

Unidade Remota de Telegestão e Controlo da Qualidade da Água

Isabel Veiga, Pedro Claro, Osvaldo Pacheco, Ernesto Martins

Resumo - Este documento descreve o projecto e a implementação de uma unidade remota, para telegestão e monitorização da qualidade da água.

A unidade remota permite a aquisição de sinais analógicos e digitais, o armazenamento de dados e o controlo de actuadores. Inclui três tipos de módulos : o Módulo Principal, o Módulo de Comunicações e o Módulo I/O, ligados entre si por um barramento CAN.

A unidade remota implementada possui uma arquitectura modular assente sobre uma rede CAN que permite a comunicação entre os módulos constituintes, possibilitando a utilização de um sistema mínimo composto apenas por um módulo principal e um módulo I/O, sendo expansível até uma configuração máxima de um módulo principal, um módulo de comunicações e seis módulos I/O.

Abstract - Today, public health issues and environment concerns place tight quality control requirements on the water used for human consumption. These can only be met by monitoring networks, and a careful control of the captation, storage and distribution systems.

This paper presents the architecture of a remote unit that works both as a water quality monitoring system and as a remote management terminal.

The remote unit acquires and stores digital data, collects analog and digital data signals and controls the actuators. The unit is composed of 3 distinct modules: the Main Module, the Communications Module and the I/O Module, connected to each other by a CAN bus.

The implemented remote unit has a modular architecture. The minimum system configuration includes the main module and one I/O module. It can be expanded to a full blown set up using a main module one communication module and up to 6 I/O modules.

I. INTRODUÇÃO

A crescente importância dada aos aspectos ambientais e à saúde pública nas sociedades actuais impõe a necessidade de redes de monitorização da qualidade da água para consumo humano e o controlo dos processos de captação, armazenamento e distribuição. O sistema remoto de monitorização da qualidade da água apresentado neste artigo, tem como objectivo a supervisão remota de parâmetros de qualidade da água e a telegestão dos vários processos associados ao transporte, tratamento e fornecimento de água.

A utilização de um sistema de telegestão separado do sistema de monitorização da qualidade da água resulta na duplicação de meios que poderiam ser comuns aos dois sistemas. A criação de uma unidade remota que engloba as duas funções, torna possível partilhar estruturas comuns a ambos os sistemas na mesma plataforma de hardware,

associando instrumentação de controlo de qualidade a instrumentação de telegestão.

Um dos principais requisitos comum aos dois sistemas é a capacidade de comunicação com a central de telegestão. A comunicação consiste na recepção de pedidos de dados, de comandos e de configurações e no envio de informações, configurações e confirmação de comandos, permitindo o conhecimento imediato da qualidade da água, o estado do sistema remoto e o comando dos dispositivos a ele acoplados.

A. Sistemas de Telegestão

Um sistema de telegestão permite visualizar e comandar remotamente as principais estruturas hidráulicas associadas a dispositivos de captação, armazenamento e transporte de caudais para abastecimento. Trata-se de uma rede hidráulica que integra órgãos hidromecânicos associados ao controle das adutoras, câmaras de válvulas, reservatórios de armazenagem, estações sobrepessoras, estações elevatórias e unidades de tratamento de águas.

Uma unidade remota de telegestão realiza a monitorização dos parâmetros locais como caudal, nível e pressão. Gere a informação, armazenando-a em memórias e enviando os dados para a central de telegestão, tendo capacidade de comunicação para responder com informação sobre o estado do sistema ou a ordens de automação.

Um sistema de telegestão tem como requisito o tratamento de ocorrências em tempo real onde o tempo de tratamento é limitado e previamente definido em função do problema, impondo restrições ao tempo de processamento, acesso ao meio de comunicação e de transmissão da informação.

B. Sistemas de Monitorização da Qualidade da Água

O controlo da qualidade da água é particularmente importante, sobretudo quando a água se destina a consumo humano. Pode definir-se como o conjunto sistemático de acções de avaliação da qualidade da água, realizadas com carácter regular pela entidade gestora do sistema de abastecimento de água, com vista à manutenção permanente da sua qualidade em conformidade com as normas legalmente estabelecidas.

A necessidade de automação dos métodos de colecta de dados, leva ao desenvolvimento de sistemas de aquisição, armazenamento e transferência de dados. Através de transdutores (ou sensores) é possível converter dados de

determinadas grandezas em sinais eléctricos, o que permite medir e analisar parâmetros da qualidade da água.

Um sistema de controlo da qualidade da água para consumo humano possui uma arquitectura semelhante a um sistema de telegestão de um sistema de abastecimento.

II - SENSORES DE PARAMETROS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA E *DATALOGGERS*

Os sensores para qualidade de água são projectados para obter valores de uma variedade de agentes químicos e biológicos. Os factores de qualidade monitorizados na água podem incluir o pH, o dióxido de carbono dissolvido, o oxigénio dissolvido, os sólidos dissolvidos, a condutividade, nitritos e nitratos entre outros.

Estes sensores podem não possuir qualquer “inteligência” própria, disponibilizando apenas uma grandeza eléctrica que é interpretada pelo software de controlo existente no medidor.

Na pesquisa efectuada sobre sensores, foram encontrados sensores de parâmetros de qualidade da água com os mais variados interfaces, tendo sido os mais relevantes incorporados no sistema.

Uma outra pesquisa que incidiu sobre os dispositivos de recolha de dados (*dataloggers*) disponíveis no mercado, confirmou, por um lado a grande variedade dos interfaces tipicamente usados, e por outro a escolha dos interfaces mais comuns em aplicações ambientais, os quais correspondem aos disponibilizados na unidade remota desenvolvida.

III- PROTOCOLOS DE INTERFACE SISTEMA/SENSORES

O interface com os sensores é em geral do tipo analógico ou digital. Os instrumentos analógicos de teste de parâmetros da qualidade da água apresentam normalmente saídas em tensão padrão ou em corrente, enquanto que os sensores digitais baseiam os seus interfaces nos protocolos RS232, RS485 e SDI-12.

A. SDI-12

O protocolo de comunicação SDI-12 (Serial Digital Interface Protocol) foi desenvolvido especificamente para aplicações de monitorização de parâmetros da qualidade da água. Teve a sua origem em 1980, no seio de um grupo de especialistas em monitorização ambiental confrontados com a complexidade dos interfaces entre os sensores analógicos e os *dataloggers* existentes.

O SDI-12 [7] baseia-se em comunicação série assíncrona a uma taxa de 1200bps, com 7 bits de dados, um start bit, um *stop* bit e bit de paridade par usando o código ASCII standard na gama de 32 a 217.

A condição de *BREAK* estabelecida pelo *Master* (*datalogger*) força a linha de dados ao nível alto por 12 milissegundos, o que causa o *wake up* de toda a instrumentação presente na linha, possibilitando o reconhecimento dos seus endereços no primeiro byte de

cada sequência de comandos, condição que é também utilizada para abortar outras acções em progresso.

O protocolo possui um tipo de endereçamento que assegura o acesso à linha de apenas um dispositivo *Slave* de cada vez.

As principais vantagens do protocolo SDI-12 relacionam-se com o facto de a alimentação poder ser fornecida ao sensor através do interface. O uso de um interface série elimina a complexidade do *datalogg* e permite a conexão de 10 sensores a uma distância de até 60 metros.

Electricamente o sinal SDI-12 é idêntico ao sinal gerado por uma *Usart* RS232, apenas sendo invertido o nível lógico correspondente à transmissão que se pretende efectuar. A tensão é nominalmente 0 V para o nível lógico ‘1’ e +5V para o nível lógico ‘0’.

A linha é passivamente posta ao nível baixo mas pode ser activamente levada ao nível *high* e *low* pelo *Master* ou por qualquer elemento conectado à linha. O interface eléctrico SDI-12, utiliza o bus para transmitir dados em série entre o *data recorder* e os sensores. O barramento possui 3 condutores: a linha série *three-state* bidireccional de dados, a linha de *ground* e a linha de 12V.

IV- ARQUITECTURA E IMPLEMENTAÇÃO DA UNIDADE REMOTA

O sistema foi desenvolvido com o objectivo de implementação de comunicação directa da unidade remota com a central de telegestão, não sendo perspectivada a existência de diferentes hierarquias entre unidades remotas de uma rede.

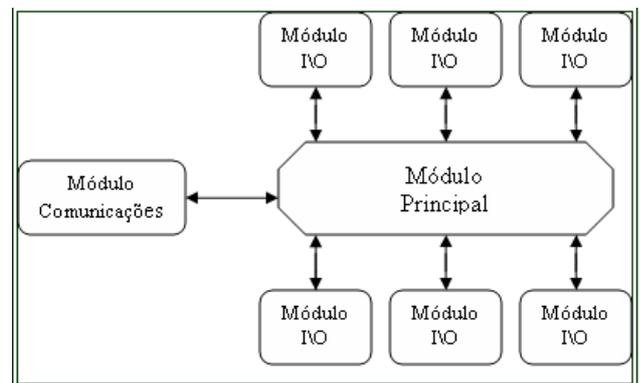


Fig. 1 - Diagrama de blocos da Unidade Remota

A unidade remota possui três módulos com funções distintas.

O Módulo Principal tem como função a gestão do sistema, sendo o responsável pelo primeiro nível de processamento dos comandos provenientes da central de telegestão ou do interface local, e pela distribuição das tarefas pelos seus próprios dispositivos internos ou pelos outros módulos do sistema. Outras funcionalidades deste módulo incluem o armazenamento dos dados num dispositivo local (*datalogg*) e a comunicação com a central de telegestão, quando a proximidade entre a

unidade remota e a central de telegestão permitam, dispensar a utilização do módulo de comunicações.

O módulo de comunicações permite a transmissão de dados entre a central de telegestão e a unidade remota, através de meios de comunicação adequados à transmissão a longas distâncias. O módulo I/O desempenha as funções de um terminal de comando de dispositivos, recolha e armazenamento de dados.

O módulo de I/O destina-se à aquisição de informação e à actuação local e é totalmente gerido pelo módulo principal, possuindo apenas autonomia para executar os procedimentos necessários ao cumprimento da tarefa pretendida.

O cerne de cada módulo do sistema é um micro controlador que comunica com os periféricos a ele associados através do protocolo I²C, e com os restantes módulos do sistema através de um barramento CAN.

O software desenvolvido para os diferentes módulos permite a configuração da unidade remota, a definição de módulos activos, a determinação do seu modo de operação e capacita o sistema para obedecer a comandos provenientes da central de telegestão ou do interface local disponível no módulo principal.

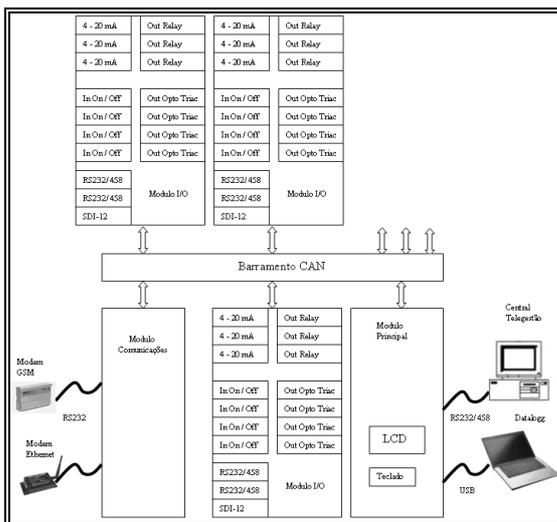


Fig. 2 - Unidade Remota

A. Módulo Principal

O módulo principal tem a função de gerir as tarefas associadas às ordens provenientes da central de telegestão, distribuindo-as pelos diferentes módulos e dispositivos presentes na unidade remota. Possui em memória as configurações do sistema, quanto ao número e tipo de módulos activos e o modo de comunicação com a central de telegestão, podendo verificar a falha na comunicação com módulos considerados activos sem prejuízo do funcionamento do restante sistema.

O Módulo Principal inclui:

- Interface local através de um LCD e teclado. Permite ao utilizador escolher entre um conjunto de opções que

possibilitam executar localmente todas as operações executáveis a partir da central de telegestão.

- Interface série, passível de ser comutado por software para obedecer ao protocolo RS232 ou ao protocolo RS485. Através deste interface pode ser estabelecida comunicação directa com a central de telegestão caso a proximidade assim o permita, ou a conexão de um modem GSM para comunicação remota.
- Interface USB para ligação com um *laptop* e recolha local dos dados armazenados em memória.

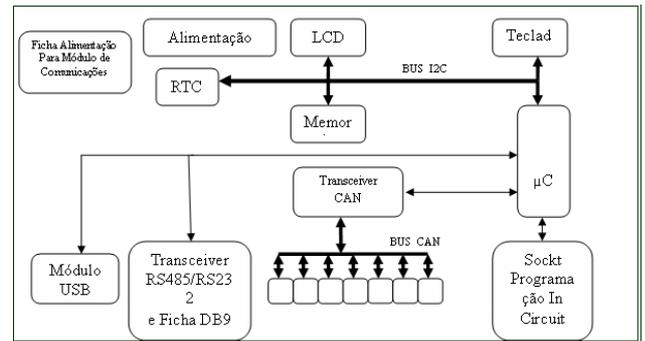


Fig. 3 - Diagrama de blocos do Módulo Principal

O barramento CAN foi desenvolvido a partir do módulo CAN embebido no micro controlador e do *transceiver* CAN. O barramento é ramificado para 7 conectores RJ11 permitindo a conexão dos restantes módulos da unidade remota ao módulo principal, a uma velocidade de até 1Mb/s.

A memória 24AA512 com capacidade para armazenar 64kbytes de informação, é utilizada para manter as configurações do sistema e para armazenamento provisório de dados.

O relógio de tempo real, associado ao cristal, possibilita manter actualizada a data e hora no sistema remoto, independentemente da alimentação do sistema durante um tempo estimado de 24 meses, e um erro máximo de +/- 1 segundo em cada 30 dias. Permite também a ocorrência de dois alarmes distintos utilizados para gerar interrupções para recolha automática de dados nos momentos pretendidos pelo gestor do sistema.

O módulo principal possui um interface local através de um LCD e um teclado, que permitem a interacção do utilizador com o sistema através de um menu que integra as mesmas possibilidades de configuração e controlo acessíveis remotamente.

Para interligar, LCD e Teclado ao micro controlador foi necessário expandir o número de portos de I/O deste tendo-se usado para o efeito 2 Expansores de Portos I/O (tipo MCP23016), cada qual com 2 portos de 8 bits.

O integrado MCP23016 é um expansor com 16-bits de input/output, projectado para fornecer uma expansão de portos I/O genéricos através das linhas série I²C.

Sendo a recolha de dados local feita através de *laptops* que geralmente já não vêm equipados com porta série RS232 tornou-se necessário incluir no módulo principal um interface USB. Este baseia-se no módulo RS232-USB o DLP232BM, fabricado pela DLP Design Inc. Uma vez

que não existem μC da família PIC que forneçam simultaneamente interface CAN e USB, optou-se pela utilização de um μC com interface CAN e a conexão de um módulo USB directamente na *Usart*. O módulo DLP232BM contém o integrado FTDi232BM.

O FTDi232BM, através da sua interface USB, oferece uma estrutura *plug and play* de interface fácil. A sua arquitectura permite que este integrado seja usado em quase todos os equipamentos que utilizem na comunicação um *link* RS232 lento.

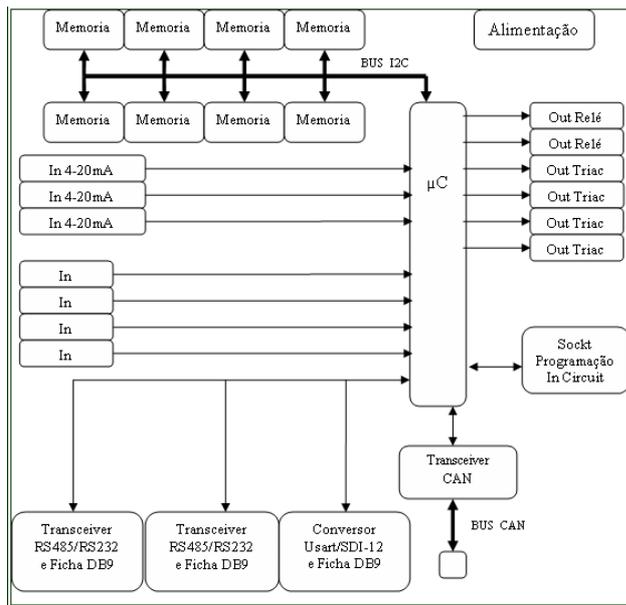


Fig. 4 - Diagrama de Blocos do Módulo I/O

B. Módulo de I/O

O módulo de I/O possui oito memórias 24AA512 de interface I²C a funcionar a 400Kb/s com capacidade para armazenar 512kbytes de informação. São utilizadas para guardar os dados recolhidos e manter as configurações do módulo. Este módulo possui:

- Três entradas analógicas de corrente de 4-20mA.
- Quatro entradas digitais opto-isoladas.
- Dois interfaces RS232/RS485 comutáveis por software.
- Um interface SDI-12.
- Duas saídas por relé de até 1A .
- Quatro saídas por opto-triac de até 1A .

O seu funcionamento é totalmente gerido pelo módulo principal, possuindo apenas autonomia para executar os procedimentos necessários ao cumprimento da tarefa pretendida.

As entradas digitais são isoladas através de optoacopladores integrados do tipo 4N37, que incluem um LED emissor de arseneto de gálio e um foto transístor. As saídas dos opto isoladores, são conectadas directamente a quatro entradas do micro controlador.

As entradas analógicas de corrente são convertidas em tensão por forma a tornar possível a sua conversão para digital. Para o efeito são utilizados integrados do tipo RCV420C, que são conversores completos de corrente 4 - 20mA para tensão de 0 a 5V, bem como o circuito ISO122 que efectua o isolamento óptico para a entrada do micro controlador (linearidade máxima de 0.02 %).

Existem quatro saídas, munidas de opto-triacs integrados do tipo PD2601. Este circuito é um interruptor de actuação por corrente contínua usado para o acoplamento óptico com saída para corrente alternada com débito máximo de 1A. Possui a importante características comutar o estado da saída apenas quando esta se encontra na passagem por 0V.

Os circuitos da entrada e de saída são acoplados opticamente para fornecer 3750V de isolamento e imunidade ao ruído entre o circuito de controlo e os circuitos de carga. O PD2601 é ideal para ambientes industriais, onde a interferência electromagnética perturba a operação de relés electromecânicos.

São utilizados dois relés, para permitir o accionamento de dispositivos de corrente contínua e alternada, com consumo de até 1A.

A implementação do interface SDI-12, foi desenvolvida a partir da *Usart* do micro controlador, de um *buffer* inversor CMOS 74HCT240 para controlo da linha de dados, e componentes que permitem a protecção da linha de alimentação de 12V. O *buffer*, permite definir o sentido de transmissão sobre a linha de dados através da imposição alternada de alta impedância na entrada do *buffer* conectado ao pino Rx para a transmissão, e na entrada do *buffer* ligada a saída Tx do micro controlador para a recepção.

O módulo de I/O possui dois pontos de conexão para os interfaces série RS232 e RS485. A escolha do protocolo de comunicação activo é efectuada por software.

C. Módulo de Comunicações

O micro controlador do módulo de comunicações efectua o controlo de dois interfaces de comunicação sendo a comunicação com o módulo Ethernet efectuada pelo barramento I²C, a 400 kHz, e como a porta RS232 pela *Usart* a uma velocidade configurável.

Pode suportar até oito memórias 24AA512 por I²C a uma velocidade de 400kb/s com capacidade para armazenar 512kbytes de informação que podem ser utilizadas para armazenamento de informação relevante para o sistema.

O módulo de comunicações recebe mensagens provenientes da central de telegestão, reconhece os seus campos e transforma a ordem externa numa trama CAN que pode ser enviada para o módulo principal.

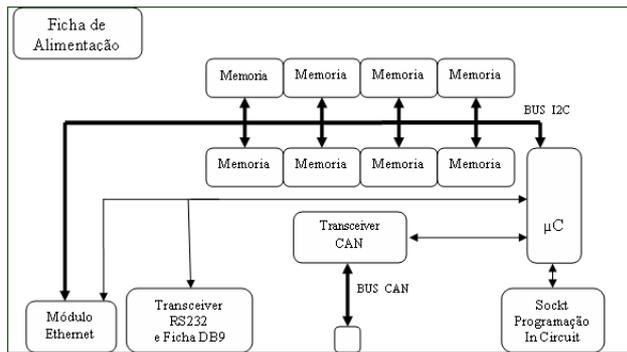


Fig. 5 - Diagrama de blocos do Módulo de Comunicações

V - COMUNICAÇÕES

A. Comunicação com a Central de Telegestão

O acesso à central de telegestão pode ser efectuado directamente a partir do módulo principal pela porta RS232/RS485 existente nesse módulo, ou através da ligação ao módulo de comunicações. Se for usada a comunicação directa recomenda-se a utilização da porta RS485. É possível utilizar um modem GSM, ligado à porta RS232, permitindo assim a comunicação a grandes distâncias sem recurso ao módulo de comunicações.

O módulo de comunicações é portanto um complemento ao módulo principal que visa, por um lado, dotar o sistema remoto de redundância de meios de comunicação com a central de telegestão e por outro, inserir o sistema numa rede de Ethernet, aliviando todo o processo do módulo principal.

B. Comunicação entre Módulos

Um sistema de telegestão tem como requisito o tratamento de ocorrências em tempo real, onde o tempo de tratamento é limitado e previamente definido, impondo restrições no tempo de processamento, acesso ao meio de comunicação e de transmissão da informação. A solução para esta exigência é a utilização de mensagens curtas e canais de comunicação de grande largura de banda. Devido à importância da estruturação das tramas de comunicação entre módulos, procurou-se estabelecer um conjunto de mensagens que satisfazem as necessidades de comunicação, definindo perfeitamente a identificação de cada módulo, o tipo de mensagem e a respectiva integração dos dados. As estruturas das mensagens que circulam entre os vários módulos, estão construídas de modo que seja simples obter mensagens a partir de mensagens base.

C. Protocolo I²C para Comunicação On-Board

Neste sistema foram utilizados micro controladores que interagem com vários circuitos periféricos. Apesar de existirem várias maneiras de efectuar o interface entre estes circuitos e o micro controlador é de grande valor

para o projecto do sistema a utilização de interfaces simples, eficazes e padronizados.

O protocolo I²C desenvolvido pela PHILIPS [6] foi estruturado para atender a estas exigências. Os dados são transferidos em ambas as direcções até à taxa de 400kbits/s. Esta transmissão requer apenas duas linhas: uma para os dados e outra para o relógio. Desta forma, são necessários poucos terminais do micro controlador e a construção da PCB pode ser simplificada.

O protocolo CAN de comunicação série (*Controller Area Network*) criado pela BOSCH [5] utiliza uma codificação de bit NRZ para fornecer transmissão de dados até a velocidade de 1Mbps, fiável e económica em ambientes electricamente agressivos.

No caso do sistema desenvolvido, os nós a serem adicionados são *Slaves*, e o software do módulo principal está previamente preparado para a introdução de novos módulos, permitindo a concepção de um sistema modular, onde basta adicionar o novo módulo e enviar uma mensagem ao sistema para que o módulo principal reconheça o novo módulo.

A escolha deste barramento para a comunicação entre os módulos do sistema prende-se com o facto de:

- Permitir o distanciamento entre o módulo principal e os restantes módulos de 40 metros com comunicação a 1Mbit/s e 1Km para 50Kbit/s, o que pode ser útil em alguns locais. O sistema não está sujeito a restrições temporais rígidas, sendo bastante satisfatória a velocidade de comunicação.
- As tramas a serem trocadas são de comandos, dados, configuração e calibração, sendo o número de bytes necessários bastante reduzido, sendo desnecessário utilizar mensagens de grande dimensão.
- O ambiente onde se pretende introduzir o sistema é sujeito a muito ruído electromagnético e a transmissão diferencial confere ao barramento CAN uma elevada imunidade ao ruído.

A conexão do módulo principal e de um módulo I/O é imprescindível e constitui o sistema mínimo. É no entanto possível a conexão de um módulo de comunicações e até 6 módulos I/O devido ao limite de oito nós endereçáveis no barramento CAN da classe utilizada.

A comunicação entre os módulos é de tipo *Master/Slave* onde apenas o módulo principal assume o papel de *Master* relativamente à troca de mensagens.

Cada módulo é um nó CAN, estando a cada nó destinado um código identificador (*Module_Id*) e a cada tipo de mensagem gerada ou recebida um código identificador (*Var_Id*). Com estes elementos é possível construir os códigos de identificação de todas as mensagens que circulam no barramento.

Através desta estrutura de identificação da mensagem CAN é possível determinar exactamente a origem, destino, função da mensagem e a estrutura dos dados transmitidos.

A cada pedido de dados, ordem de configuração ou comando sobre dispositivo de saída, é associada uma mensagem CAN, que por sua vez origina o envio de uma ou mais mensagens por parte do módulo I/O.

As mensagens trocadas entre o módulo principal e os módulos I/O são esquematizadas na fig.6, que representa um pedido de dados de um dispositivo do módulo I/O.

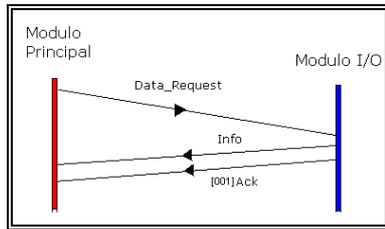


Fig. 6 - Diagrama de comunicação de pedido de dados

O pedido de dados é respondido por parte do módulo I/O a que é endereçado, com uma trama *Info*, seguido por uma mensagem de *Ack* cujo *Msg_Type* corresponde ao *Var_Id* da mensagem *Data_Request*.

VI - CONCLUSÕES

Com este projecto pretendia-se a implementação de um sistema remoto que permitisse o controlo, em tempo real, de processos relacionados com a qualidade e distribuição de água.

Do desenvolvimento dos módulos componentes desta unidade remota destaca-se a mais valia da reconfigurabilidade individual dos módulos, tornando clara a grande versatilidade do sistema, e a importância da modularidade no atendimento de necessidades locais distintas como é a realidade em sistemas de abastecimento de água.

A escolha do processador mostrou-se acertada quer pela possibilidade de implementação dos mais diversos protocolos de comunicação quer pela sua versatilidade e facilidade de integração.

Conseguiu-se desta maneira obter um sistema remoto que cumpre perfeitamente as necessidades de comunicação de eventos e resposta em tempo real e que pode ser adaptado para funcionamento com grande autonomia, uma vez exploradas as suas capacidades de processamento.

O sistema abrange uma gama de interfaces que permitem o controlo e recolha de dados de uma vasta gama de dispositivos. Outra característica importante é o baixo custo da unidade remota

Na implementação da unidade remota, revelaram-se acertadas as escolhas dos protocolos de comunicação. O protocolo I2C como comunicação *on-board* por ser um protocolo simples, de fácil utilização e o protocolo CAN entre módulos por ser o mais indicados para as condições adversas de intenso ruído electromagnético.

Ficaram patentes as capacidades extra do sistema que pela sua flexibilidade possibilita maior independência da unidade remota em relação a central de telegestão, com pouco esforço de desenvolvimento de software.

REFERÊNCIAS

- [1] Pacheco, O. R.; Antunes; L.P., Ferreira, R. - "Sistema de Controlo em Tempo Real da Qualidade da Água para Consumo Humano", Electrónica e Telecomunicações, Revista do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, 3, 3, Janeiro 2001.
- [2] Project Amazonia: Monitoring, H. Riebeck, <http://web.mit.edu/12.000/www/m2006/final/monitoring> "Brazil Tests World's Largest Environmental Monitoring System", IEEE Spectrum, pp. 10-12, September 2003.
- [3] Apprise Inc – Remote Underwater Sampling Stations, www.apprisetech.com
- [4] YSI Environment - YSI-6600 EDS YSI Catalog, www.ysi.com
- [5] Bosch CAN Specification Version 2.0 1991
- [6] "The I2C-Bus Specification Version 2.1" January 2000, Philips Semiconductors
- [7] "SDI-12 A Serial-Digital Interface Standard for Microprocessor-Based Sensors Version 1.3 " July 25, 2004
- [8] PIC18FXX8 Data Sheet – MicroChip
- [9] David José de Souza e Nicolas César Lavinia, "Conectando o Pic – Recursos Avançados", editora Érica