0,34	16.099
Fazenda São Domingos	0,00	4,01	0,71	0,27	23.176
Ibituruna	0,95	8,83	1,71	0,81	48.251
Iguatama	1,03	74,00	3,18	2,44	48.188
Itumirim	1,20	75,00	1,59	0,30	49.761
Macaia	0,32	76,00	1,13	0,52	49.719
Major Porto	0,00	4,43	1,05	0,50	14.516
Patos de Minas	0,00	6,73	0,97	0,60	21.814
Pirapora	0,00	3,84	2,61	0,23	32.588
Ponte Br 040	0,00	4,87	0,84	0,34	44.335
Ponte Br 146	2,25	6,28	3,03	0,46	26.777
Ponte do Prata	0,00	2,81	0,47	0,17	12.508
Ponte do Rio Verdão	0,00	1,84	0,82	0,18	16.502
Ponte dos Vilelas	0,00	5,21	1,18	0,44	45.896
Ponte Goiás 206	0,00	5,33	1,27	0,35	11.684
Ponte Nova do Paraopeba	0,00	20,00	1,17	1,14	10.686
Ponte São Marcos	0,00	3,96	1,09	0,45	17.513
Porto Cavallo	1,50	6,99	2,79	1,10	24.439
Porto das Andorinhas	0,00	4,13	1,59	0,30	18.039
Porto Dos Pereiras	0,00	3,38	0,79	0,26	34.247
Porto Indaiá	1,54	6,91	2,67	0,35	32.406
Porto Mesquita	0,00	10,31	3,18	0,86	18.224
Porto Pará	0,00	4,62	1,47	0,55	22.890
Porto Tiradentes	0,18	3,41	0,61	0,31	45.999
Ribeirão Vermelho	0,00	4,56	0,70	0,42	20.345
Santo Hipólito	0,71	6,26	1,51	0,68	22.295
Três Marias Jusante	0,00	8,79	1,14	0,28	19.516
UHE Cajuru	745,03	752,99	750,40	0,95	49.082
UHE Camargos	901,88	910,57	906,14	1,56	24.152
UHE Emborcação	0,00	647,10	609,41	69,49	29.542
UHE Igarapava	509,00	515,42	512,04	0,12	17.663
UHE Jaguará	550,00	558,40	556,92	0,50	30.008
UHE Machado Mineiro	11,51	686,78	668,04	48,91	22.100
UHE Miranda	0,00	696,00	543,88	128,87	28.696
UHE Nova Ponte	775,31	814,76	792,63	5,15	29.853
UHE Peti	705,63	712,09	709,53	1,56	47.495
UHE Rio de Pedras	894,90	898,79	895,65	0,51	28.951
UHE Salto Grande	348,42	355,95	353,40	1,27	26.570
UHE Salto Grande - SA	358,16	362,08	359,90	1,11	28.275
UHE São Simão	370,00	400,87	396,50	1,41	23.487
UHE Três Marias	516,29	569,30	558,68	6,01	46.813
UHE Volta Grande	492,48	494,67	493,16	0,46	27.807

Os dados recebidos foram confrontados com os limites mínimo e máximo conhecidos historicamente para cada posto e as medições inconsistentes foram desconsideradas.

Com a substituição dos sensores do tipo pressão pelo tipo bóia e contra-peso os problemas de medição de nível foram solucionados de forma definitiva.

6.6 SÍNTESE QUANTITATIVA DA QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

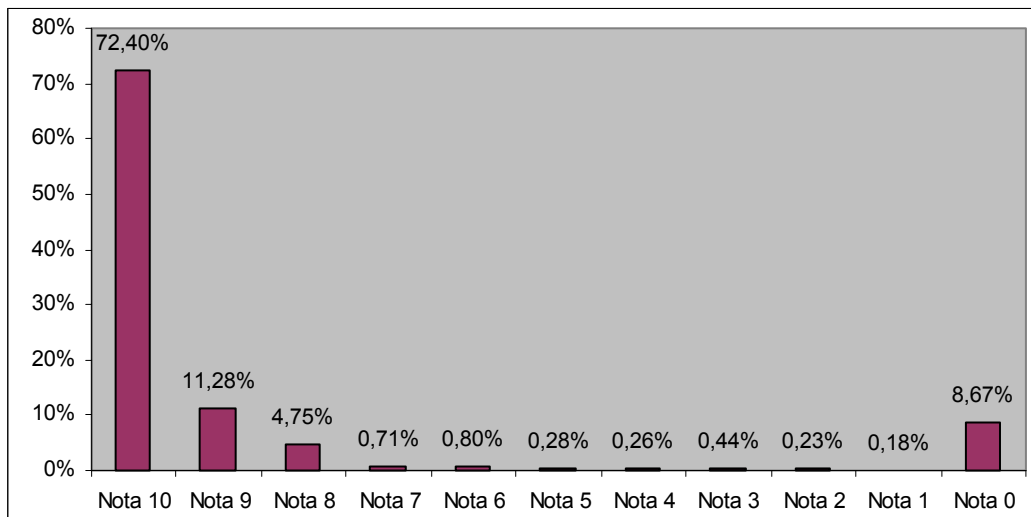
Após os trabalhos iniciais de tratamento dos dados para a eliminação das inconsistências evidentes, foram desenvolvidos os algoritmos descritos no Capítulo 5 baseados na metodologia descrita no Capítulo 4 e então o aplicativo de qualificação off-line foi executado para efetuar a verificação de toda a base de dados histórica disponível desde 1998 até o final do ano de 2006, o que totalizou 32.126.631 (trinta e dois milhões cento e vinte e seis mil seiscentas e trinta e uma medidas). Os resultados obtidos são mostrados nas tabelas a seguir.

	Temperatura	Umidade	Pressao	Radiacao	DVento	VVento	NivelDagua	Chuva
Nota 10	2.692.581	2.747.656	1.741.198	2.298.869	3.166.409	3.428.887	2.056.636	5.127.986
Nota 9	380.412	354.611	1.016.320	563.818	86.526	937	1.221.769	0
Nota 8	263.134	228.185	442.827	294.433	146.056	3.507	148.402	0
Nota 7	36.298	29.982	46.963	53.475	15.998	1.139	45.303	0
Nota 6	27.776	23.271	43.285	74.542	10.542	1.369	75.677	0
Nota 5	7.412	6.251	11.914	30.644	2.628	771	29.759	0
Nota 4	5.942	5.758	4.784	31.282	1.134	1.091	34.462	0
Nota 3	8.186	6.443	16.908	69.793	355	1.379	37.232	0
Nota 2	2.314	1.589	62.314	2.187	0	23	5.786	79
Nota 1	12	23.612	7.605	1.883	0	3	23.372	1
Nota 0	397.470	394.155	427.396	389.672	391.808	391.785	350.592	42.066
Soma:	3.821.537	3.821.513	3.821.514	3.810.598	3.821.456	3.830.891	4.028.990	5.170.132

	Temperatura	Umidade	Pressao	Radiacao	DVento	VVento	NivelDagua	Chuva
Nota 10	70,46%	71,90%	45,56%	60,33%	82,86%	89,51%	51,05%	99,18%
Nota 9	9,95%	9,28%	26,59%	14,80%	2,26%	0,02%	30,32%	0,00%
Nota 8	6,89%	5,97%	11,59%	7,73%	3,82%	0,09%	3,68%	0,00%
Nota 7	0,95%	0,78%	1,23%	1,40%	0,42%	0,03%	1,12%	0,00%
Nota 6	0,73%	0,61%	1,13%	1,96%	0,28%	0,04%	1,88%	0,00%
Nota 5	0,19%	0,16%	0,31%	0,80%	0,07%	0,02%	0,74%	0,00%
Nota 4	0,16%	0,15%	0,13%	0,82%	0,03%	0,03%	0,86%	0,00%
Nota 3	0,21%	0,17%	0,44%	1,83%	0,01%	0,04%	0,92%	0,00%
Nota 2	0,06%	0,04%	1,63%	0,06%	0,00%	0,00%	0,14%	0,00%
Nota 1	0,00%	0,62%	0,20%	0,05%	0,00%	0,00%	0,58%	0,00%
Nota 0	10,40%	10,31%	11,18%	10,23%	10,25%	10,23%	8,70%	0,81%
Soma:	100	100	100	100	100	100	100	100

Fazendo-se uma totalização por nota obtivemos a situação ilustrada a seguir.

	Geral	%
Nota 10	23.260.222	72,40%
Nota 9	3.624.393	11,28%
Nota 8	1.526.544	4,75%
Nota 7	229.158	0,71%
Nota 6	256.462	0,80%
Nota 5	89.379	0,28%
Nota 4	84.453	0,26%
Nota 3	140.296	0,44%
Nota 2	74.292	0,23%
Nota 1	56.488	0,18%
Nota 0	2.784.944	8,67%
Soma:	32.126.631	100,00



6.7 ANÁLISE QUALITATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS

A situação ilustrada pelo gráfico da seção anterior mostra que sob o ponto de vista de qualidade da telemedicação, o sistema vem se comportando muito bem. Apesar disso, um número elevado de medições classificadas entra as notas 1 e 2 mereceu atenção por parte das equipes responsáveis pela manutenção dos sistemas de medição.

A maior intensidade na ocorrência de problemas foi verificada no segundo semestre de 1998, o que é justificado por este ser o período quando

ocorreu o maior volume de implantações de estruturas para coleta de dados hidrometeorológicos nos mais diversos pontos de Minas Gerais e alguns de Goiás. Nesta fase inicial de implantação do sistema muitos testes foram realizados para a validação de todas as funcionalidades das partes integrantes do projeto e nestes testes muitas medidas fictícias foram enviadas para o sistema central de processamento de dados.

Posteriormente à fase inicial de implantação da plataforma de coleta de dados, ocorreu uma estabilização na quantidade de medidas criticadas como inadequadas para utilização pelos outros processos que compõem o STH. Ocorreram alguns picos isolados de indicações de falhas na medição de nível d'água quando da ocorrência do problema associado aos medidores de nível baseados na pressão da coluna de água, já descrito anteriormente.

De maneira geral o sistema de medição tem se comportado muito bem tendo em vista que praticamente 90% das telemidições obtiveram nota superior a sete, índice considerado adequado para os propósitos do sistema.

7 Conclusões e Propostas de Continuidade

7.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo encerra esta monografia e apresenta algumas propostas de continuidade do trabalho com vistas para o maior aproveitamento das séries de dados geradas pelo sistema de qualificação desenvolvido para o STH – Sistema de Telemetria e Monitoramento Meteorológico. O aplicativo criado para a qualificação de dados em tempo real foi colocado em operação e estas séries de dados qualificados estão crescendo continuamente.

7.2 NOVAS UTILIDADES PARA O SISTEMA QUALIFICADOR

O uso do aplicativo de qualificação de dados e da base estatística gerada pelo mesmo acabou mostrando outras utilidades tais como alertar os responsáveis pela manutenção da plataforma sobre a necessidade de manutenções preventivas e corretivas nos coletores de dados, quando para determinado posto, passa-se a receber-se telemidas com notas muito baixas.

Além da função descrita no parágrafo anterior, optou-se por fazer uma qualificação para os dados resultantes de cálculos realizados por outros módulos do sistema, nesta qualificação, a menor nota dada a uma parcela é atribuída ao resultado do cálculo, indicando ao cliente da informação que aquele resultado deve ser tomado com precaução. Este novo atributo da medida em análise é então levado em consideração quando da realização de simulações do comportamento de reservatórios, do monitoramento de inequações e da geração de mensagens dentre outros.

7.3 A QUALIDADE DO DADO COM FOCO NO CLIENTE

O STH, de forma direta e indireta, é uma fonte de dados hidrometeorológicos para um grande número de clientes internos e externos à CEMIG, que extraem destes dados as mais diversas informações. Dentre os principais clientes externos podemos citar a ANA – Agência Nacional das Águas, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, o ONS – Operador Nacional do Sistema, o CPTEC - ???, o INPE - ???, os Órgãos de Defesa Civil de inúmeras prefeituras, órgãos de imprensa dentre outros. Além destes existem inúmeros clientes internos das mais diversas áreas da CEMIG que se utilizam dos dados das mais diversas formas, seja para o suporte de informações a projetos dos mais diversos até ao suporte à teses acadêmicas e projetos de pesquisa e desenvolvimento.

O sistema de qualificação de dados, de forma transparente e anônima, ajuda a garantir um nível e qualidade no que diz respeito à informação fornecida, assegurando ou informando ao cliente sobre o grau de confiança do dado e possibilitando a ele caso se deseje, a elaboração de filtros para dados considerados ruins quando da criação de relatórios e consultas.

7.4 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Acredito que o trabalho não se encerra aqui. Esta monografia apresentou uma idéia e o produto dela originado com certeza não é intocável e pode ser melhorado e enriquecido em diversos aspectos, através da incorporação de novas funcionalidades. Na medida em que as bases de dados históricos vão crescendo e conseqüentemente vão crescendo os tamanhos das amostras de dados, os dados estatísticos das mesmas vão se tornando cada vez mais consistentes e acabarão permitindo novas possibilidades de processamento de dados.

Uma proposta possível é a da utilização dos dados históricos para a realização de testes de hipótese com diferentes níveis de incertezas, a fim de se construir um previsor on-line de valores futuros para as grandezas hidrometeorológicas, através do qual se poderia traçar curvas indicativas das

faixas limites de variação mais prováveis para determinada grandeza para uma data específica em estudo.

Uma outra é a de utilização desta idéia em outros sistemas de medição que tenham como o STH uma grande massa de dados históricos e que necessitem que uma forma de ter uma idéia sobre a qualidade do dado.

Ainda sob o aspecto de continuidade, seria muito interessante a integração da imensa base de dados gerada com aplicativos e sistemas de visualização e análise gráfica de dados.

7.5 PALAVRAS FINAIS

Esta monografia apresentou uma idéia simples e deu origem a um produto que agregou valor a um sistema de supervisão e monitoramento de dados. Sem o uso de algoritmos complexos e computacionalmente exigentes ofereceu aos usuários do sistema certo nível de confiança nos dados apresentados.

Muitas vezes não damos atenção às propostas simples de solução de problemas quando, na verdade, são elas que melhor resolvem a questão sob todos os aspectos. Ser melhor não necessariamente significa ser mais sofisticado. Muitas vezes nos deparamos com situações onde optar por menos significa sair ganhando mais. Quando algo se torna muito complicado, certamente há algo errado e existe um caminho menos penoso a ser seguido. Cabe a nós a capacidade e a competência de encontrar este caminho.

8

Referências Bibliográficas

- Gray, D. M. - Handbook on the Principles of Hydrology, McGraw-Hill, 1970.
- Chaves, A. G. M.; Setti, A. A. ; Pereira, I. C. ; Lima, J. E. F. - Introdução Ao Gerenciamento De Recursos Hídricos, ANEEL-ANA, 2001.
- Leite, E. A.; Pessoa, M. L. ; Mine, M. R. M. - Meteorologia e Hidrologia - Aspectos e Considerações no Contexto Brasileiro, COPEL, 1994.
- Braga Jr., B. P. F. ; Tucci, C. E. M. ; Pompeu, C. T.; Barth, F. T.; Fill, H. D.; Kelman, J. - Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos, Nobel/ABRH, 1987.
- El Tiempo Y El Agua - Organizacion Meteorologica Mundial, Secretaría De La Organización Meteorológica Mundial, OMM, 1977.
- Triola, M. F. - Introdução À Estatística, LTC, 1999.
- Martins, G. A.; Fonseca, J. S. - Curso de Estatística, Atlas, 1982.
- Gomes, F. P. - Curso de Estatística Experimental, Nobel, 1982.
- Spiegel, M. R. - Estatística, Schaum Publishing Company, McGraw-Hill, 1984.
- Costa Neto, P. L. O. - Estatística, Edgard Blucher, 1977.
- Jeffrey, C.; Downing, D. - Estatística Aplicada, Saraiva, 2001.
- Toledo, L. G.; Martins, G. A.; Fonseca, J. S. - Estatística Aplicada, Atlas, 1980.