

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Augusto José Chaves Almeida Casais

Monitorização e controlo de equipamentos de
parques fotovoltaicos através da utilização de
microcontroladores

Dissertação de Mestrado

em Engenharia Electrotécnica - Energia e Automação Industrial

Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho

Financiamentos:

Martifer Solar

Março de 2014



À minha esposa e ao meu filho

RESUMO

Devido à escassez de energias derivadas dos recursos fósseis e devido às alterações climáticas que o uso destas energias provoca, torna-se necessário recorrer a novas fontes de energia não poluentes, de forma a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis. Com esse objetivo, existe uma enorme preocupação por parte dos governos mundiais que fomentam o uso destas tecnologias, por intermédio de incentivos fiscais e outros.

Das fontes de energia renováveis, destaca-se a energia solar fotovoltaica, que está a ganhar cada vez mais preponderância, fazendo com que a sua tecnologia esteja cada vez mais evoluída e mais acessível, sendo uma das tecnologias mais implementadas.

Deste modo, torna-se necessário desenvolver sistemas capazes de registar e monitorizar todos os parâmetros da instalação fotovoltaica, para que a produção de energia seja rentabilizada. De entre os equipamentos existentes nas instalações fotovoltaicas, o contador de energia e a estação meteorológica são elementos fundamentais, uma vez que a performance da instalação fotovoltaica é calculada com a ajuda destes equipamentos.

A presente dissertação tem como objetivo principal a construção de um sistema de monitorização capaz de recolher os dados de contadores de energia através da interface de comunicação RS-232 ou RS-485 e do protocolo DLMS/COSEM, bem como recolher os dados da estação meteorológica através da interface de comunicação RS-485. Posteriormente, os dados serão armazenados num *datalogger*, permitindo a visualização dos mesmos localmente por intermédio de um interface assim como o envio destes mesmos dados para um servidor remoto.

ABSTRACT

Energy from fossil resources is becoming rare and given the climate changes that the use of this kind of energy creates, it's mandatory to find new, non-pollutant energy resources, renewable energy, to reduce fossil combustibles dependency. With this purpose, worldwide governments were setting feed-in tariffs and other tax incentives to increase the use of this type of energy.

Among renewable energies, photovoltaic solar energy is gaining particular attention and preponderance, leading to several advances on technologies while reduction overall cost. Nowadays it's widely used all over the world.

In order to make photovoltaic energy desirable and profitable, it's mandatory to develop systems capable of monitoring and storing relevant parameters of these installations. Among all existent equipment on photovoltaic installations, energy meter and weather station play important role since they are key elements for installation performance calculation.

This work aims to build and develop a monitoring system able to collect data from energy meter through DLMS/COSEM communication protocol over RS-232 or RS-485 network interface as well as to collect data from weather station using RS-485 physical communication network. Furthermore, gathered data is stored locally on a data logger which allows local data visualization or even sending data to a remote server.

PALAVRAS CHAVE

Instalações Fotovoltaicas
Sistemas de Monitorização
Estação Meteorológica
Contador de Energia
DLMS/COSEM
Arduino

KEY WORDS

Photovoltaic Plants
Monitoring Systems
Weather Station
Energy Meter
DLMS/COSEM
Arduino

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Em primeiro lugar agradeço a minha esposa pelo apoio e motivação que me deu durante este percurso académico, ao meu filho pelo tempo que não pude estar.

Agradeço especialmente aos colegas da Martifer Solar, José Pascoal, Pedro Sousa e Hugo Ribeiro pela sua disponibilidade e apoio prestado no decorrer desta dissertação.

Ao colega Engenheiro João Ôlas pela sua disponibilidade e apoio prestado.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pela sua disponibilidade e orientação durante a realização do trabalho de mestrado.

Ao docente Eng.º Luís Filipe Simões pelo apoio e disponibilidade no desenvolvimento do trabalho de mestrado em laboratório.

Agradeço a todos os docentes do Mestrado em Engenharia Electrotecnicia – Energia e Automação Industrial, em especial ao diretor de curso, Professor Doutor Paulo Moisés Almeida da Costa, pela sua dedicação e profissionalismo na implementação e coordenação deste mestrado.

Aos meus colegas de mestrado, pelos momentos de entusiasmo partilhados em conjunto.

Finalmente, um agradecimento muito especial à minha família pela compreensão tida durante todo este período. Em especial, quero agradecer à minha esposa, Brígida, pelo suporte e apoio e ao meu filho João Rafael pela falta de tempo e indisponibilidade da minha parte.

Para todos os que aqui não foram mencionados, que contribuíram para a concretização desta Dissertação, o meu profundo e sentido agradecimento.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xxi
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxiii
Capítulo 1 Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Motivação	3
1.3. Objetivos e Requisitos do Sistema	5
1.4. Estrutura da Dissertação	6
Capítulo 2 Estado da Arte	7
2.1. Introdução	7
2.2. Sistemas de Monitorização e Controlo	8
2.3. Sistemas de Supervisão e Controlo em Instalações Fotovoltaicas	10
2.3.1. Equipamentos de Supervisão e Controlo Existentes no Mercado	11
Capítulo 3 Hardware	19
3.1. Introdução	19
3.2. Inversores	20
3.3. Estação Meteorológica	21
3.3.1. Sensor de irradiância	21
3.3.2. Sensor de temperatura ambiente	23
3.3.3. Sensor de Velocidade do Vento	24
3.4. Contadores de Energia	25
3.4.1. Contadores eletromecânicos de indução	25
3.4.2. Contadores eletrónicos	26
3.4.3. Contadores inteligentes	27
3.4.4. Contador de energia Itron SL7000	28
3.5. Arduino	30
3.5.1. Compilador Arduino	31

3.5.2.	<i>Hardware</i> Arduino	32
3.5.3.	Módulos de expansão (<i>Shields</i>) Arduino utilizados.....	33
3.6.	Meios de Comunicação e Protocolos	36
3.6.1.	<i>Introdução</i>	36
3.6.2.	Meio de Comunicação Série RS-232	36
3.6.3.	Meio de Comunicação Série RS-485	37
3.6.4.	Protocolo M&T	39
3.6.5.	Protocolo DLMS/COSEM	42
Capítulo 4	Resultados	63
4.1.	Introdução.....	63
4.2.	<i>Módulo Solar</i>	63
4.2.1.	Interface de comunicação Série RS-232	64
4.2.2.	Interface de comunicação Série RS-485A e RS-485B/TTL.....	64
4.2.3.	Interface Relógio de Tempo Real	67
4.2.4.	Interface Memória EEPROM.....	67
4.2.5.	Portos Digitais e Analógicos.....	69
4.2.6.	Implementação Final.....	69
4.3.	SMARTLog-Lite	70
4.4.	<i>Software</i> desenvolvido da SMARTLog-Lite.....	72
4.4.1.	Sub-rotina de comunicação DLMS/COSEM.....	72
4.4.2.	Sub-rotina de comunicação M&T.....	76
4.4.3.	Bibliotecas Utilizadas	76
4.5.	Descrição e funcionamento da SMARTLog-Lite	78
Capítulo 5	Conclusões e Trabalhos Futuros	87
5.1.	Introdução.....	87
5.2.	Principais dificuldades encontradas	88
5.3.	Conclusões.....	88
5.4.	Perspetiva de desenvolvimentos futuros	90
REFERÊNCIAS	91
Apêndice 1	- Esquema elétrico do <i>hardware</i> desenvolvido	95
Apêndice 2	- Placa de circuito impresso do <i>hardware</i> desenvolvido.....	97
Apêndice 3	- <i>Software</i> Smartlog-lite	99

Anexo 1 – Actaris Itron SL7000	101
Anexo 2 – Protocolo Estação Meteorológica	119
Anexo 3 – Protocolo DLMS/COSEM.....	121
Anexo 4 – Sensor de Irradiância	123
Anexo 5 – Sensor velocidade do vento	125
Anexo 6 – sensor de temperaturan ambiente.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Perspectiva de evolução das principais fontes de energia primárias	2
Figura 1-2: Número médio anual de horas de Sol na Europa.....	3
Figura 2-1: Sistema SCADA	8
Figura 2-2: Arquitetura do sistema de supervisão e controlo genérica de uma instalação fotovoltaica.....	10
Figura 2-3: Arquitetura de um sistema monitorização e controlo de Nível 2	12
Figura 2-4: Modelos <i>Solar-Log</i>	13
Figura 2-5: <i>Sunny Webbox</i>	14
Figura 2-6: <i>Aurora CDD</i>	15
Figura 2-7: <i>SenNet Solar</i>	15
Figura 2-8: Arquitetura sistema de monitorização e controlo de Nível 3	17
Figura 3-1: Inversor Solar SUNNY BOY	20
Figura 3-2: Estação Meteorológica	21
Figura 3-3: Sensor de Irradiância	22
Figura 3-4: Sensor temperatura ambiente PT1000 utilizado.....	23
Figura 3-5: Sensor de velocidade vento – Anemómetro utilizado	24
Figura 3-6: Contador Eletromecânico	26
Figura 3-7: Contador Eletrónico.....	27
Figura 3-8: Contador Eletrónico Inteligente.....	27
Figura 3-9: Contador Itron ACE SL7000.....	28
Figura 3-10: Arduino IDE	31
Figura 3-11: Arduino Mega 2560	33
Figura 3-12: Arquitetura interna do Arduino Mega 2560.	33
Figura 3-13: Módulos de expansão Arduino (<i>Shields</i>)	34
Figura 3-14: <i>Ethernet Mega Shield</i>	34
Figura 3-15: TFT LCD 3,2’’	35
Figura 3-16: TFT LCD Mega <i>Shield</i>	36
Figura 3-17: Codificação da mensagem RS-232.....	37
Figura 3-18: Exemplo de comunicação RS-232.....	37
Figura 3-19: Velocidade de comunicação em função do comprimento do cabo de comunicação RS-485.....	38
Figura 3-20: Tipologia “ <i>half-duplex</i> ” RS-485.....	38
Figura 3-21: Exemplo de comunicação RS-485.....	39
Figura 3-22: Estrutura da Mensagem do Mestre no protocolo M&T.....	40
Figura 3-23: Estrutura da Mensagem Escravo no protocolo M&T.....	40
Figura 3-24: Diagrama da troca de mensagens do Protocolo M&T.....	42

Figura 3-25: Abordagem das 3 etapas do modelo DLMS – Modelação, Mensagem e Transporte	44
Figura 3-26: Relacionamento Cliente/Servidor e Protocolos	45
Figura 3-27: Perfis de comunicação DLMS/COSEM.....	46
Figura 3-28: Fases do Estabelecimento da Ligação DLMS/COSEM.....	48
Figura 3-29: Modelo de aplicação COSEM de um sistema de recolha de dados e equipamentos de medição	50
Figura 3-30: Modelo Servidor DLMS/COSEM.....	51
Figura 3-31: Modelo de um cliente DLMS/COSEM.....	53
Figura 3-32: Modelo de um sistema de recolha de dados baseado em DLMS/COSEM.....	54
Figura 3-33: Uma Classe de interface e suas instâncias	55
Figura 3-34: Classe de interface Registo <i>class_id 3</i>	57
Figura 3-35: Classe de interface Relógio <i>classe_id 8</i>	58
Figura 3-36: Exemplo de código OBIS.....	60
Figura 3-37: Estrutura da Mensagem DLM/COSEM	61
Figura 3-38: Campo <i>Frame Format</i>	61
Figura 3-39: Estruturas de endereçamento do servidor	62
Figura 4-1: Esquema elétrico do interface RS-232	64
Figura 4-2: Esquema elétrico do interface RS-485 A	66
Figura 4-3: Esquema elétrico do interface RS-485 B/TTL.....	66
Figura 4-4: Esquema elétrico do interface do Relógio de Tempo Real	67
Figura 4-5: Interface memória EEPROM 24LC256	68
Figura 4-6: Interface dos Portos digitais e analógicos	69
Figura 4-7: Módulo Solar.....	70
Figura 4-8: <i>Hardware</i> SMARTLog-Lite	71
Figura 4-9: Ligações SMARTLog-Lite contador energia e estação meteorológica.....	71
Figura 4-10: Fluxograma do ciclo de execução de pedido resposta de dados ao contador de energia.....	74
Figura 4-11: Tratamento de Erros na Comunicação DLMS/COSEM	75
Figura 4-12: Fluxograma do ciclo de execução de pedido e resposta de dados à estação meteorológica.....	76
Figura 4-13: Fluxograma do ciclo principal do programa	78
Figura 4-14: Fluxograma da sub-rotina ecrã principal.....	79
Figura 4-15: Ecrãs iniciais do sistema	80
Figura 4-16: Fluxograma da Sub-Rotina Menus.....	80
Figura 4-17: Ecrã de Seleção de Gráficos a Visualizar	81
Figura 4-18: Fluxograma da sub-rotina seleção dos gráficos	82
Figura 4-19: Visualização dos gráficos da energia produzida	83
Figura 4-20: Visualização dos gráficos da irradiância.....	83
Figura 4-21: Estrutura do ficheiro de dados do contador de energia	84
Figura 4-22: Estrutura do ficheiro de dados estação meteorológica.....	85

Figura 4-23: Dados da SMARTLog-Lite monitorizados no Sistema Supervisão Central da Martifer Solar	86
---	----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1-1: Requisitos do Sistema de Monitorização	5
Quadro 3-1: Características do Sensor de irradiância Si-RS-485-TC-2T-v	22
Quadro 3-2: Características do sensor de temperatura ambiente.	24
Quadro 3-3: Características do anemómetro	25
Quadro 3-4: Características Itron SL7000.....	29
Quadro 3-5: Mensagens do protocolo M&T	40
Quadro 3-6: Parâmetros que constituem as mensagens do protocolo M&T	41
Quadro 3-7: Especificação dos atributos do objeto registo	57
Quadro 3-8: Exemplos de valores do objecto registo.....	57
Quadro 3-9: Especificação dos atributos do objeto registo	58
Quadro 3-10: Estrutura do código OBIS	59
Quadro 4-1: Endereço Memória EEPROM 24LC256.....	69
Quadro 4-2: Códigos OBIS Implementados.....	73
Quadro 4-3: Opções de seleção do gráfico a visualizar.....	83

ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Corrente Alternada
ACSE	Association Control Service Element
ADC	Analog-to-Digital Converter
AL	Application Layer
AP	Application Process
APDU	Application Layer Protocol Data Unit
Arduino	Electronics, Embedded System with Microcontroller Unit
ASE	Application Service Element
ASO	Application Service Object
bps	Bits Per Second
CAN	Controller Area Network
CC	Corrente Continua
CF	Control Function
CO	Connection Oriented
COSEM	Companion Specification for Energy Metering
CRC	Cyclic Redundancy Check
DC	Direct Current
DCS	Data Collection System
DLMS	Device Language Message Specification
DNP3	Distributed Network Protocol
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
FCS	Frame Check Sequence
FTP	File Transfer Protocol
GMT	Greenwich Mean Time
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HCS	Header Check Sequence
HDLC	High-level Data Link Control
HHU	Hand Held Unit
I ² C	Inter-Integrated Circuit
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IEC	International Electrotechnical Commission
IN	Input
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LLC	Logical Link Control (Sublayer)

LN	Logical Name
MAC	Medium Access Control
MMS	Manufacturing Message Specification
MPPT	Maximum Power Point Tracking
OBIS	Object Identification System
OS	Operating System
OUT	Output
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
Phl	Physical Layer
PLC	Power line carrier
PPP	Point-to-Point Protocol
PR	Performance Ratio
PWM	Pulse-width modulation
RS-232	Recommended Standard – 232 (TIA/EIA232)
RS-485	Recommended Standard – 485 (TIA/EIA485)
SAP	Service Access Point
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SD	Secure Digital
SMS	Short Message Service
SN	Short Name
SPI	Serial Peripheral Interface
STC	Standard Test Conditions
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TFT	Thin-Film Transistor
TIA/EIA	Telecommunications Association / Electronic Industries Alliance
TTL	Time To Live
TWI	Two-Wire Interface
UDP	User Datagram Protocol
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultra Violet
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
xDLMS	Extended Device Language Message Specification
xDLMS_ASE	Extended DLMS Application Service Element

Capítulo 1 Introdução

1.1. Contextualização

O mundo enfrenta mudanças importantes no sector elétrico devido ao aumento da procura de alternativas aos combustíveis fósseis. O uso destes combustíveis era prática comum para a produção de energia elétrica através de centrais térmicas que utilizam exclusivamente os combustíveis fósseis como energia primária. Mas a tendência que se verifica nos últimos anos, aponta para que o preço destes combustíveis atinja valores cada vez mais elevados, devido ao facto destes recursos serem cada vez mais escassos e também devido às preocupações ambientais decorrentes do aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera [1].

Com o intuito de reduzir o uso dos combustíveis fósseis na produção de energia elétrica e de cumprir o plano de estratégia nacional para a energia (ENE 2020¹), a fiabilidade e qualidade de fornecimento de energia face às infraestruturas obsoletas e às suas limitações, existe a necessidade de explorar novas fontes de energia alternativas não poluentes em detrimento destes combustíveis para a produção de energia. À medida que estes desafios vão sendo solucionados, existe cada vez mais espaço à integração da produção distribuída proveniente de fontes de energia renováveis na rede de distribuição, assegurando uma melhor qualidade dos serviços prestados aos consumidores e contribuindo para o aumento da competitividade, tornando o sistema elétrico mais concorrencial no que concerne a preços e prestação de serviços [2].

¹ ENE 2020 – Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020, compõem-se de um conjunto de 10 medidas que visam relançar a economia e promover o emprego, apostar na investigação e desenvolvimento tecnológico e aumentar a nossa eficiência energética (Diário da Republica) [15].

Com o intuito de auxiliar os governos a construir políticas e a tomar decisões de modo a enfrentar problemas associados a esta temática, a Shell criou um panorama futuro até ao ano de 2050 que demonstra a evolução das diferentes fontes de energia que são hoje em dia consumidas e a sua evolução até ao ano 2050.

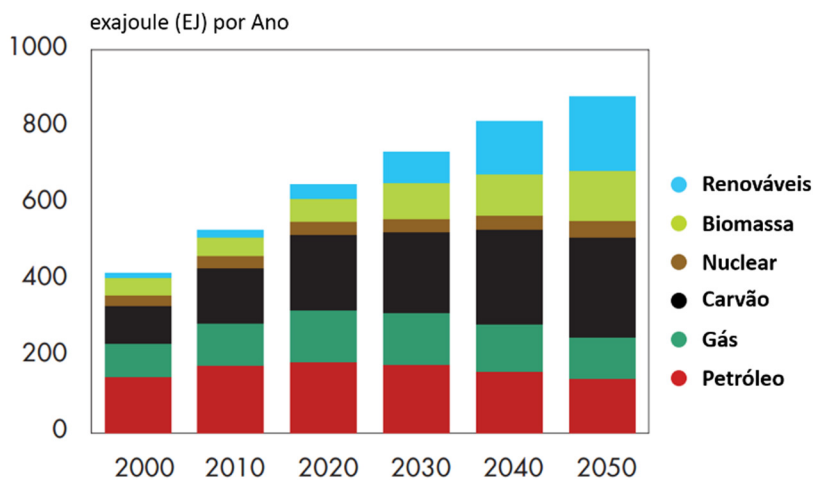


Figura 1-1: Perspectiva de evolução das principais fontes de energia primárias [3].

Como se pode verificar pela Figura 1-1, até ao ano de 2020 as energias provenientes dos recursos fósseis são a principal fonte de energia, apenas uma pequena parcela é proveniente de recursos naturais. Entre os anos de 2020 e 2040 verifica-se que a dependência deste tipo de energias é quase constante, e que as energias provenientes de fontes renováveis têm um aumento considerável. A partir de 2040 verificamos um retrocesso das energias fósseis que são substituídas pelas energias renováveis [3].

A energia solar apresenta-se como a principal fonte de energia alternativa, visto ser um recurso inesgotável. Portugal possui uma ótima exposição solar quando comparado com outros países da Europa, sendo um dos países que tem melhores condições para o aproveitamento deste recurso, possuindo uma média anual de exposição solar de 8h/dia medidas às condições STC (*Standard Test Conditions*) [16], velocidade de vento a 1 metro por segundo (m/s), pressão atmosférica de 1 atmosfera (atm), uma radiação solar de 1000 watts por metro quadrado (W/m²) e a uma temperatura de 25 graus centígrados (°C). Deste modo, o território continental dispõe de um número médio anual de horas solares entre 2200 a 3000, uma média considerável comparativamente com a Alemanha, por exemplo, que dispõe apenas de 1200 a 1700 horas solares anuais [http#1]. A Figura 1-2 ilustra o número médio anual de horas de exposição solar na Europa.

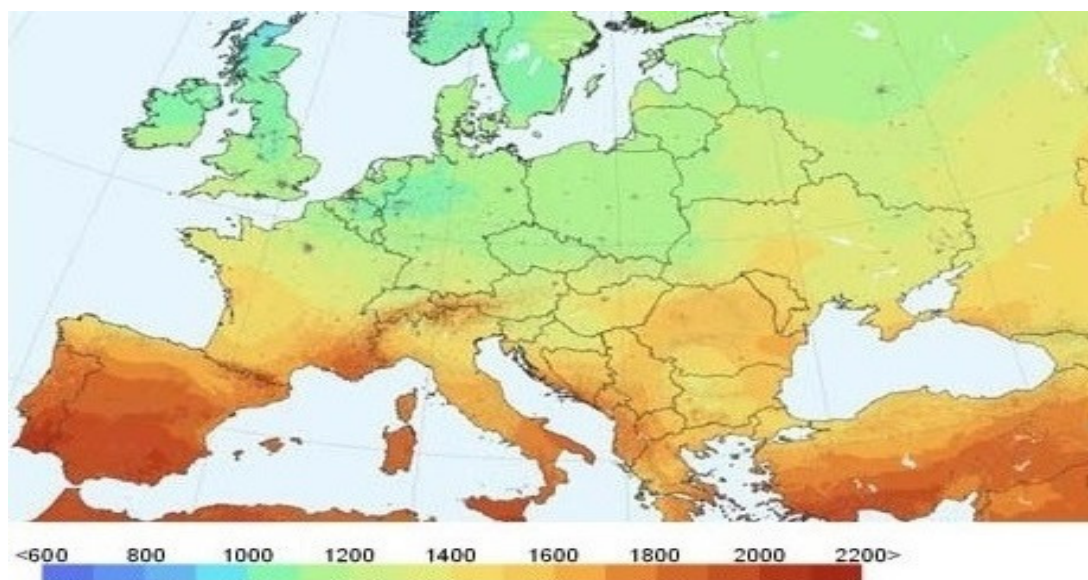


Figura 1-2: Número médio anual de horas de Sol na Europa [http#9].

A energia com origem solar tem sido uma das opções mais económicas em muitas aplicações de pequena potência localizadas em locais remotos que não dispõem de ligação à rede elétrica.

Inicialmente, o elevado custo no fabrico de painéis fotovoltaicos, constituía uma barreira para a sua proliferação. Atualmente, com o desenvolvimento das tecnologias e com os incentivos por parte dos governos mundiais em novas fontes de energia não poluentes, perspectiva-se um crescente aumento de instalações fotovoltaicas instaladas e a instalar num futuro próximo, originando um decréscimo nos seus custos e a uma maior investigação e inovação nesta tecnologia [http#1].

1.2. Motivação

Nos módulos fotovoltaicos, a conversão da energia solar em energia elétrica é relativamente baixa. A máxima produção de energia varia em função das condições meteorológicas, como a irradiância solar e a temperatura ambiente, que influenciam o seu ponto de operação sendo necessário que este esteja constantemente a ser ajustado por forma a maximizar a potência produzida de modo a que a sua performance seja máxima.

Os sistemas de monitorização permitem que sejam observados dados recolhidos durante o funcionamento da instalação fotovoltaica, podendo estes dados ser enviados para servidores *web* remotos para armazenamento e análise com ferramentas de supervisão e controlo de modo a avaliar o desempenho da instalação fotovoltaica, ajudando assim o operador do sistema a tomar decisões.

Estes sistemas além de permitirem a análise dos sistemas permitem também a deteção de avarias que podem originar grandes quebras na produção, se não forem rapidamente

corrigidas. Dependendo do tipo/dimensão da instalação fotovoltaica, a sua deteção pode demorar mais ou menos tempo a ser detetada e solucionada.

Em instalações fotovoltaicas de pequena dimensão, a ocorrência de avarias, que provoquem quebras na produção, são normalmente de rápida e fácil deteção. No entanto, para instalações fotovoltaicas de média e grande dimensão, a sua deteção torna-se mais complexa devido ao elevado número de módulos fotovoltaicas e equipamentos vitais ao funcionamento da instalação fotovoltaica, tais como caixas de junção², inversores, transformadores, entre outros, aumentando assim a dificuldade de deteção de avarias na planta, tornando-se desta forma indispensável possuir sistemas que sejam capazes de realizar a monitorização dos equipamentos, permitindo assim que a avaria possa ser rapidamente detetada e corrigida.

Em suma, os sistemas de monitorização em instalações fotovoltaicas são de extrema importância de forma a garantir que o sistema esteja no máximo rendimento de forma a maximizar a sua produção. Estes sistemas podem reduzir os períodos de inatividade da instalação fotovoltaica e conseqüentemente prevenir falhas dos equipamentos pela análise dos dados recolhidos. Pela análise aos dados recolhidos dos equipamentos o sistema consegue detetar quando existem desvios dos valores normais de funcionamento dos equipamentos, informando o operador do sistema que existe uma anomalia, permitindo que o operador do sistema possa tomar medidas preventivas atempadamente evitando longas paragens de produção [4].

Estes sistemas permitem ainda verificar o rendimento total e por partes do sistema permitindo otimizar as operações de limpeza dos módulos fotovoltaicas, necessárias ao bom funcionamento do mesmo. São sistemas com um custo elevado, o que representa em muitas situações quase um quarto do valor total de instalação da instalação fotovoltaica [5].

Devido ao custo que estes sistemas têm no valor final da instalação fotovoltaica e à limitação que a generalidade destes têm na aquisição de dados dos contadores de energia através do protocolo RS-485, foi proposto pela empresa Martifer Solar o desenvolvimento de um sistema de monitorização que fosse ao encontro das suas necessidades, reduzindo o valor deste tipo de sistema e ao mesmo tempo capazes de adquirir os dados dos contadores de energia por intermédio de comunicação física. Este tipo de equipamento ficam normalmente instalados no posto de seccionamento da instalação fotovoltaica. Geralmente, a localização do sistema de monitorização deve situar-se noutra ponto da instalação fotovoltaica, visto que este comunica com o sistema de monitorização local por intermédio de uma saída de impulsos que obriga a que o sistema não esteja afastado do contador mais de 10 metros, o que limita muito a instalação do sistema de monitorização. Para que o sistema possa ser alojado no Centro de Controlo ou entre a localização da instalação fotovoltaica é necessário que o tipo e o meio de comunicação permita realizar comunicações a longas distâncias, preferencialmente através do protocolo RS-485.

² Caixa de Junção – Quadro elétrico para corrente contínua onde são agrupadas um conjunto de *strings* e as suas proteções.

O sistema deve também possuir a capacidade de recolher dados de estações meteorológicas através do meio de comunicação RS-485, tendo também a capacidade de realizar as funções de datalogger³ para armazenar localmente a informação recolhida do contador de energia e da estação meteorológica, deve ainda permitir o envio dos dados recolhidos para um servidor remoto para que sejam integrados num sistema de supervisão central.

1.3. Objetivos e Requisitos do Sistema

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um sistema, composto por *software* e *hardware*, com a capacidade de comunicar com contadores de energia através do protocolo DLMS/COSEM e estações meteorológicas por intermédio de um sistema microcontrolador de baixo custo (plataforma Arduino), utilizando como meio físico de comunicação o protocolo RS-485. Os dados recolhidos do contador de energia serão posteriormente armazenados e enviados periodicamente para um servidor FTP remoto. Estes dados poderão ser consultados localmente sobre a forma de gráficos por intermédio de um ecrã (*Display*) táctil (*Touch*) associado ao sistema microcontrolador. No Quadro 1-1 são descritos os requisitos que o sistema de monitorização e controlo deve possuir.

Quadro 1-1: Requisitos do Sistema de Monitorização.

Requisito	Justificação
Protocolos	Desenvolvimento do protocolo de comunicação com o contador de energia e com a estação meteorológica
Armazenar os dados provenientes do sistema	Criação de um histórico dos dados em ficheiro.
Permitir a visualização dos dados localmente	Mostrar os valores instantâneos referentes à potência ativa global acumulada e irradiação. Visualização, sob a forma de gráfico, dos dados recolhidos, em valores acumulados diários, mensais e anuais gerados pelo sistema.
Envio dos dados do sistema para um servidor FTP remoto.	Enviar periodicamente os dados recolhidos para um servidor FTP remoto para posterior integração e análise com um sistema de supervisão.
O sistema deve estar protegido.	Evitar possíveis acessos não autorizados.

³ *Datalogger* – é um dispositivo eletrónico que guarda dados de sensores ou equipamentos ao longo do tempo.

1.4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

No capítulo 1 é feita uma contextualização do tema da dissertação na atualidade, abordando a evolução do sistema elétrico de energia e um possível cenário para o futuro. São também enumerados os objetivos e os requisitos do sistema a serem cumpridos na realização da dissertação.

O capítulo 2 faz referência ao estado da arte, o qual incide sobre sistemas de monitorização utilizados em instalações fotovoltaicas, tais como *software* SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e equipamentos de monitorização.

No capítulo 3 é apresentado o *hardware* utilizado neste trabalho, sendo realizada uma descrição dos equipamentos utilizados, como é o caso da estação meteorológica e do contador de energia, sendo ainda realizada uma descrição da plataforma Arduino e os módulos utilizados. Por fim é efetuada a descrição dos meios de comunicação e protocolos utilizados no decorrer deste trabalho.

No capítulo 4 é efetuada uma descrição do *hardware* (módulo) realizado. É efetuada uma descrição do programa desenvolvido para a plataforma Arduino, sendo apresentados os resultados obtidos.

Finalmente, no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões mais relevantes do trabalho realizado nesta dissertação e ainda as perspetivas para trabalhos futuros.

Capítulo 2 Estado da Arte

2.1. Introdução

De uma forma simplificada, um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica é responsável por converter a energia solar em energia elétrica. Para que esta conversão seja possível é necessário um conjunto de equipamentos, tais como:

- Módulos fotovoltaicos responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica;
- Inversores que têm como principal função a conversão de corrente contínua produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alterna;
- Contadores de energia que tem a função de medir a energia reativa, ativa e aparente produzida pela instalação fotovoltaica durante o dia e medir as mesmas energias consumidas na rede elétrica durante a noite;
- Transformador que tem como objetivo adaptar as tensões e correntes da instalação fotovoltaica para as tensões e correntes da linha de distribuição a qual a instalação fotovoltaica esta ligada.
- Sistemas de monitorização cuja finalidade é garantir a máxima eficiência e rentabilidade do gerador fotovoltaico, monitorizando os parâmetros dos equipamentos vitais ao bom funcionamento da instalação fotovoltaica;
- Estações meteorológicas que têm como função o registo e armazenamento dos dados ambientais (tais como irradiância, temperatura ambiente, temperatura dos módulos fotovoltaicos, velocidade e direção do vento, etc).

2.2. Sistemas de Monitorização e Controlo

Os sistemas de monitorização e controlo tal como ilustrado na Figura 2-1 possuem a capacidade de interpretar os sinais provenientes dos equipamentos que os rodeiam e de executar decisões de acordo com o que lhe foi previamente definido. Utilizam diversos sistemas (meios) de comunicação para interligar os sistemas de supervisão centralizados que, normalmente, se encontram distantes destes.

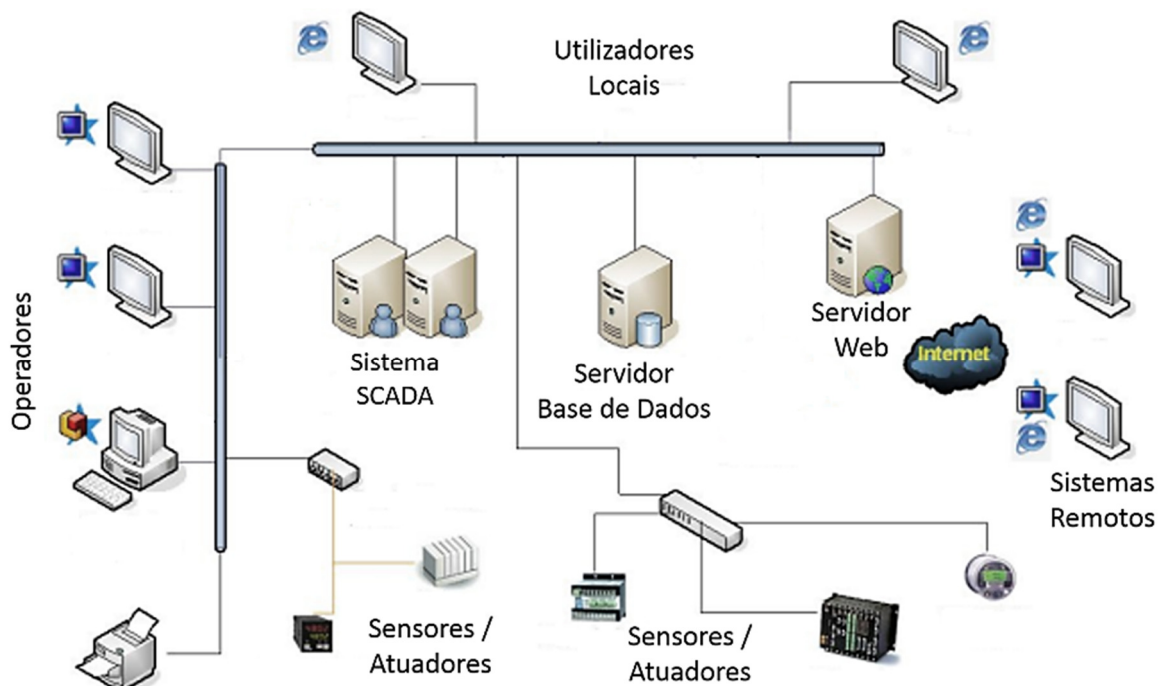


Figura 2-1: Sistema SCADA [http#10].

Os sistemas de supervisão e aquisição de dados permitem que sejam monitorizadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são recolhidas por intermédio de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, são tratados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao utilizador. Estes sistemas são designados de Controlo Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA). A informação apresentada por estes sistemas ao utilizador é amigável, recorrendo a interfaces gráficas de fácil utilização/compreensão para o utilizador [http#2].

Os sistemas SCADA podem ainda informar o utilizador quando algum sistema está fora dos padrões normais de funcionamento, emitindo avisos ou alarmes previamente estabelecidos no sistema, alertando o utilizador local e/ou remoto por intermédio de envio de mensagens de correio eletrónico, mensagens de texto para telemóvel (SMS), entre outras possibilidades. Permitem ainda guardar todos os dados recolhidos do sistema, dos eventos ocorridos e alarmes que o sistema venha a gerar [http#2].

Os componentes de um sistema SCADA podem ser resumidos de forma simplificada em [http#2]:

- Sensores – Dispositivos ligados aos equipamentos controlados e monitorizados pelo SCADA. Convertem parâmetros físicos tais como a corrente, tensão, temperatura, entre outros, em sinais analógicos e/ou digitais capazes de ser interpretados pela estação remota.
- Atuadores – São dispositivos utilizados para atuar sobre o sistema, permitindo interagir (por exemplo ligar ou desligar) com determinados equipamentos.
- Rede de comunicação – É o meio pela qual a informação é trocada entre os sensores e atuadores e entre o sistema de aquisição de dados e o sistema SCADA. Dependendo dos requisitos do sistema e da distância entre os diversos equipamentos, as redes de comunicação podem ser implementadas em diversas tecnologias, tais como: Fibra Ótica, cabos de pares de cobre UTP/SFTP, linhas telefônicas, *Modems GSM*, RS-485, RS-232, *Wireless*⁴, *Zigbee*⁵, entre outras.
- Estações remotas (Aquisição/Controlo) – São responsáveis pela aquisição dos dados provenientes dos sensores e/ou pelo envio de comandos para os atuadores. Possuem a capacidade de realizar cálculos ou controlo em função das entradas recebidas.
- Monitorização central (sistema computacional SCADA) – São as unidades principais dos sistemas de supervisão e controlo, sendo responsáveis por recolher a informação gerada pelas estações remotas e agir em conformidade com os eventos detetados. Estes sistemas podem ser centralizadores de toda a informação ou estarem distribuídos por uma rede de computadores que partilham a informação entre si.

O funcionamento de um sistema SCADA consiste na comunicação com as estações remotas de campo, sendo este responsável por distribuir e coordenar a informação nos diferentes módulos que o constituem e a sua apresentação ao utilizador.

As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas SCADA evoluíram bastante nos últimos anos, o que tem tornado estes sistemas cada vez mais fiáveis e robustos. Cada vez mais estes sistemas apresentam ferramentas que permitem diminuir o tempo gasto na configuração e adaptação do sistema às necessidades de cada instalação. Atualmente, os sistemas SCADA estão a caminhar no sentido de eliminar a necessidade de existirem estações remotas para aquisição de dados para o sistema, apostando em sistemas centralizados capazes de recolher a informação diretamente na fonte [http#2].

⁴ Wireless – é a transferência de informação sem a utilização de cabos.

⁵ Zigbee – é um conjunto de especificações para a comunicação sem-fio, de baixa potência de operação, baixa taxa de transmissão de dados e baixo custo de implantação.

2.3. Sistemas de Supervisão e Controlo em Instalações Fotovoltaicas

Todos os sistemas de monitorização de instalações fotovoltaicas de pequena, média e grande dimensão têm como características comuns a possibilidade de recolha de dados dos diversos equipamentos existentes tais como:

- Inversores;
- Sensores meteorológicos;
- Contadores de energia.

As informações recolhidas dos diferentes equipamentos pelos sistemas locais de supervisão e controlo são normalmente enviadas para sistemas de supervisão e controlo centrais. Podem utilizar diversas tecnologias e sistemas de controlo, podendo ir de sistemas de controlo e supervisão SCADA complexos até sistemas mais básicos.

A escolha do sistema de supervisão e controlo a adotar a cada especificidade de cada instalação fotovoltaica está normalmente relacionada com o tipo de equipamentos que a constituem e da sua dimensão. Assim para a escolha do sistema de monitorização a adotar na instalação é necessário realizar uma análise dos equipamentos que a constituem, qual o meio de comunicação de cada equipamento e a sua dimensão, para definir qual o sistema de monitorização mais adequado [6].

Na Figura 2-2 está representada uma arquitetura genérica de um sistema de supervisão e controlo utilizado em instalações fotovoltaicas.

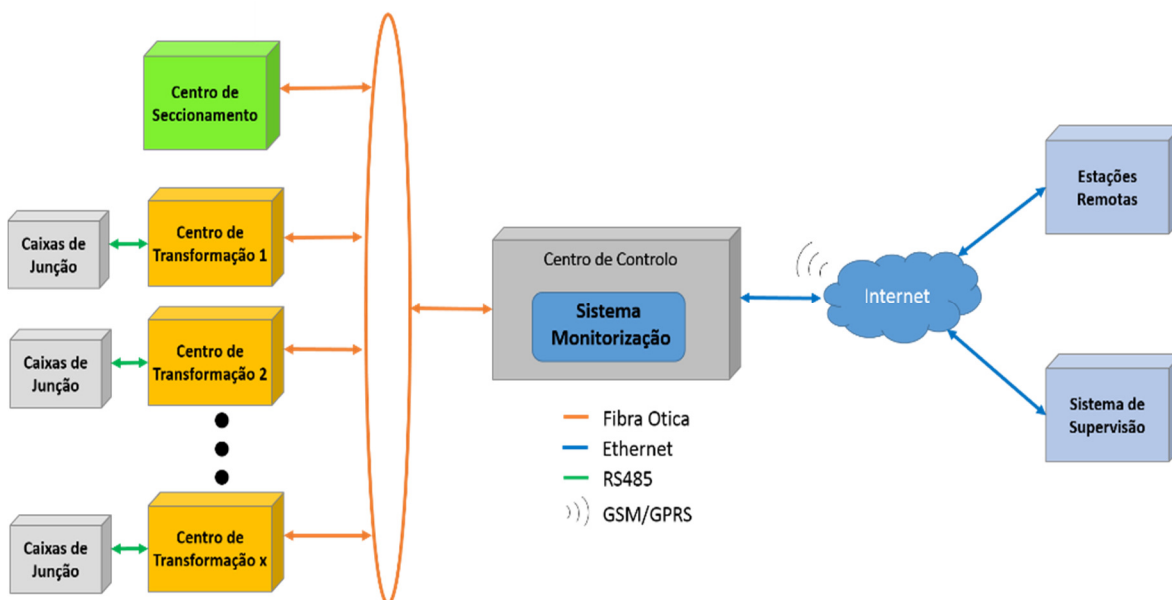


Figura 2-2: Arquitetura do sistema de supervisão e controlo genérica de uma instalação fotovoltaica [6].

Os sistemas SCADA estão estruturados por blocos ou módulos permitindo uma maior flexibilidade e robustez consoante o objetivo que se deseja. Estas tarefas podem ser divididas de uma forma geral em:

- Núcleo de processamento;
- Comunicação com estações remotas;
- Gestão de Alarmes;
- Histórico de dados e base de dados;
- Lógica de programação interna (“*Scripts*”⁶) ou controlo;
- Interface gráfica;
- Relatórios;
- Comunicação com serviços externos;
- Outros.

2.3.1. Equipamentos de Supervisão e Controlo Existentes no Mercado

No mercado existe atualmente uma grande variedade de sistemas de supervisão e controlo, em que as características comuns são recolher e armazenar os dados provenientes dos equipamentos de campo. Alguns destes sistemas possuem mais funcionalidades que outros. Isto é, permitem a integração de equipamentos de varias marcas como é o caso dos sistemas SCADA. No entanto existem outros que apenas permitem trabalhar com equipamentos da própria marca (um exemplo são os sistemas de monitorização comercializados pelas próprias marcas de inversores). Sendo estes sistemas utilizados para aplicações muito específicas, o seu custo é normalmente elevado.

Dependendo da dimensão da instalação fotovoltaica podemos agrupar os sistemas de monitorização e controlo a instalar em sistemas fotovoltaicos de acordo com a potência instalada em três níveis:

- Nível 1 - instalações com potência instalada inferior a 50kW – Instalações sem instalação de sistemas de monitorização devido ao custo deste sistema representa face ao valor da instalação fotovoltaica;
- Nível 2 - instalações com potência instalada entre 50kW e 500kW – Recorrem ao uso de equipamentos de monitorização tais como: Solar-Log, *Sunny Webbox*, Aurora CCD, SenNet;
- Nível 3 - instalações com potência instalada superior a 500kW – Recorrem a Sistemas de monitorização SCADA de complexidade elevada.

O desenvolvimento do sistema de monitorização resultante do trabalho de dissertação está integrado nos sistemas de supervisão de Nível 2.

⁶ *Scripts* – Blocos de código pré programados para execução de uma determinada tarefa.

2.3.1.1. Sistemas de Nível 1

Este tipo de instalações não existe instalação de sistemas de monitorização devido ao custo do sistema, e a instalação fotovoltaica é composta por um número muito reduzido de equipamentos. A deteção de avarias neste tipo de instalação é rápida não se justificando a instalação de sistema de monitorização.

2.3.1.2. Sistemas de Nível 2 – Equipamentos de Monitorização e Controlo

São equipamentos que realizam funções idênticas ao sistema SCADA, só que são mais limitados ao nível das suas funcionalidades, dos equipamentos que podem monitorizar, e no tipo de redes de comunicação que utilizam, possuem ainda a limitação do número de equipamentos que podem ser ligados ao sistema. Alguns destes equipamentos possuem protocolos proprietários e o seu custo é inferior ao de um sistema SCADA. Na Figura 2-3 podemos observar uma arquitetura de um sistema de monitorização de Nível 2 [6].

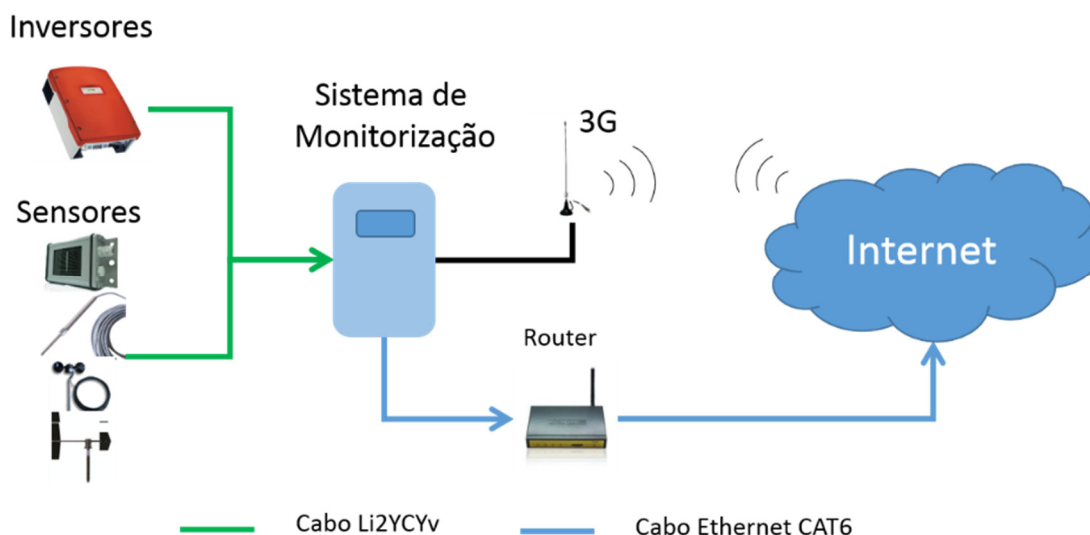


Figura 2-3: Arquitetura de um sistema monitorização e controlo de Nível 2 [6].

Após análise ao mercado na procura de sistemas de monitorização e controlo de Nível 2, identificaram-se os seguintes equipamentos:

- Solar-Log;
- SMA - *Sunny Webbox*;
- Power One – Aurora CDD;
- SenNet.

Solar-Log

A Solar-Log é um equipamento de monitorização capaz de monitorizar uma vasta quantidade de marcas e modelos de inversores através do protocolo RS-485 ou RS-232, possui uma estação meteorológica da marca *Ingenieurbüro* que é composta pela célula de irradiação com sensor de temperatura do módulo, sensor de temperatura do ambiente e anemómetro.

Na Figura 2-4 estão representados os três modelos da *Solar-Log*.



Figura 2-4: Modelos *Solar-Log* [http#3].

As suas principais características são [http#3]:

- Comunicação série RS-485/422 “*Half e Full-Duplex*”;
- Comunicação série RS-232;
- Comunicação com uma grande variedade de marcas e modelos de inversores;
- Comunicação com estação meteorológica da marca *IngenIeurbüro*;
- Comunicação com analisadores de energia específicos por RS-485;
- Entrada/Saída S0 para ligação de contadores por impulsos segundo a norma DIN EN 43864/IEC 61393;
- *Modem GPRS*;
- Comunicação *Ethernet* para interligação com a Internet;
- Modbus⁷ TCP/IP para integração com sistemas de supervisão externos;
- Comunicação *Wireless*;
- Comunicação CAN;
- Servidor local;
- Página de Internet local;
- Porta *USB*;
- Entradas digitais;
- Alguns modelos possuem ecrã tátil;
- Gestão e envio de Alarmes;
- Permite monitorizar desde 1 inversor na versão *Solar-Log 200* até ao máximo 100 inversores com a *Solar-Log 1000*;
- Permite monitorizar plantas fotovoltaicas com potência gerada desde 15kWp até 1000kWp;
- *Datalogger*.

⁷ Modbus – é um protocolo de comunicação de dados, mais utilizado em sistemas de automação industrial.

Sunny Webbox

A *Sunny Webbox* é um sistema de supervisão e controlo proprietário do fabricante de inversores SMA. Permite apenas monitorizar equipamentos da própria marca. Na Figura 2-5 mostra-se o sistema de supervisão e controlo *Sunny Webbox*.



Figura 2-5: *Sunny Webbox* [http#4].

As suas principais características são [http#4]:

- Comunicação série RS-485;
- Comunicação com inversores proprietários da marca;
- Comunicação com estação meteorológica proprietária do fabricante;
- Entrada/Saída S0 para ligação de contadores por impulsos segundo a norma DIN EN 43864/IEC 61393;
- *Modem GPRS*;
- Comunicação *Ethernet*;
- Modbus TCP/IP para integração com sistemas de supervisão externos e comunicação com inversores;
- Comunicação *Wireless*;
- Servidor local;
- Página de Internet local;
- Porta *USB*;
- Gestão e envio de Alarmes;
- Permite monitorizar até 100 inversores (50 inversores por comunicação Modbus e 50 inversores por comunicação Modbus TCP/IP);
- *Datalogger*.

Power One – Aurora CDD

À semelhança da *Sunny Webbox*, é um sistema de supervisão e controlo proprietário do fabricante de inversores Power One. Permitindo apenas ligar equipamentos da própria marca. Na Figura 2-6 apresenta-se o sistema de supervisão e controlo *Aurora CDD* (Power-One).



Figura 2-6: Aurora CDD [http#5].

As suas principais características são [http#5]:

- Comunicação série RS-485;
- Comunicação com estação meteorológica proprietária do fabricante;
- Comunicação *Ethernet*;
- Comunicação *Wireless*;
- Servidor local;
- Página de Internet local;
- Gestão e envio de Alarmes;
- Permite monitorizar até 30 micro inversores.

SenNet

É um sistema de supervisão e controlo que permite, à semelhança da Solar-Log, monitorizar algumas marcas de inversores, sensores ambientais e contadores de energia de diferentes marcas. Na Figura 2-7 é apresentado o sistema de supervisão e controlo *SenNet* [http#6].



Figura 2-7: SenNet Solar [http#6].

As suas principais características são [http#6]:

- Comunicação série RS-485;
- Comunicação série RS-232;

- Comunicação com alguma variedade de marcas de inversores;
- Comunicação com estação meteorológica do próprio fabricante;
- Comunicação com analisadores de energia;
- Monitorização de contadores por porta de comunicação com as normas IEC 870-5-102 or DLMS;
- *Modem GPRS*;
- Comunicação *Ethernet*;
- Comunicação *Wireless*;
- Comunicação CAN;
- Servidor local;
- Página de Internet local;
- Entradas digitais;
- Saídas Analógicas;
- Gestão e envio de Alarmes;
- *Datalogger*.

Qualquer um destes sistemas de controlo pode ser utilizado para realizar a monitorização de instalações fotovoltaicas de pequena e média escala, dependendo da marca e modelo dos inversores instalados, do tipo de comunicação a realizar com o contador de energia, escolhe-se o sistema de monitorização a instalar. Todos estes sistemas armazenam os dados localmente durante um período de tempo máximo que é definido pelo fabricante e permite o envio de dados para servidores remotos. Para alguns destes sistemas, além do custo inicial do sistema, é necessário o pagamento de um valor mensal ou anual para que o cliente tenha acesso aos dados da sua instalação através de uma página *web* alojada no servidor do fabricante do sistema de monitorização.

2.3.1.3. Sistemas de Nível 3 – Software SCADA

Este tipo de *software* é utilizado particularmente em sistemas fotovoltaicos de grandes dimensões e em alguns de média dimensão, os quais são constituídos por um grande número de equipamentos e por diversos tipos e meios de redes de comunicação. Sendo estes sistemas capazes de se ajustarem às necessidades da instalação fotovoltaica presentes e futuras. Estes sistemas são flexíveis e adaptativos [6].

São sistemas com um custo bastante elevado. Na Figura 2-8 podemos observar uma arquitetura de um sistema SCADA.

As suas principais vantagens são:

- Suportarem todo o tipo de redes de comunicação;
- Comunicação com quase todo o tipo de equipamentos;
- Servidor local;
- Não possuem limite do número de equipamentos ligados ao sistema.

Tem como desvantagens:

- O seu elevado custo;
- Necessários técnicos especializados para o seu desenvolvimento.

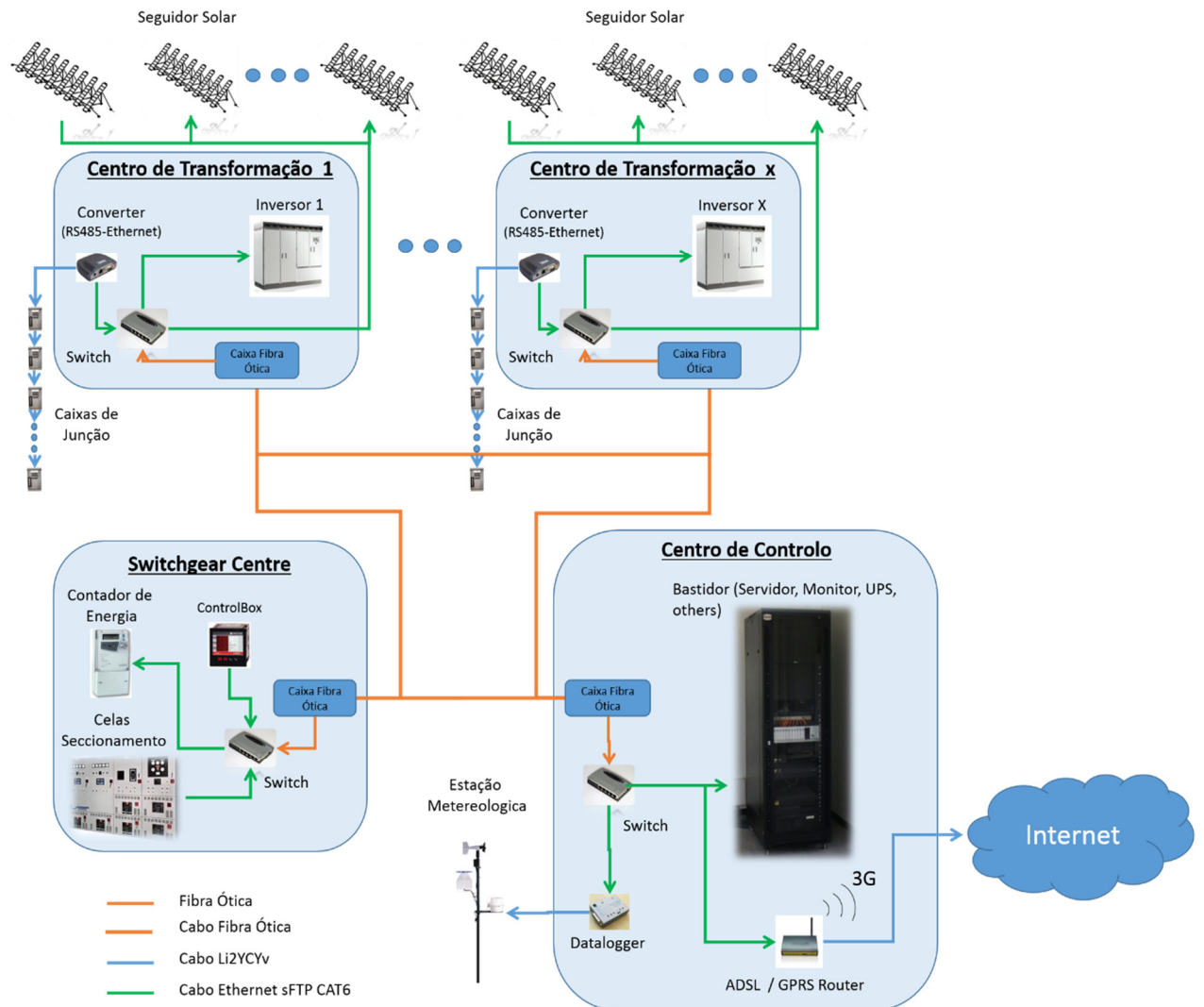


Figura 2-8: Arquitetura sistema de monitorização e controlo de Nível 3 [6].

Capítulo 3 Hardware

3.1. Introdução

Neste capítulo é feita uma breve descrição dos principais equipamentos utilizados em instalações fotovoltaicas, tais como:

- Inversor;
- Estação meteorológica;
- Contador de energia.

Dos quais fazem parte do trabalho desta dissertação a estação meteorológica e o contador de energia.

Descreve-se ainda a placa microcontroladora Arduino que será a base do sistema de monitorização a desenvolver e terá como funções a aquisição e armazenamento de dados dos sensores que constituem a estação meteorológica e de energia provenientes do contador de energia.

Para a concretização das tarefas do presente trabalho de dissertação foi necessário recorrer ao uso e desenvolvimento de algumas placas de expansão que serão integradas com o Arduino por forma a dotar este com todos os meios necessários de forma a poder atingir o objetivo final desta dissertação.

Por fim, serão descritos os meios físicos de comunicação utilizados para a comunicação entre o contador de energia e a estação meteorológica. Os protocolos de comunicação utilizados para realizar a comunicação entre o sistema de monitorização e o contador de energia Itron SL7000 e a estação meteorológica.

3.2. Inversores

Os inversores são equipamentos que ocupam um papel preponderante nas instalações fotovoltaicas. A sua função é converter corrente contínua (CC) proveniente dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (AC), ajustando a frequência e a tensão aos níveis da rede onde está ligado (em Portugal: frequência = 50Hz e sistema de tensões = de 230/400V) que pode ser utilizada para alimentar cargas locais ou injetada na rede de distribuição de energia. Como exemplo, na Figura 3-1 é possível visualizar um inversor utilizado em instalações fotovoltaicas.



Figura 3-1: Inversor Solar SUNNY BOY [http#11].

Os inversores solares podem-se classificar em 3 tipos:

- Inversores autónomos – Inversores que não estão ligados às redes de distribuição, funcionando autonomamente (sistemas isolados);
- Inversores ligados à rede – Inversores que dependem da sincronização com a rede de distribuição para o seu funcionamento;
- Inversores de reserva de bateria – Inversores especiais que são projetados para trabalharem com baterias, fazendo a gestão de carga e descarga da bateria e entregando a rede de distribuição a energia excedentária.

Os inversores utilizados em instalações fotovoltaicas são inversores com ligação à rede de distribuição e possuem características especiais, como o controlo do ponto máximo potência (MPPT), para garantir o máximo de rendimento dos módulos fotovoltaicos, e a função “anti-ilhamento” (anti-islanding), de forma a garantir que, se ocorrer alguma anomalia na rede de distribuição onde estes estão ligados, e esta falhar, os mesmos se isolem da rede num curto espaço de tempo.

3.3. Estação Meteorológica

As estações meteorológicas são constituídas por vários sensores, tais como sensor de irradiância, sensor de temperatura ambiente, anemômetro entre outros, e medem as diversas grandezas meteorológicas (ver Figura 3-2) [4].

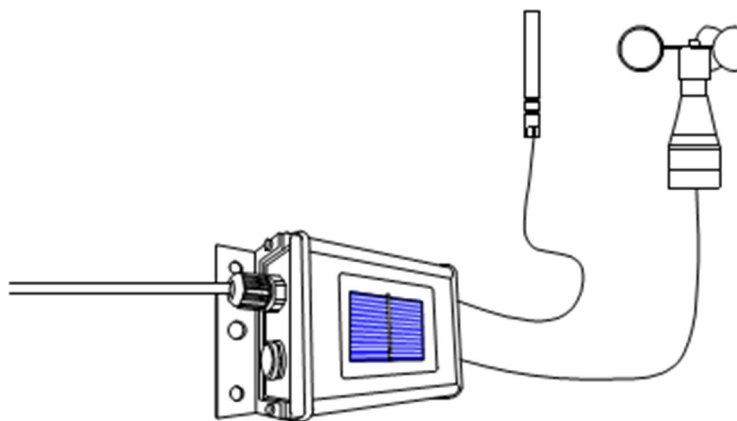


Figura 3-2: Estação Meteorológica [4].

A estação meteorológica é um dos componentes essenciais da instalação fotovoltaica, permite adquirir os dados meteorológicos referentes ao local da instalação de modo a que se possa efetuar o cálculo do rendimento do sistema (PR).

Os dados obtidos pelas estações meteorológicas são normalmente armazenados pelos sistemas em base de dados para permitir posterior análise.

3.3.1. Sensor de irradiância

Os sensores de irradiância são elementos fulcrais nas instalações fotovoltaicas. São os responsáveis pela medição da quantidade de energia solar que incide nos módulos fotovoltaicos. Permitem ajudar a identificar desvios entre o potencial de energia da produção e a produção atual de energia do sistema, oferecendo assim valores estatísticos com muita relevância em relação à qualidade da produção total da instalação fotovoltaica. Este sensor fornece um valor de referência para a radiação solar e permite tirar conclusões sobre possíveis problemas de geração.

As células solares são construídas na sua grande maioria por silício (Si) podendo ser constituídas por cristais monocristalinos, policristalinos ou silício amorfo. O tipo de material e de cristais a utilizar nestas células de referência está dependente do tipo de módulos fotovoltaicos instalados, já que a célula responsável pela medição da irradiação solar na instalação tem de possuir as mesmas características que os módulos instalados por forma a que os valores registados pela célula sejam uma referência da instalação fotovoltaica.

Numa instalação fotovoltaica podem existir mais do que uma célula de referência. O número de células existentes numa instalação fotovoltaica depende do número de orientações, do número de inclinações e do tamanho da instalação fotovoltaica.

Quando existe mais do que uma célula de referência numa instalação fotovoltaica o valor da irradiação que é armazenado pelo sistema de monitorização vai ser o de cada célula em separado, sendo que para o cálculo do rendimento do sistema, o valor da irradiância que é utilizado é o valor resultante do cálculo da média aritmética do mesmo período temporal dos dados de todas as células existentes na instalação fotovoltaica.

A estação meteorológica utilizada nesta dissertação é denominada *Sensor Box*, do fabricante *Ingenleurbüro*. O sensor de irradiância utilizado é o modelo Si-RS-485-TC-2T-v, ilustrado na Figura 3-3.

Este sensor é constituído por uma única célula solar e deve ser instalado no mesmo ângulo dos módulos fotovoltaicos, fazendo com que este sirva como valor de referência ideal [4].



Figura 3-3: Sensor de Irradiância [http#12].

Uma célula solar de silício pode ser utilizada como sensor de irradiância, porque a sua corrente é proporcional à irradiância. O sensor é construído com uma célula solar monocristalina. Devido à baixa resistência do shunt, a célula trabalha junto à sua zona de curto-circuito.

A medição dos sinais da corrente de curto-circuito da célula e do valor da resistência do sensor da temperatura são medidos por um microcontrolador. Os valores calculados da irradiância e da temperatura são disponibilizados através da interface RS-485, com o protocolo M&T do fabricante desta estação meteorológica [7]. O *datasheet* deste sensor pode ser consultado no Anexo 4.

No Quadro 3-1 são referenciadas as características principais do sensor de irradiância utilizado.

Quadro 3-1: Características do Sensor de irradiância Si-RS-485-TC-2T-v [http#12].

Célula fotovoltaica	Silício Monocristalino (50mm x 33 mm)
Corrente de <i>shunt</i>	0,1 Ω (TK = 30 ppm / K)
Temperatura de Operação	-20°C a 70°C
Ligação elétrica	Através de 3 m de cabo a prova de água e resistente aos raios UV (Ultra Violeta)

Tensão de Alimentação	12 to 28 VDC (40 mA a 20 VDC)
Interface	RS-485 até 19200 bps
Protocolo	M&T, Modbus, específica do fabricante
Isolamento Galvânico	1000V entre a fonte de alimentação e o bus RS-485
Involucro, Modo de proteção	Revestido a alumínio, IP65
Dimensões, peso:	155 mm x 85 mm x 40 mm, ± 360 g
Erro com compensação de temperatura, comparado com um piranómetro com temperaturas de operação entre -20°C até 70°C e um feixe de irradiância vertical.	$\pm 5\%$
Erro à temperatura máxima e mínima	$\pm 1.0^{\circ}\text{C}$
Saída para sensor de temperatura	1
Saída para sensor de velocidade de vento	1

É de salientar que os dados fornecidos por este modelo de sensor não necessitam de qualquer operação de conversão nem compensação devido à temperatura. Estes valores vão ser adquiridos por um microcontrolador, o qual vai realizar a conversão do valor de tensão dado pela célula de irradiância disponibilizando na sua saída o valor da irradiação correspondente.

3.3.2. Sensor de temperatura ambiente

O sensor de temperatura ambiente é uma PT1000, que permite obter os valores de temperatura ambiente da instalação fotovoltaica. Este sensor tem como finalidade o registo das temperaturas ambientes do local da instalação fotovoltaica, de modo a poderem ser tomadas medidas preventivas que podem advir de condições climáticas adversas. Sendo que um problema que pode surgir e contribuir para baixos rendimentos, é a combinação de baixas temperaturas e baixa irradiação que pode originar acumulação de gelo levando a uma produção baixa. Deste modo, através do sensor de temperatura ambiente podem detetar-se as baixas temperaturas que em combinação com os valores registados pelas células de referência pode confirmar-se a presença deste problema.

No decorrer deste trabalho foi utilizado o sensor de temperatura ambiente ilustrado na Figura 3-4 da marca *Ingenieurbüro*, modelo PT1000 1/3 classe B [8]. Este sensor é utilizado para medir a temperatura ambiente do local da instalação fotovoltaica. O *datasheet* do sensor pode ser consultado no Anexo 6.



Figura 3-4: Sensor temperatura ambiente PT1000 utilizado [8].

No Quadro 3-2 são evidenciadas as características do sensor de temperatura ambiente.

Quadro 3-2: Características do sensor de temperatura ambiente [8].

Temperatura de operação	-25°C a +75°C
Involucro do sensor	Tubo de aço INOX com 6 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento
Cabo	LiYC11Y, 4 x 26 AWG, com 1,5m de comprimento, cor preta, resistente a água e raios UV
Conector	Blindado da série 712
Proteção	IP67

Como o sensor de temperatura está ligado ao sensor de irradiância, o microcontrolador vai realizar a conversão dos sinais vindos do sensor de temperatura para um valor de temperatura em graus centígrados (°C) na sua saída.

3.3.3. Sensor de Velocidade do Vento

Existem vários tipos e formas de anemômetros, mas os mais comuns são os anemômetros de conchas (semiesferas ocas). Estes sensores tem como finalidade a medição da velocidade do vento.

Este tipo de anemômetros são constituídos por três ou mais conchas montadas simetricamente formando ângulos retos com um eixo vertical, conforme ilustra a Figura 3-5. Quando os braços giram, regista-se a velocidade que é determinada pelo número de rotações do instrumento. A sua velocidade de rotação depende da velocidade do vento, independentemente da direção do mesmo.



Figura 3-5: Sensor de velocidade vento – Anemômetro utilizado [9].

O anemômetro tem aplicação, não apenas em meteorologia, mas em diversos estudos sobre a aerodinâmica. A sua aplicação em instalações fotovoltaicas tem como objetivo dar

informação acerca da velocidade do vento medida na localização onde a instalação fotovoltaica está instalada.

A instalação deste sensor será efetuada numa localização e a uma altura adequada (representativa da instalação fotovoltaica) e em local onde não sejam criadas quaisquer sombras sobre os módulos adjacentes.

O anemómetro utilizado neste trabalho é composto por um anemómetro de conchas, ilustrado na Figura 3-5 da marca *Ingeniurburo*, cuja finalidade é obter os dados da velocidade do vento no local da instalação fotovoltaica. O *datasheet* do anemómetro pode ser consultado no Anexo 5.

No Quadro 3-3 são apresentadas as características do anemómetro utilizado neste trabalho.

Quadro 3-3: Características do anemómetro [9].

Tipo de sensor	Anemómetro de conchas
Sinal	0..40 m/s (60 m/s durante curtos períodos)
Precisão	0.5 m/s ou 5% da leitura
Cabo	LiYC11Y, 4 x 26 AWG, com 1,5m de comprimento, cor preta, resistente a água e raios UV
Conector	Blindado da série 712
Proteção	IP67

À semelhança do sensor de irradiância e do sensor de temperatura, este sensor encontra-se ligado ao microcontrolador. Este vai interpretar os sinais provenientes do transmissor do anemómetro e realizar a sua conversão, disponibilizado o valor da velocidade do vento na sua saída em m/s.

3.4. Contadores de Energia

Os contadores de energia são dispositivos eletromecânicos ou eletrónicos e mais recentemente os contadores eletrónicos ditos inteligentes, todos eles tem como finalidade a medição de energia elétrica consumida ou produzida. De seguida apresenta-se uma breve descrição destes tipos de contadores.

3.4.1. Contadores eletromecânicos de indução

Os contadores eletromecânicos de indução (ver Figura 3-6 (htt6)) são o tipo de contadores mais comuns. O seu funcionamento é feito por meio da contagem das rotações de um disco de alumínio que roda a uma velocidade proporcional à potência instalada, correspondendo o número de rotações, ao consumo total num período de tempo. Neste tipo de contadores, o disco é acionado através de duas bobinas, nas quais uma delas encontra-se ligada de modo a produzir um fluxo magnético proporcional à tensão, enquanto a outra cria um fluxo magnético

proporcional à corrente. Sendo assim, o campo da primeira bobina atrasado de 90° por intermédio de uma bobina de compensação, que induz uma corrente de Foucault no disco, de tal forma que é exercida sobre este uma força proporcional ao produto da tensão e da corrente. Um íman permanente exerce uma força de travagem. O equilíbrio gerado entre as duas forças opostas faz com que o disco rode proporcionalmente à potência utilizada. A forma de visualização do consumo neste tipo de contador é efetuada manualmente por visionamento do mesmo [http#7].

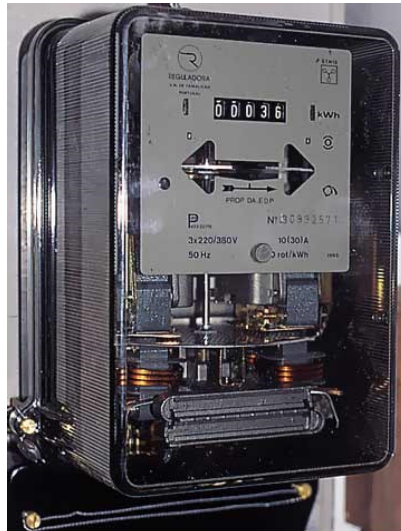


Figura 3-6: Contador Eletromecânico [http#13].

3.4.2. Contadores eletrónicos

Os contadores eletrónicos (ver Figura 3-7) são versões mais modernas que os contadores de indução. Utilizam tecnologias de estado sólido que permitem medir os consumos com um maior nível de precisão apresentando-as em ecrãs LCD, e alguns contadores mais recentes permitem mesmo ler os valores à distância. Este tipo de contador para além de medir a energia elétrica, registam outras grandezas, tais como o fator de potência, a potência reativa, tensão e corrente, podendo mesmo ter funções de relógio para calcular valores de tarifas associadas ao consumo em períodos distintos do dia, da semana, ou do ano [http#7].



Figura 3-7: Contador Eletrônico [http#7].

3.4.3. Contadores inteligentes

Os contadores inteligentes, ver Figura 3-8 são a geração mais recente de contadores de energia.



Figura 3-8: Contador Eletrônico Inteligente [http#14].

De entre as suas funcionalidades adicionais encontra-se a capacidade de efetuar leituras em tempo real, a possibilidade de informar sobre falhas de energia, e a monitorização da qualidade da energia fornecida. Permite às empresas introduzirem diferentes tarifas de consumo dependendo do período do dia ou da época do ano. Estas diferenças de preços podem ser usadas para reduzir os picos de procura, assim como diminuir a necessidade de utilização de centrais elétricas adicionais [http#7].

O contador de energia utilizado no âmbito do trabalho da dissertação é o Itron SL7000 e enquadra-se nos contadores inteligentes, visto possuir todas as características descritas anteriormente [http#7].

3.4.4. Contador de energia Itron SL7000

O contador de energia utilizado no trabalho desta dissertação foi o Itron SL7000, modelo SL761A071, que se ilustra na Figura 3-9 (Itron). Está inserido nos contadores inteligentes, suporta as novas necessidades emergentes da reestruturação e concorrência do mercado elétrico, bem como da contagem clássica. Encontra-se disponível em várias versões para adaptar às necessidades e particularidades de cada instalação.

O contador de energia Itron SL7000 é um contador da nova geração, trifásico, programável e suporta aplicações de gestão e faturação nas normas IEC/DIN/BS de acordo com país onde está inserido.

Este contador pode ser usado em aplicações isoladas visto possuir um ecrã onde podem ser visualizados até 100 parâmetros diferentes, ou pode estar inserido numa rede de comunicação onde por intermédio de um *software* apropriado podem ser efetuadas leituras dos dados remotamente. Deste modo o contador Itron SL7000 oferece uma flexibilidade quanto às suas aplicações assim como simplicidade e confiabilidade na sua operação [http#7].



Figura 3-9: Contador Itron ACE SL7000 [http#15].

O contador Itron SL7000 é um sistema de medição completo que pode ser montado numa simples calha “DIN”. Possui várias funcionalidades de entrada/saída e várias portas de comunicação (porta ótica [em conformidade com a norma IEC 671107] e elétrica [de acordo com as normas RS-232 e RS-485]). O contador íntegra medição de energia, potência máxima e perfis de carga (até 8 canais) numa única unidade [20].

A qualidade da tensão e eventos de diagnóstico são guardados num registo de eventos juntamente com a sua data de ocorrência, podendo armazenar as últimas 500 ocorrências e guarda em memória os registos dos dados [20].

Uma fonte de alimentação trifásica redundante e auto ajustável desde os 3x54V até 3x240/415V, juntamente com uma gama de medição extremamente ampla faz com que este tipo de contadores seja ideal para uso em várias instalações dentro de uma área de serviços.

O contador Itron SL7000 pode ser configurado para ser utilizado em ligações a trifásicas a 4 fios ou a 3 fios, para ligações diretas ao contador com uma corrente máxima compreendida entre 5 e 120A, ou por intermédio de transformadores de corrente com valores compreendidos entre 1 a 10A, permitindo ligações com ou sem neutro. Pode ser utilizado para frequências de rede de 50 Hz e 60 Hz. No Anexo 1 pode consultar-se as características técnicas [20].

Este equipamento gera vários tipos de informação metrológica que permite a gravação de múltiplos perfis de carga para aplicações de faturação. Estes dados também garantem os corretos funcionamentos da rede assegurando a monitorização da qualidade da tensão e da segurança da rede visto guardarem em memória os valores da qualidade de tensão e eventos que a rede verificou, sendo posteriormente descarregados pelo operador da rede de distribuição. Está em conformidade com as normas IEC. Possui canais de comunicação separados para ligações locais e remotas, sendo possível a utilização simultânea. Estes canais de comunicação utilizam o protocolo de comunicação DLMS/COSEM que agrupa num só protocolo diversas normas IEC [20].

São utilizados em aplicações comerciais e industriais, devido às suas entradas multi-energia que tem a particularidade de realizar automaticamente os somatórios, reduzindo assim a necessidade de concentradores de dados adicionais. A sua aplicação em subestações é comum, visto serem precisos, lineares e garantirem a alta qualidade dos dados recolhidos, e como fornecem uma grande variedade de dados instantâneos e diversas grandezas, são de grande utilidade para a monitorização das redes de energia [20].

No Quadro 3-4 apresentam-se as principais características do contador Itron SL7000.

Quadro 3-4: Características Itron SL7000 [20].

Características	
Multi-Energia	Medição interna de potência ativa e aparente em cada sentido, e separadamente por fase Quatro entradas de impulsos fornecem informação adicional de contagem (versões com linhas de In/Out)
Perfis de Carga	Podem armazenar até oito canais de carga para várias quantidades base
Multi-Tarifa	Faturação multi-tarifa para energia e diferentes períodos horários
	Dez grandezas base podem ser submetidas para faturação;
	Disponíveis 32 registos de tarifas de energia e 24 registos de tarifas de diferentes períodos horários
	Comutação de tarifa desempenhada principalmente por relógio interno
Qualidade de Tensão	Registo da qualidade da tensão e corrente

Valores Nominais	Tensão	3*240/415 V auto ajustável
	Corrente	I _n 5A, I _{máx} 120A
	Ligação a TI	I _b 1A, I _{máx} 10A
Tipos de Rede	Ligação direta	Contador de 4 fios, completamente operacional com ligação de 3 fios sem neutro.
	Ligação a TI e TT	Ligações configuráveis a 3 e 4 fios
Frequência	50 / 60 Hz	
Gama de Temperatura	-40°C a +70°C	
Normas	Plena conformidade com IEC 61036, IEC 60687 e normas da marca CE (mecânicas, climáticas, elétricas, eletromagnéticas, metrológicas)	
Comunicações	Porta IR (IEC61107), RS-232 Opcional e/ou RS-485, DLMS/COSEM.	
	Protocolo (IEC 62056)	
Acessórios		
Comunicações	<i>Modem</i> de telefone externo	
	Saídas para dispositivos externos de comunicação	
	Dispositivo de leitura IR para ligação a PC	
Configuração/Calibração	<i>Software</i> de cliente para monitorização de comunicação	
	<i>Software</i> de utilização para configuração	
	<i>Software</i> de utilização para calibração.	
Ferramentas de instalação	Etiquetas de razão de transformação	
	Conjunto de selagem	
Documentação	Certificado de teste	
	Guia do utilizador	
	Manual de Instalação	

3.5. **Arduino**

“O Arduino surgiu em 2005, em Itália, desenvolvido pelo professor Massimo Banzi, que queria ensinar eletrónica e programação de computadores aos seus alunos de *design*, para o poderem usar nos seus projetos de arte, com o objetivo de serem interativos e robotizados. Porém, ensinar eletrónica e programação a pessoas que não são da área não era uma tarefa fácil, outra dificuldade era a inexistência de placas multifuncionais e com grandes capacidades e de baixo custo no mercado. Foi com base nessa premissa que Massimo e David Cuartielles decidiram criar sua própria placa, com a ajuda do aluno David Mellis, que ficou responsável por criar a linguagem de programação do atual Arduino. Várias pessoas conseguiram utilizar o Arduino e realizar experiências incríveis com relativa facilidade, originando assim a febre mundial com a eletrónica” [http#8].

“Podemos simplesmente referir-nos ao Arduino como uma peça de *hardware* ou como um *software* de desenvolvimento, mas é muito mais que isso. Devido ao sucesso que tem vindo a alcançar ao longo do tempo, existe uma enorme comunidade de utilizadores/seguidores em todo o Mundo, podendo afirmar-se que o Arduino representa também uma enorme comunidade. As razões deste sucesso baseiam-se no seu baixo custo (dadas as suas potencialidades), na simplicidade na sua utilização e na possibilidade de integração em vários sistemas operativos, como o Windows, Macintosh OS e Linux.

O estudo do Arduino abre as portas à compreensão de uma importante ferramenta de desenvolvimento através de uma aprendizagem simples, mas dedicada, onde se podem criar desde robots a domótica, entre muitas outras aplicações, bastando simplesmente ter imaginação” [http#9].

3.5.1. Compilador Arduino

Para o desenvolvimento implementação do *software* para o Arduino utilizou-se a ferramenta de programação IDE ilustrada na Figura 3-10. Esta ferramenta tem um ambiente de desenvolvimento baseado em *processing* e utiliza como linguagem de programação o C. É um *software* de desenvolvimento livre, podendo ser descarregado na página da Internet oficial do Arduino.

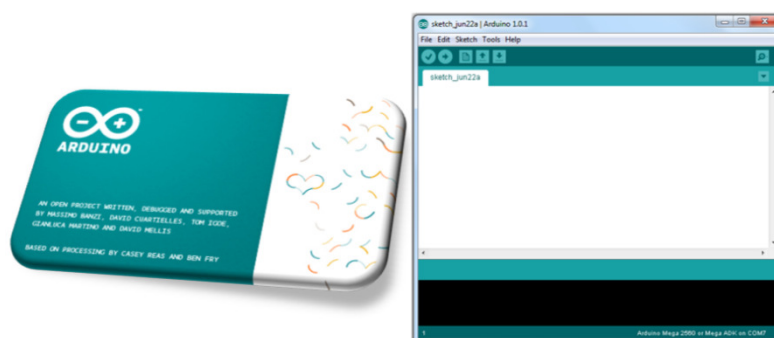


Figura 3-10: Arduino IDE [http#16].

Este ambiente de desenvolvimento é construído em Java, podendo assim ser utilizado em qualquer sistema operativo existente no mercado. Possui um ambiente de desenvolvimento amigável ao utilizador, extremamente simples e intuitivo de utilizar, possibilidade de integração de bibliotecas de modo a aumentar as suas possibilidades.

Este *software* de desenvolvimento do Arduino possui a particularidade já vir integrado com uma grande coleção de bibliotecas as quais possuem exemplos sobre as suas funcionalidades. Outra característica já referida anteriormente a facilidade de integração de novas bibliotecas que não exista. Para isso apenas é necessário descarregá-la da página de Internet do Arduino, ou de outra fonte onde esta esteja disponível, ou simplesmente criá-la.

3.5.2. *Hardware Arduino*

No que concerne ao *hardware* do Arduino, existem vários modelos disponíveis no mercado, cada um com as suas especificidades e particularidades. Dependendo da utilização para a qual vai ser utilizado, é necessário ter em consideração alguns aspetos fundamentais na escolha do modelo a adotar, tais como:

- Número de sinais analógicos e digitais que irão ser manipulados;
- Necessidade de utilização de portos de comunicação série;
- A capacidade de memória *flash*, para armazenamento do *software*;
- O tamanho da memória *EEPROM*;
- Necessidade de utilização de *shields*.

Partindo destes pressupostos, foi escolhido o Arduino Mega 2560, ilustrado na Figura 3-11, uma vez que inclui:

- Portos digitais para a ligação de um módulo de expansão com ecrã *touch*⁸ de 3,2 polegadas, 16 bits e leitor de cartão SD integrado;
- Módulo de expansão para comunicação *Ethernet*;
- 2 portos de comunicação série para comunicação série RS-485 com periféricos;
- Memória *flash*;
- 54 portos digitais (entrada/saída) onde 14 destes podem ser utilizados para saída de controlo PWM;
- 16 portos analógicos (entradas);
- 4 portas série (UARTs);
- 1 oscilador a cristal de 16Mhz;
- 1 porta USB série (para programação e/ou comunicação);
- 3 portas série síncronas para comunicação com periféricos;
- 1 barramento I2C com resistências de *pull-up* implementadas internamente;
- 1 entrada de alimentação;
- 1 ligação ICSP.

Como se pode visualizar na Figura 3-11 o Arduino possui todos os portos acessíveis ao utilizador, estes estão dispostos em linha nas laterais da placa de desenvolvimento, esta configuração de saídas não é igual para todos os modelos do Arduino, mas o princípio é igual para todos.

⁸ *Touch* – é um ecrã eletrónico que possui a capacidade de detetar a presença e localização de um toque dentro da área de exibição, por meio de pressão.

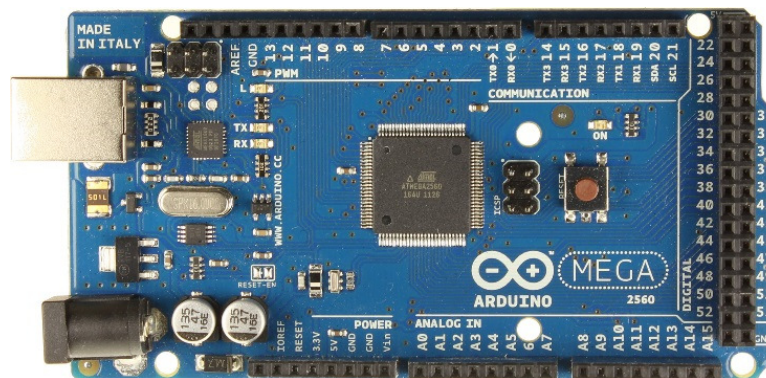


Figura 3-11: Arduino Mega 2560 [http#17].

Esta placa é compatível com a maioria das placas de expansão existentes no mercado para os vários modelos de Arduino. Na Figura 3-12 é ilustrada a arquitetura interna da placa Arduino Mega 2560.

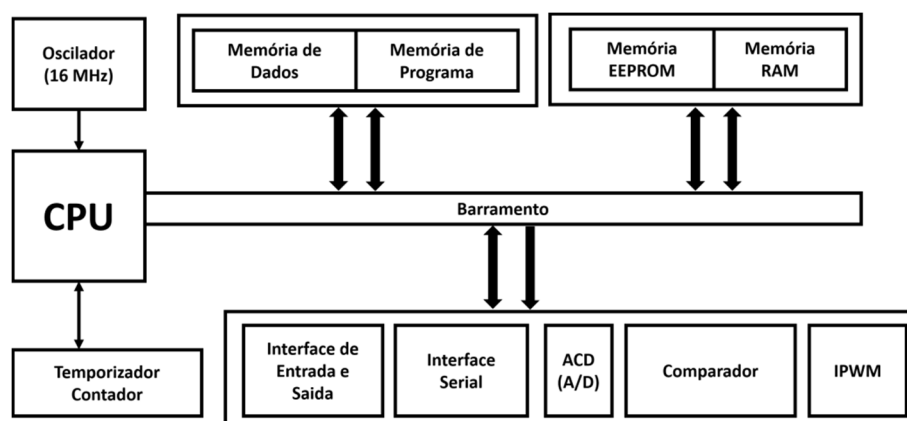


Figura 3-12: Arquitetura interna do Arduino Mega 2560.

3.5.3. Módulos de expansão (*Shields*) Arduino utilizados

Esta plataforma de desenvolvimento tem uma particularidade muito interessante e versátil que é a sua forma de expansibilidade e de interoperação com os mais diversos equipamentos, por intermédio de módulos adicionais denominados de *shields*. Estes módulos interligam-se com a placa do Arduino por intermédio de conectores distribuídos da mesma forma que a placa de desenvolvimento Arduino para que o *shield* se interligue com a placa de desenvolvimento permitindo assim aumentar as suas capacidades e funcionalidades de forma rápida e fácil. Existe uma enorme diversidade de *shields* disponíveis no mercado, sendo necessário somente escolher o que mais se adequa às nossas aplicações.

Caso não exista no mercado um *shield* que satisfaça por completo os requisitos, temos sempre a possibilidade de desenvolver um *shield* e integrá-lo com o Arduino. Na Figura 3-13 podem ser visualizadas algumas das placas de expansibilidade (*shields*) que podem ser acopladas ao Arduino.

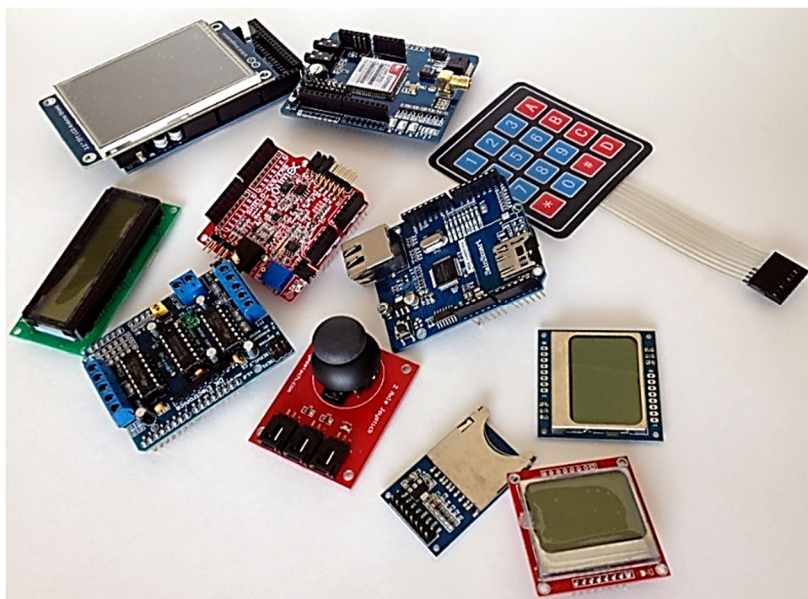


Figura 3-13: Módulos de expansão Arduino (*Shields*) [http#18].

Para o desenvolvimento do trabalho desta dissertação utilizaram-se os seguintes módulos de expansão (*shields*) do Arduino:

- Módulo *Ethernet* TCP/IP;
- Módulo TFT LCD *Touch* 3.2 polegadas, com cartão SD;
- Módulo TFT LCD Mega;
- Módulo Solar (descrito com mais detalhe no subcapítulo 4.2).

Shield Ethernet TCP/IP

Este módulo permite que o Arduino Mega possa conectar-se à Internet. Sendo composto por todos os elementos externos ao Arduino necessários ao seu funcionamento. Possui um adaptador para cartões *micro-SD* integrado que pode servir para armazenar ficheiros e posterior envio, podendo funcionar como *datalogger*. A Figura 3-14 ilustra o módulo *Ethernet* TCP/IP.

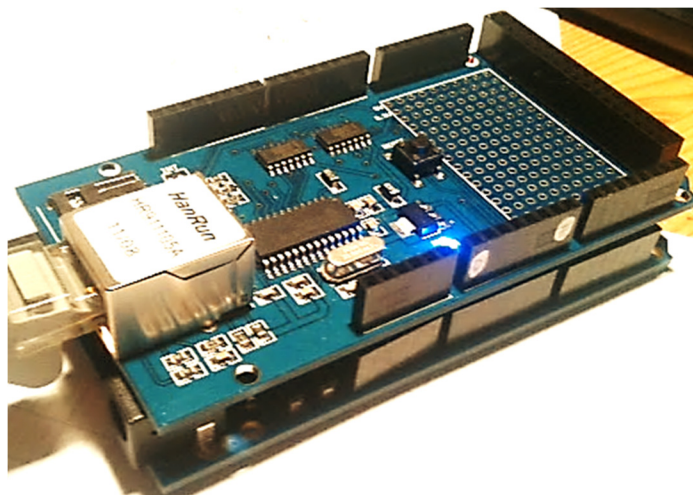


Figura 3-14: *Ethernet* Mega *Shield* [http#19].

Tem como função neste trabalho permitir que o sistema fique dotado de comunicação com a Internet. Neste caso em concreto permitirá implementar um servidor FTP que terá como função o envio periódico dos dados recolhidos pelo sistema para um servidor remoto.

Shield TFT LCD Touch 3.2 polegadas, com cartão SD

O *Shield* ilustrado na Figura 3-15 é responsável pela adaptação dos sinais provenientes do Arduino convertendo-os em ambientes gráficos, permite ainda enviar comandos para o Arduino através da interface tátil que possui, permitindo que o utilizador interaja com este. Possui também um adaptador para cartões SD que pode ser utilizado para realizar funções de *datalogger*.

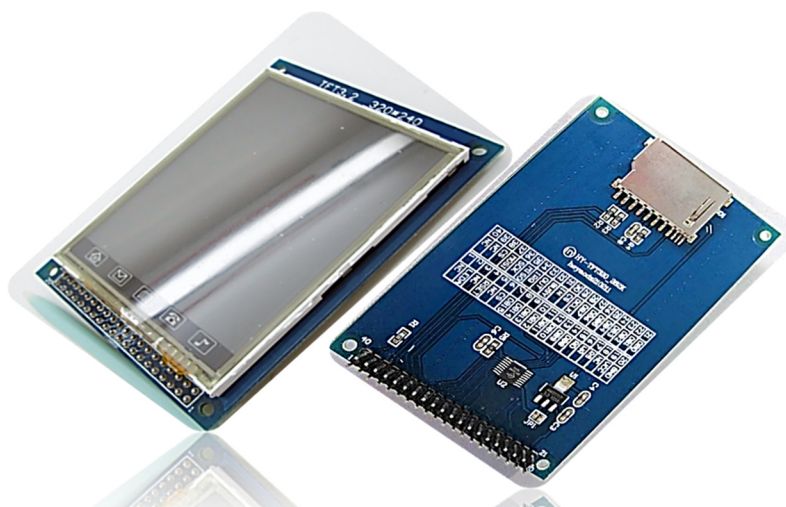


Figura 3-15: TFT LCD 3,2'' [http#20].

Um dos objetivos do trabalho consiste em apresentar os dados localmente através de um ecrã, razão pela qual se utilizou este módulo que permite a visualização dos dados dos equipamentos e ao mesmo tempo é possível interagir com estes através do mesmo ecrã, uma vez que é sensível ao toque. Este módulo SD terá as funções de *datalogger* do sistema, isto é, será aqui que ficarão armazenados os dados dos equipamentos.

Shield TFT LCD Mega

Este módulo possibilita o acoplamento direto entre o ecrã e o Arduino Mega, assim como permite baixar os níveis de tensão de 5V, fornecidos pelo Arduino, para 3,3V, necessários ao funcionamento do ecrã. Na Figura 3-16 apresenta-se o módulo referenciado.

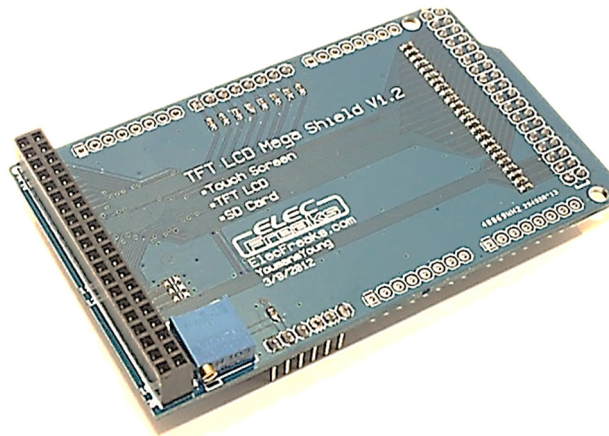


Figura 3-16: TFT LCD Mega *Shield* [http#21].

Como o ecrã utilizado não permite ser diretamente acoplado ao Arduino devido à configuração dos seus conectores foi necessário recorrer a um módulo que permitisse esse acoplamento, isto é que, pudesse adaptar os conectores do ecrã com os conectores do Arduino.

3.6. Meios de Comunicação e Protocolos

3.6.1. Introdução

Neste capítulo serão descritos os meios de comunicação utilizados para que fosse possível realizar a comunicação com o contador de energia e com a estação meteorológica, assim como os respetivos protocolos de comunicação destes equipamentos.

3.6.2. Meio de Comunicação Série RS-232

Este protocolo é um conjunto de especificações elétricas publicado pela EIA - *Electronic Industries Association*, e destina-se a promover a comunicação série entre computadores.

Para que se estabeleça a ligação é necessária pelo menos a ligação do Rx (Recepção de dados) e Tx (Transmissão de dados) de um aparelho ao Rx e Tx do outro, e uma ligação entre o sinal GND (Terra) de ambos, permitindo apenas o envio ou a receção de dados (comunicação *simplex*). Existem outros tipos de ligação RS-232, *half-duplex* e *full-duplex*. O tipo *full-duplex* permite envio e receção simultâneos, enquanto o *half-duplex* apenas permite uma operação de cada vez. Este protocolo apenas permite ligações ponto a ponto e a curta distância [22].



Figura 3-17: Codificação da mensagem RS-232 [http#22].

No protocolo de comunicação RS-232, os caracteres são enviados um a um como um conjunto de bits. A codificação mais comum é o uso de um *start bit*, seguido por 7 ou 8 bits de dados, opcionalmente um bit de paridade e um *stop bit*, tal como o representado na Figura 3-17.



Figura 3-18: Exemplo de comunicação RS-232 [http#23].

Este protocolo utiliza comunicação assíncrona com sinais de tensão entre -3V a -25VDC em relação à referência GND, estes são considerados níveis lógicos “1”. Entre níveis de tensão de $+3\text{V}$ a $+25\text{VDC}$ estes são considerados nível lógico “0”. A faixa de tensões entre -3V e $+3\text{V}$ DC é considerada uma região de transição para o qual o estado do sinal é indefinido, como se pode constatar na Figura 3-18 [http#23].

3.6.3. Meio de Comunicação Série RS-485

Este meio de comunicação é baseado na transmissão diferencial balanceada de dados. É ideal para transmissão de dados com velocidades elevadas, a longas distâncias e em ambientes propícios a interferência eletromagnética, como é o caso das instalações fotovoltaicas. Permite a comunicação entre diversos dispositivos ligados à mesma linha (*bus*) de dados.

Na Figura 3-19 podemos visualizar que quanto mais elevada é a velocidade de comunicação, menor deverá ser o comprimento do cabo. Neste meio de transmissão podemos ter comprimentos máximos de 1200 metros e taxas de transmissão de 10Mbps.

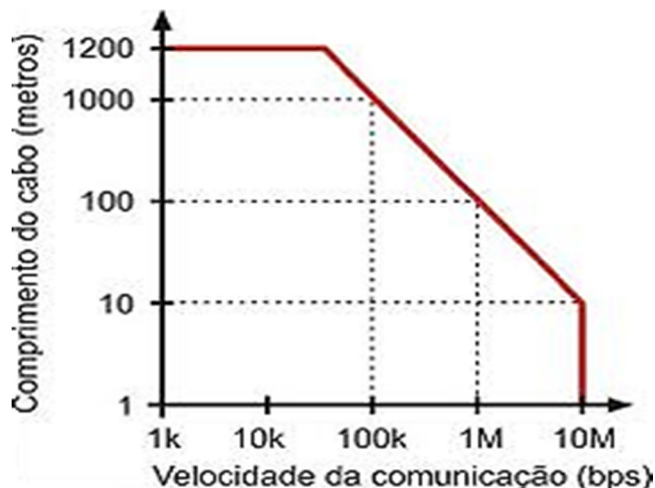


Figura 3-19: Velocidade de comunicação em função do comprimento do cabo de comunicação RS-485 [http#24].

A tipologia de transmissão a 2 fios ilustrada na Figura 3-20 é denominada de “*half-duplex*”⁹, permitindo serem ligados à mesma linha de transmissão de dados 32 dispositivos, sendo cada um deles composto por um emissor e um recetor. Em cada extremidade da nossa linha de transmissão é colocada uma resistência entre as linhas de comunicação A e B por forma a obter valores de corrente equilibrados entre os dois condutores. O valor da resistência é o mesmo que a impedância da linha de transmissão, que normalmente é de 120 Ω [10].

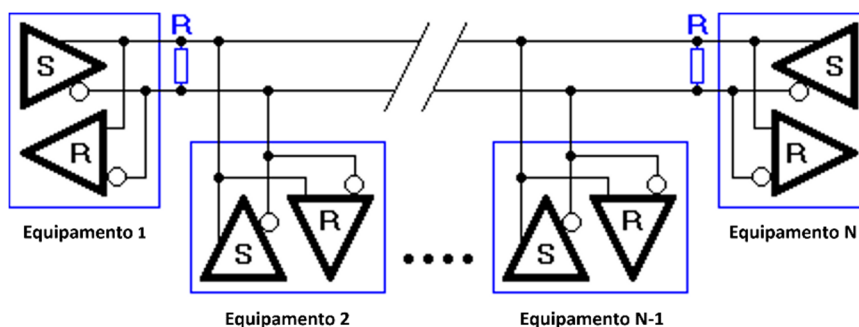


Figura 3-20: Tipologia “*half-duplex*” RS-485 [http#25].

É uma comunicação diferencial balanceada porque o nível lógico é determinado pela diferença de tensão entre os 2 condutores e o sinal de referência lógico 0 (*GND*). Assim, transmite-se um nível lógico 1 quando a tensão no condutor A for positiva e a do condutor B negativa. De igual forma, transmite-se o nível lógico 0, quando a tensão no condutor B for positiva e no condutor A negativa, como se pode verificar pela Figura 3-21 [10], [21].

⁹ *Half-duplex* – é um tipo de comunicação bidirecional entre dois ou mais dispositivos, mas em que o acesso ao meio tem de ser controlado visto não poder haver emissão e receção de dados em simultâneo.

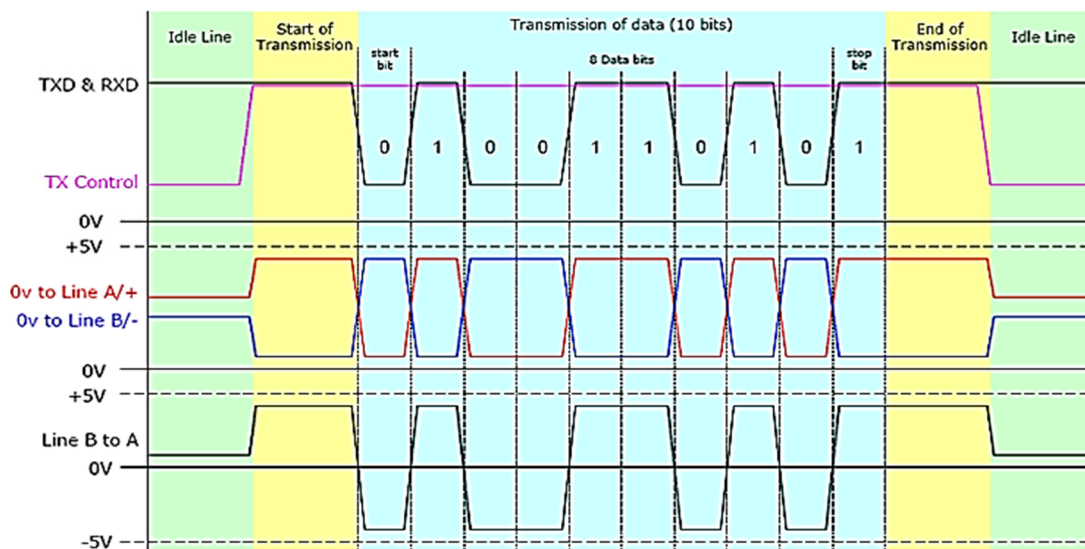


Figura 3-21: Exemplo de comunicação RS-485 [10].

O interface RS-485 é normalmente utilizado em inversores, celas de média tensão e analisadores de energia.

3.6.4. Protocolo M&T

Como referido anteriormente o protocolo M&T é proprietário da *Ingenleurbüro* e é utilizado para comunicar com a estação meteorológica (de agora em diante designada de sensor) utilizada neste trabalho e descrita no ponto 3.3.

É um protocolo que utiliza uma interface de comunicação RS-485, que utiliza um par de fios entrançados, normalmente cabo LiYCY¹⁰. O princípio de funcionamento tem por base o princípio mestre (*master*) e escravo (*slave*) (pedido e resposta) à semelhança do protocolo Modbus. Na rede, o mestre que efetua um pedido pode ser um *datalogger*¹¹ que simplesmente recolhe os dados e os armazena, ou um sistema de monitorização e controlo que além de armazenar os dados os disponibiliza ao utilizador de forma gráfica. O escravo ao receber um pedido verifica para quem é o pedido. Se este for para ele, processa o pedido realizado, enviando de seguida os dados solicitados ao mestre. De seguida fica à espera de um novo pedido.

Os endereços de rede destes sensores são limitados e vão desde o número 00 ao número 99. O endereço de cada sensor vem especificado no número de série deste pelos dois últimos dígitos. A velocidade de comunicação é de 9600 bps, sem bit de paridade (*no parity*) e um bit de paragem (*1 stop bit*), não podendo ser alterada [11].

Mensagem do Mestre - A mensagem inicia-se pelo carácter cardinal (#) seguido do endereço do escravo ao qual o mestre quer iniciar a comunicação, seguindo-se o comando do dado a ser

¹⁰ LiYCY – Cabo flexível para transmissão de dados, para circuitos de instrumentação e controlo.

¹¹ *Datalogger* – É um dispositivo eletrónico que grava dados ao longo do tempo.

solicitado ao escravo, sendo finalizada pelo carácter de controlo *Carriage Return*¹² (<CR>), como podemos observar o diagrama da Figura 3-22.

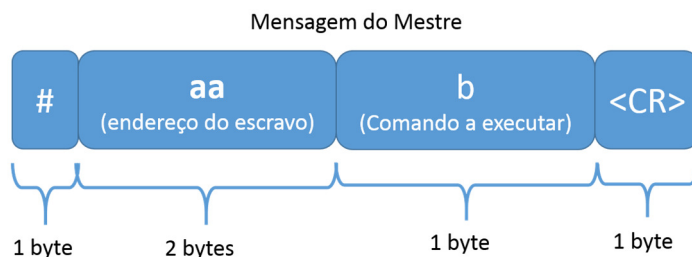


Figura 3-22: Estrutura da Mensagem do Mestre no protocolo M&T.

Mensagem do Escravo - A mensagem inicia-se pelo carácter de controlo *Line Feed*¹³ (<LF>) seguido do endereço do escravo ao qual o mestre requisitou os dados, seguindo-se o comando do pedido solicitado pelo mestre, seguido dos dados que lhe foram solicitados, por fim a mensagem é finalizada com o carácter de controlo *Carriage Return* (<CR>), como podemos observar o diagrama da Figura 3-23,

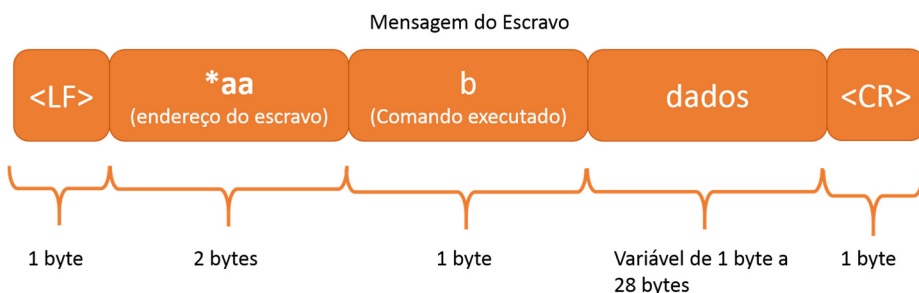


Figura 3-23: Estrutura da Mensagem Escravo no protocolo M&T.

No Quadro 3-5 são descritas as mensagens do protocolo M&T trocadas entre o mestre e o escravo, assim como os parâmetros que o constituem.

Quadro 3-5: Mensagens do protocolo M&T [11].

	Função	Pedido do mestre	Resposta do escravo
1	Endereço do sensor	#aa0<CR>	<LF>*aa7<CR>
2	Versão do <i>hardware</i> e <i>software</i>	#aav<CR>	<LF> *aavhhhsss<CR>
3	Pedido dos dados	#aad<CR>	<LF>*aad <dados 1> <dados 2> <dados3> <dados 4> <CRC><CR>

A mensagem enviada pelo mestre é composta sempre pelo mesmo número de parâmetros, onde apenas varia o campo referente ao comando para o tipo de dados requisitados. Quanto à

¹² *Carriage Return* – Move a posição do cursor para a primeira linha. Neste contexto este carácter é utilizado para definir o fim da mensagem.

¹³ *Line Feed* – O texto que se encontra a seguir a este comando será aparecer numa nova linha. Neste contexto significa também o início da mensagem proveniente do escravo.

resposta do escravo, este responde sempre com a inclusão do comando solicitado pelo mestre mas o campo dos dados é variável, uma vez que depende da informação que é transmitida.

No Quadro 3-6 é apresentado o significado de cada um dos parâmetros que constituem as mensagens descritas no Quadro 3-5.

Quadro 3-6: Parâmetros que constituem as mensagens do protocolo M&T [11].

Parâmetros	Significado
aa	Endereço do sensor
0	Comando para reconhecimento do sensor
d	Comando para pedido dos dados
v	Comando para pedido da versão do <i>hardware</i> e do <i>software</i>
hhh	Versão do <i>hardware</i>
sss	Versão do <i>software</i>
dados 1	Valor medido da irradiância em [W/m ²], com comprimento de 6 bytes
dados 2	Valor medido da temperatura da célula fotovoltaica em [°C], com comprimento de 5 bytes
dados 3	Valor medido da temperatura ambiente em [°C], com comprimento de 5 bytes
dados 4	Valor medido da velocidade do vento em [m/s], com comprimento de 4 bytes
CRC	Soma de todos os caracteres antes do campo CRC e sem o campo <LF> do tipo inteiro 8 bits

Na mensagem de resposta do sensor para o mestre com os dados dos diversos equipamentos, os campos com a identificação de dados possuem um separador decimal (0x2e) e uma casa decimal, em que o comprimento de cada dado já inclui o campo do separador decimal [11].

Cada dado tem no mínimo um carácter referente à unidade e um carácter decimal. Quando são feitos pedidos de valores que não ocupam os campos todos de um determinado dado, é inserido o carácter espaço até perfazer todos os caracteres ocupados por esse dado. Do mesmo modo, a separação entre os diferentes dados é efetuada também pelo carácter espaço. Como tal, cada campo de dados possui um comprimento fixo [11].

Na Figura 3-24 ilustra-se em diagrama a troca de informação entre um mestre e um escravo.

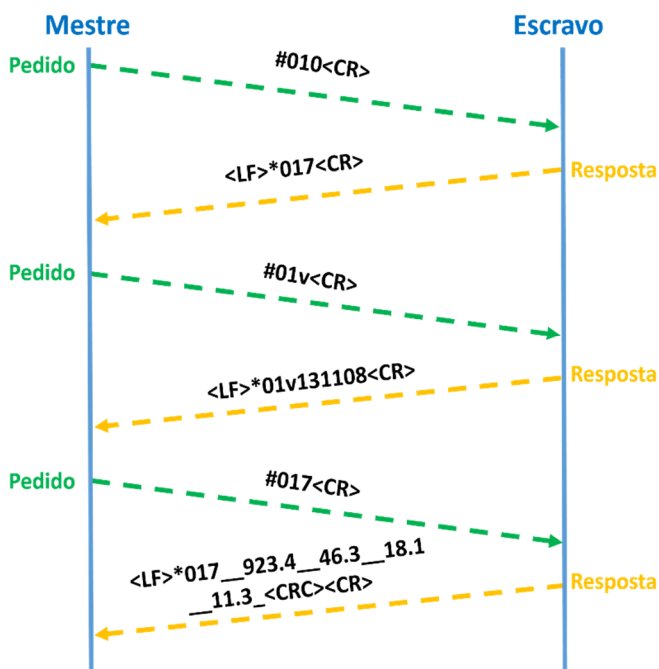


Figura 3-24: Diagrama da troca de mensagens do Protocolo M&T.

É necessário ter em consideração que todos os sensores ligados ao mesmo barramento (bus) devem possuir endereços diferentes de modo a evitar colisão de dados e dessa forma impossibilitar a comunicação [11].

Durante a implementação deste protocolo no microcontrolador Arduino, verificou-se que a mensagem de pedido de dados ao sensor continha um comando que não estava correto. No Anexo 2 encontra-se o *datasheet* com a descrição do protocolo M&T fornecido pelo fabricante.

3.6.5. Protocolo DLMS/COSEM

O texto referente ao protocolo DLMS/COSEM é uma tradução das normas da associação DLMS, nomeadamente os excertos dos livros *COSEM Identification System and Interface Classes* e *DLMS/COSEM Architecture and Protocols* que se encontram em inglês, os quais são referenciados no Anexo 3 [12], [13].

A competitividade do mercado de energia exige uma quantidade cada vez maior de informações sobre o uso de energia e com os recentes desenvolvimentos tecnológicos permitiram construir equipamentos de medição inteligentes capazes de captar, processar e comunicar toda esta informação a todas as partes envolvidas no processo [12].

Assim para uma análise mais aprofundada desta informação, para efeitos de faturação e gestão de contratos de clientes, torna-se necessário identificar todos os dados recolhidos manualmente ou automaticamente, através da troca de dados localmente ou remotamente, de uma forma independente da do fabricante. Assim a especificação do seu funcionamento é

baseada em técnicas de modelação de objetos (classes de interface e objetos), em que a especificação desses objetos formam uma parte importante do protocolo COSEM [12].

O modelo de servidor COSEM representa apenas os elementos externos visíveis do contador de energia. As aplicações cliente que suportam o processo de negócio das empresas de distribuição, dos clientes e dos fabricantes de contadores fazem uso deste modelo de servidor. O contador oferece assim meios para recuperar o seu modelo estrutural (a lista de objetos visíveis através da interface), oferecendo acesso controlado aos seus atributos e métodos específicos desses objetos [12].

O conjunto de diferentes classes de interface formam uma biblioteca padronizada a partir da qual o fabricante pode construir os seus produtos individualmente. Os elementos são projetados de forma a que a sua gama possa abranger todos os produtos desde, aplicações comerciais, industriais, de transmissão e de distribuição residencial. A escolha do subconjunto das classes de interface utilizadas para construir um contador é a instanciação e implementação dessas classes de interface que fazem parte do projeto do produto sendo portanto deixadas ao critério do fabricante. O conceito padronizado de biblioteca das classes de interface de medição fornecem aos diferentes utilizadores e fabricantes, uma enorme diversidade sem que seja necessário sacrificar a sua interoperabilidade [12].

A troca de dados é efetuada mediante o pedido de informação por códigos que identificam cada parâmetro que se deseja obter. Estes códigos são denominados de códigos OBIS [14].

Vários meios de comunicação são usados para a comunicação com os contadores, tais como *Ethernet*, *Zigbee*, RS-232, fibra ótica, *modem* GSM/GPRS, etc., através dos quais podemos adquirir os vários parâmetros do contador de energia. Há um estabelecimento de comunicação de duas vias entre o contador e o computador ou outro dispositivo baseado em comunicações com fios e/ou sem fio, sendo estes capazes de aceder os dispositivos de qualquer lugar através de uma rede local LAN, WLAN, ou pela Internet [14].

3.6.5.1. Introdução ao DLMS/COSEM

O DLMS/COSEM especifica um modelo de dados e protocolos de comunicação para a troca de dados com os contadores de energia. A Figura 3-25 evidencia a abordagem das 3 etapas do modelo DLMS/COSEM (Association, 2009).

- Etapa 1, Modelação: Contempla o modelo de dados do equipamento de medida assim como as regras para a identificação dos dados. O modelo de dados fornece uma vista das funcionalidades do contador, tal e qual como estão disponíveis nos seus interfaces. O modelo não cobre questões específicas de implementação interna. Esta etapa pode ser consultada com mais pormenor no livro Azul – Classes de interface COSEM e identificação dos objetos OBIS (Association, 2009).
- Etapa 2, Mensagem: Cobre os protocolos e serviços de comunicação para mapeamento dos elementos do modelo de dados até aos protocolos de aplicação das unidades de dados. Que podem ser consultadas com mais pormenor no livro Verde – Arquitetura e protocolos DLMS/COSEM (Associations, 2009).

- Etapa 3, Transporte: Cobre os protocolos e serviços para o transporte da mensagem através dos canais de comunicação. Encontra-se descrita em mais pormenor no livro Azul – Classes de interface COSEM e identificação dos objetos OBIS (Association, 2009).

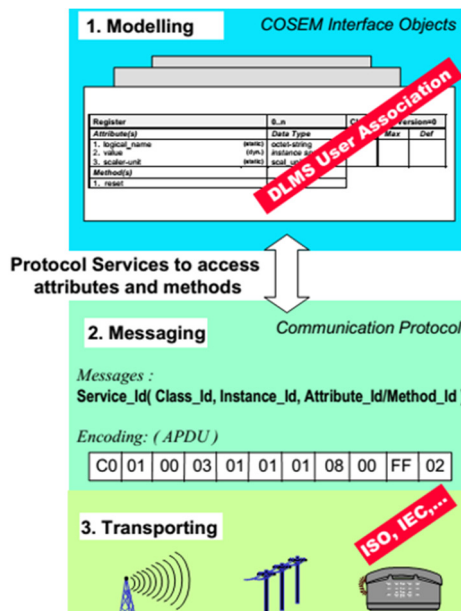


Figura 3-25: Abordagem das 3 etapas do modelo DLMS – Modelação, Mensagem e Transporte [12].

A etapa 1 especifica as classes de interface (ICs) do COSEM, o objeto de identificação do sistema OBIS e o uso de objetos de interface para modelagem das várias funções do equipamento de medição. As etapas 2 e 3 especificam os perfis de comunicação para os vários meios de comunicação e as camadas de protocolo para os perfis de comunicação. A camada de topo de cada perfil é a camada de aplicação COSEM. Fornece serviços lógicos para estabelecimento de uma ligação lógica entre o cliente e o(s) servidor(s). Fornece também o serviço de mensagens xDLMS para acesso aos atributos e métodos dos objetos COSEM. A camada mais baixa especifica as camadas de transporte da informação [12], [19].

A especificação COSEM para contadores de energia aborda estes desafios, olhando para o contador como parte integrante de um processo comercial, que se inicia com a medição do produto entregue (energia) e termina com a cobrança de receitas. O contador é especificado pelo seu “comportamento” como pode ser visto a partir dos processos de negócios dos serviços públicos. As especificações formais do comportamento são baseadas em modelação de objetos e técnicas. As especificações destes objetos formam a maior parte do COSEM. O modelo de servidor do COSEM representa apenas os elementos externos visíveis do contador. As aplicações dos clientes que suportam os processos de negócios das utilidades, clientes e fabricantes de contadores fazem uso deste modelo de servidor. O contador oferece meios para recuperar o seu modelo estrutural (a lista de objetos visíveis através do interface), e fornece acesso controlado aos atributos e métodos específicos desses objetos [12].

3.6.5.2. Tipo de Operação Cliente/Servidor e Perfis de Comunicação

A troca de dados entre os sistemas de recolha de dados e equipamentos de medição usando o modelo de objetos COSEM é baseado no paradigma cliente/servidor, em que o equipamento de medição desempenha o papel de servidor [13].

A aplicação de recolha de dados e a aplicação de medição são modeladas como um ou mais processos de aplicação (APs). Portanto, este meio de comunicação ocorre sempre entre um cliente e um servidor, onde o processo de aplicação do cliente solícita serviços e o processo de aplicação do servidor fornece-os [13].

O processo de aplicação cliente pode ser capaz de trocar dados com um único ou com várias aplicações de processo servidoras ao mesmo tempo, assim como um processo de aplicação servidor é capaz de trocar dados com um ou mais pontos de acesso do cliente, ao mesmo tempo [13].

A troca de dados é realizada através de troca de mensagens (*SERVICE.requests/responses*). Entre processos de aplicação iguais, a troca de mensagens, por conseguinte, é feita através de uma pilha de protocolo, ou perfil de comunicação, conforme mostrado na Figura 3-26 [13].

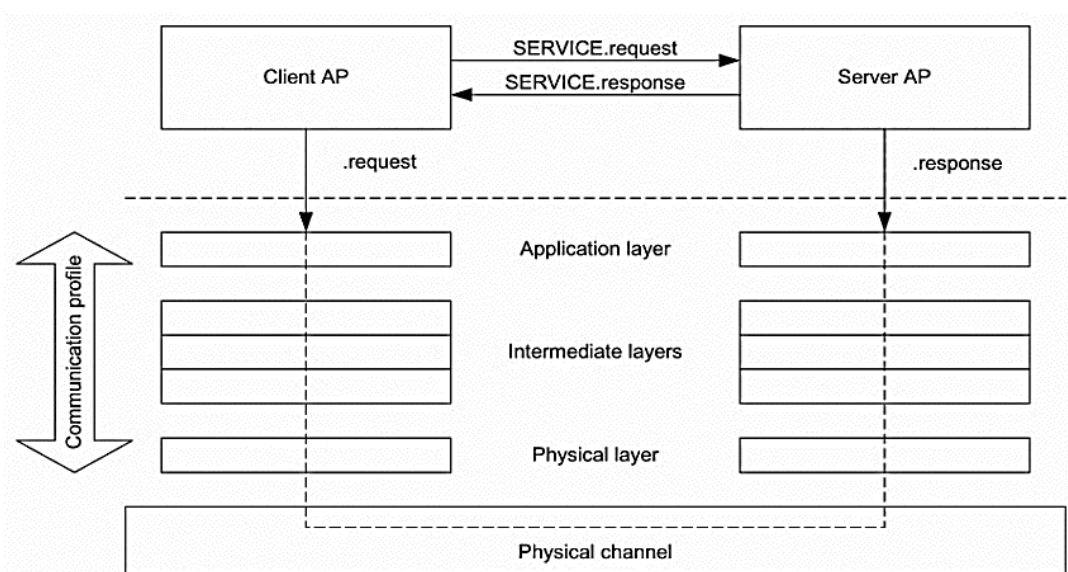


Figura 3-26: Relacionamento Cliente/Servidor e Protocolos [13].

Os Perfis de comunicação compreendem um número de camadas de protocolo, cada camada tem uma tarefa distinta e presta serviços à sua camada superior usando serviços da sua camada de apoio. O cliente e as aplicações de processo do servidor usam os serviços da camada mais alta do protocolo, a da camada de aplicação (AL). Esta é a única camada do protocolo que contém elementos específicos do COSEM. O *xDLMS_ASE*, fornece serviços de objetos relacionados com o interface COSEM. Podendo em princípio ser suportada por qualquer camada capaz de fornecer os serviços requeridos pela camada de aplicação COSEM. O número e tipo das camadas inferiores do protocolo depende dos meios de comunicação utilizados [13].

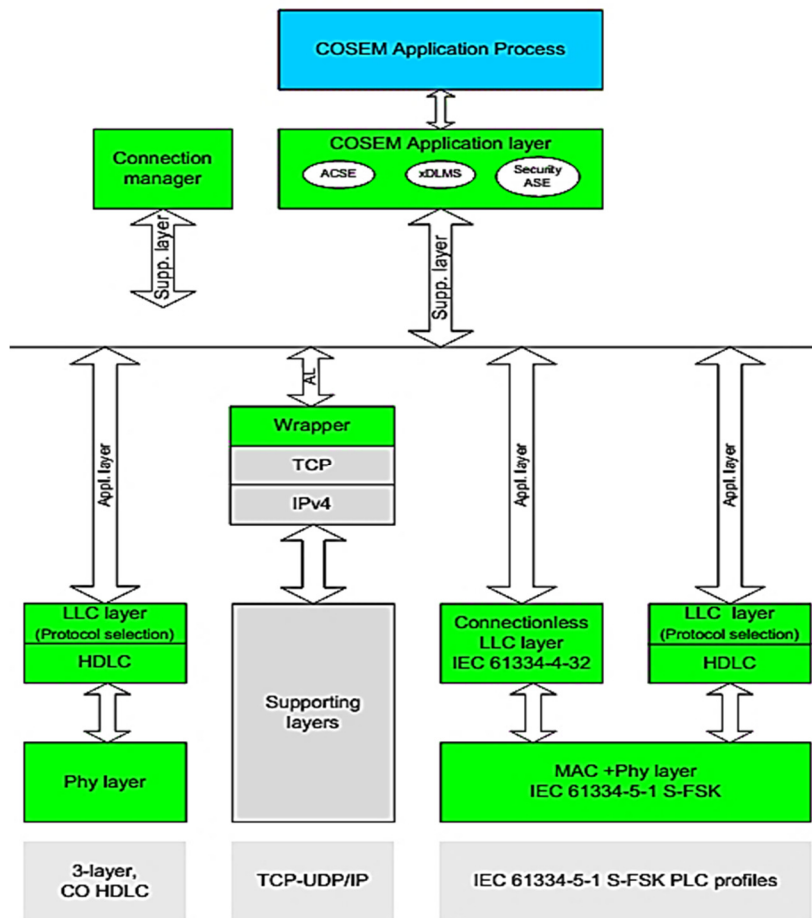


Figura 3-27: Perfis de comunicação DLMS/COSEM [13].

Um determinado conjunto de camadas de protocolo contendo a camada de aplicação COSEM no topo constitui um perfil de comunicação DLMS/COSEM. Cada perfil é caracterizado pelo tipo de camadas de protocolo que inclui, pelos seus parâmetros e pelo tipo de controlo da associação do elemento de serviço (ACSE), (que está orientada para o estabelecimento ou para o encerramento da comunicação), que está incluída na camada de aplicação. Um único dispositivo pode suportar mais do que um perfil de comunicação, de modo a permitir a troca de dados através de vários meios de comunicação, sendo uma tarefa referente ao processo de aplicação do lado do cliente a decidir qual o perfil de comunicação que deve ser usado [13].

Na Figura 3-27 estão ilustrados os perfis de comunicação do DLMS/COSEM em que [13]:

- o perfil de ligação orientado (CO) de 3 camadas, é o perfil que tem por base o protocolo HDLC, que compreende a camada de aplicação, a camada de ligação de dados baseada em HDLC e a camada física (Phl), para troca de dados assíncrona. Suporta a troca de dados local através de porta ótica ou elétrica de acordo com a norma IEC 62056-21 (*Electricity metering – Data exchange for meter reading, tariff and load control, part 21 – Direct local data exchange*) e através de linhas analógicas ou GSM;

- os perfis de comunicação baseadas em TCP-UDP/IP, suportam a troca de dados através da Internet sobre vários meios físicos, tais como a Ethernet, ISDN, GPRS, PSTN ou GSM usando o protocolo ponto a ponto (PPP), etc. Nestes perfis, a camada de aplicação COSEM é suportada pela camada de transporte COSEM, que compreende um encapsulamento e a camada de protocolo TCP ou UDP. As camadas de baixo nível podem ser selecionadas de acordo com os meios de comunicação a serem utilizados;
- o perfil de comunicação base S-FSK *Power line carrier* (PLC), que suporta a troca de dados através das linhas de energia utilizando a modulação S-FSK. Nestes perfis a camada de aplicação COSEM é suportada pela subcamada de controlo de ligação lógica (LLC), conforme especificado na norma IEC 61334-4-32 (*Distribution automation using distribution line carrier systems, part 4 – Data communication protocols*), ou a subcamada de controlo de ligação lógica através da camada de ligação de dados baseada no protocolo HDLC, conforme especificado na norma IEC 62056-46 (*Electricity metering – Data exchange for meter Reading, tariff and load control, part 46 – Data link layer using HDLC protocol*) cláusula 8. As camadas de controlo de acesso ao meio (MAC) e as camadas físicas são especificadas pela norma IEC 61334-5-1 (*Distribution automation using distribution line carrier systems, part 5-1: Lower layer profiles*).

3.6.5.3. Ligação/Associação

O protocolo de aplicação xDLMS é uma ligação orientada à ligação, significa que os processos de aplicação e clientes podem usar os serviços do xDLMS_ASE somente quando estão "associados". Neste ambiente, uma sessão de comunicação consiste em três fases, como se mostra na Figura 3-28, em que [13]:

- para ser capaz de trocar dados de aplicação, é necessário ser estabelecida entre um cliente e o processo de aplicação do servidor um nível de aplicação chamado de associação de aplicação. Esta é a tarefa de uma ligação orientada do controlo da associação do elemento de serviço da camada de aplicação. Antes do estabelecimento de uma associação de aplicação a ligação da camada física entre o cliente e o servidor tem de estar estabelecida, enquanto, que as camadas intermédias podem estar ou não ligadas. Cada camada que necessite de estar ligada pode suportar mais do que uma ligação simultaneamente;
- assim que a associação de aplicação estiver estabelecida a troca de dados de aplicação pode ter início usando os serviços fornecidos pelo elemento xDLMS;
- no final da troca de dados a associação de aplicação tem de ser libertada.

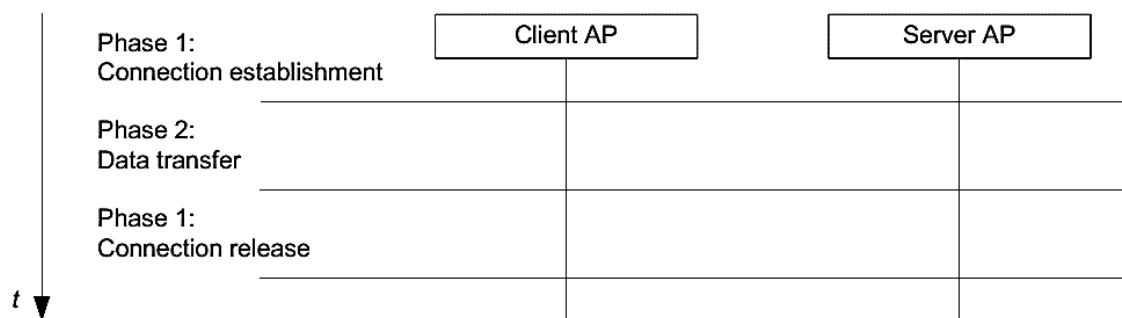


Figura 3-28: Fases do Estabelecimento da Ligação DLMS/COSEM [13].

Para efeitos de dispositivos muito simples, dispositivos com comunicação só de um sentido e para *multicasting* e *broadcasting* são também permitidas associações de aplicação pré-estabelecidas. Para tais associações de aplicação a totalidade da sessão de comunicação pode incluir apenas a fase de transmissão de dados, podendo-se considerar que a fase de estabelecimento da ligação já foi realizada algures no passado. As associações de aplicação pré-estabelecidas não podem encerradas (libertadas) [13].

3.6.5.4. Interoperabilidade e interconectividade em COSEM

No ambiente DLMS/COSEM a interoperabilidade e a interconectividade são definidas entre os processos da aplicação do cliente e do servidor, por forma a garantir a troca de dados entre o cliente o servidor, os seus processos de aplicação devem ser interoperáveis e interconectáveis entre si.

A interoperabilidade é uma notação a nível da aplicação, onde um processo de aplicação cliente é interoperável com um processo de aplicação servidor, se este é capaz de estabelecer associações de aplicação usando o serviço associação de aplicação (*A-Associate*) do padrão da ligação orientada ao controlo da associação do elemento de serviço [13].

Associações de aplicação podem ser estabelecidas entre processos de aplicação de cliente e processos de aplicação do servidor usando vários contextos de aplicação, mecanismos de autenticação e contextos xDLMS, bem como outros parâmetros. Por exemplo [13]:

- um processo de aplicação cliente pode estabelecer uma associação de aplicação com um processo de aplicação servidor com um contexto de aplicação utilizando a referência nome curto (SN) e com outro processo de aplicação servidor com um contexto de aplicação utilizando a referência nome lógico (LN). Embora as mensagens trocadas dependam do contexto da aplicação do estabelecimento da associação de aplicação, ambos os processos de aplicação são interoperáveis com os processos de aplicação do cliente se estes são capazes de estabelecer a associação de aplicação utilizando o contexto correto com os dois processos de aplicação dos servidores. Com isso, utilizando os serviços da norma ACSE para estabelecimento da associação de aplicação é garantida a interoperabilidade no COSEM.

Por outro lado, a interconectividade é uma noção a nível do protocolo, com a finalidade de ser capaz de trocar mensagens, devendo para isso, os pontos de acesso do servidor serem interconectáveis (o servidor e o cliente tem de utilizar o mesmo perfil de comunicação) e estarem interligados (o cliente e o servidor tem de estar ligados entre si pela camada física) entre si [13].

A interconectividade no DLMS/COSEM é assegurada pela habilidade do processo de aplicação COSEM para estabelecer uma ligação entre todas as camadas necessárias ao perfil de ligação que é estabelecido [13].

3.6.5.5. Assegurar a interligação: o serviço de identificação de protocolo

No DLMS/COSEM o estabelecimento da associação da aplicação é sempre iniciado pelo processo de aplicação do cliente, no entanto, em alguns casos, este pode não ter conhecimento sobre a pilha de protocolos utilizada por um dispositivo servidor desconhecido (por exemplo, quando o servidor tiver iniciado o estabelecimento de ligação física). Nestes casos, o processo de aplicação cliente deve obter informações sobre a pilha do protocolo implementada no servidor [13].

O COSEM oferece um nível de serviço de aplicação específico para esta finalidade, que é denominado de serviço de identificação de protocolo. É um serviço opcional ao nível da aplicação, permitindo que o processo de associação do cliente obtenha as informações necessárias para o estabelecimento da ligação. O serviço de identificação do protocolo usa diretamente o serviço de transferência de dados (*PH-DATA.indication*) da camada física que vai ultrapassar as camadas referentes os outros protocolos [13].

3.6.5.6. Modelos de Aplicação

Modelos COSEM de equipamentos de medição como um conjunto de dispositivos lógicos hospedados num único dispositivo físico conforme representado na Figura 3-29.

Cada modelo de dispositivos lógicos é um subconjunto de funcionalidades do equipamento de medição como estes são vistos através dos seus interfaces de comunicação. As várias funções são modeladas utilizando objetos de interface COSEM [13].

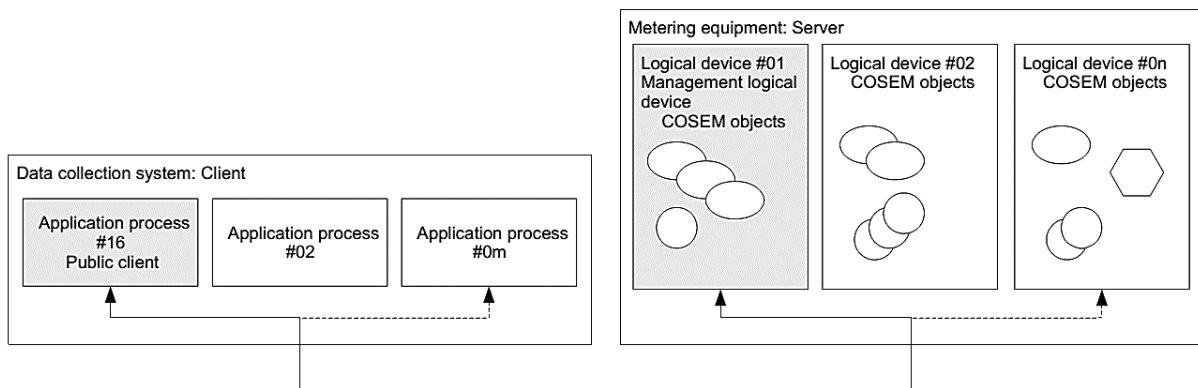


Figura 3-29: Modelo de aplicação COSEM de um sistema de recolha de dados e equipamentos de medição [13].

Os sistemas de recolha de dados (DCSs) são modelados como um conjunto de processos de aplicação, onde cada processo de aplicação pode ter diferentes funções e direitos de acesso, concedidos pelo equipamento de medição. Os processos de aplicação podem estar hospedados num dispositivo físico ou em vários [13].

O cliente público e o dispositivo lógico de gestão de processos de aplicação têm uma função especial que tem de estar sempre presente [13].

3.6.5.7. Modelo do Servidor DLMS/COSEM

A Figura 3-30 mostra o exemplo do o modelo de dois servidores DLMS/COSEM. Um deles utiliza um perfil de comunicação baseado em HDLC de 3 camadas, o outro utiliza um perfil de comunicação baseado em TCP-UDP/IP [13].

O equipamento de medição no lado esquerdo da Figura 3-30 compreende "n" dispositivos lógicos apoiados sobre o perfil de comunicação baseado em HDLC de 3 camadas [13].

A camada de aplicação COSEM é suportada pela camada de ligação de dados baseada em HDLC, em que a sua função principal é fornecer uma transferência de dados confiável entre as camadas adjacentes. Fornece também o endereçamento dos dispositivos lógicos, de tal modo que cada dispositivo lógico está ligado a um único endereço HDLC. O dispositivo lógico de gestão está sempre ligado ao endereço $0x01_h$ (1_d). Para permitir a criação de uma rede local, de forma a que vários dispositivos de medição de um dado local possam ser alcançados por um só ponto de acesso um outro endereço tem de ser fornecido pela camada de ligação física de dados, esse endereço é o endereço do dispositivo físico. O endereço do dispositivo lógico refere-se ao endereço superior (*upper*) do HDLC, enquanto o endereço do dispositivo físico refere-se ao endereço inferior (*lower*) do HDLC [13].

A camada física que suporta a camada de ligação de dados fornece uma transmissão de bits em série entre os dispositivos físicos, alojando as aplicações do cliente e do servidor. Isto permite utilizar vários tipos de interfaces, tais como RS-232, RS-485, etc. permitindo transferir dados localmente através de redes analógicas, GSM, etc [13].

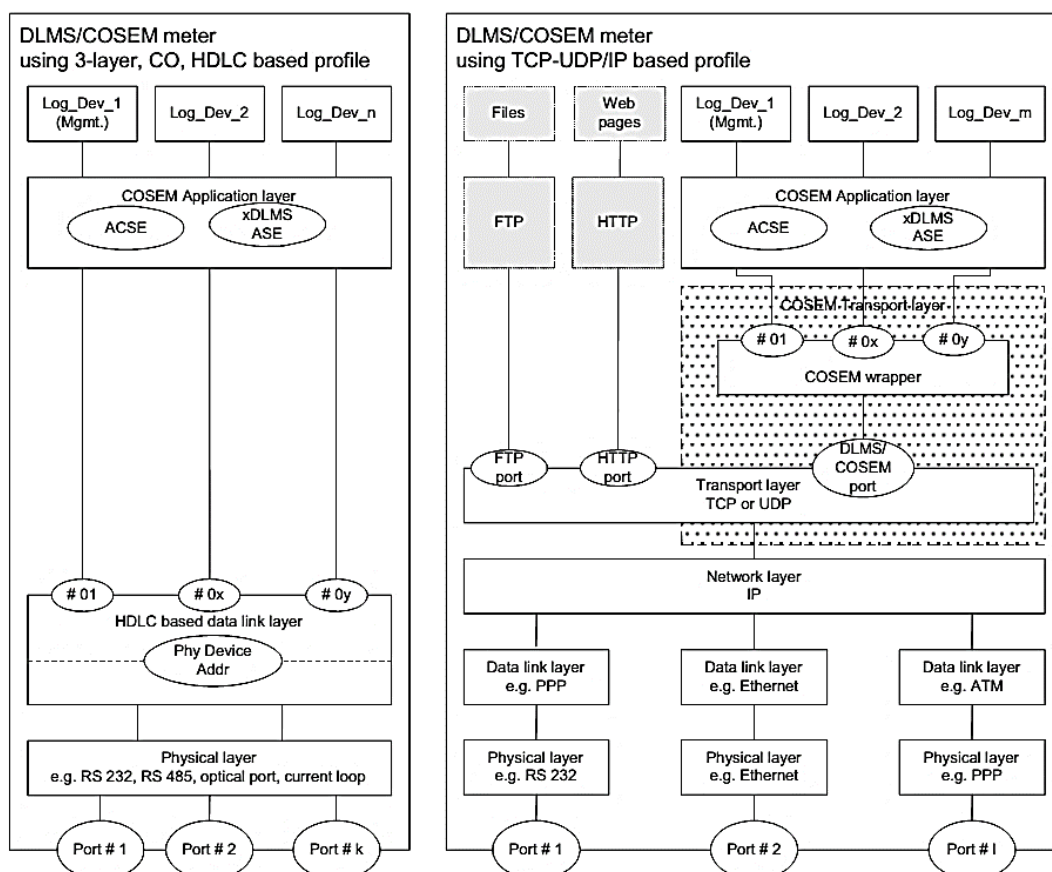


Figura 3-30: Modelo Servidor DLMS/COSEM [13].

O equipamento de medição no lado direito da Figura 3-30 compreende "m" dispositivos lógicos.

A camada de aplicação COSEM é suportada pela camada de transporte COSEM, compreendendo a camada da Internet TCP ou UDP e uma camada de encapsulamento. O principal papel da camada de encapsulamento é adaptar o conjunto de serviços estilo OSI, fornecidos pela camada de transporte COSEM, de e para as chamadas de funções TCP e UDP. Providência também o endereçamento para os dispositivos lógicos, vinculando-os a um ponto de acesso do serviço chamado porta de encapsulamento. O dispositivo lógico de gestão é sempre obrigado a encapsular a porta 0x01_h. Finalmente, o encapsulamento fornece informações sobre o comprimento das unidades de dados de protocolo da camada de aplicação (APDUs) transmitidos, para ajudar os pares a reconhecer o fim de APDU. Isto é necessário devido à natureza de transmissão TCP [13].

Através do encapsulamento a camada de aplicação COSEM está vinculada a um número de porta TCP ou UDP que é usado para a aplicação DLMS/COSEM. A presença das camadas TCP e UDP permite a incorporação de outras aplicações da Internet, tais como o FTP ou HTTP, vinculados às suas portas padrão [13].

A camada TCP é suportada pela camada IP, que por sua vez pode ser suportada por qualquer conjunto de camadas mais baixas, dependendo dos meios de comunicação a serem utilizados (por exemplo, Ethernet, PPP, IEEE 802, etc.) [13].

Obviamente, num único servidor, é possível implementar várias pilhas de protocolos, com a camada de aplicação COSEM comum, sendo suportadas por conjuntos distintos de camadas inferiores. Isto permite ao servidor a troca de dados através de vários meios de comunicação com clientes de diferentes associações de aplicação. Como uma estrutura que seria semelhante à estrutura de um cliente DLMS/COSEM descrita no ponto seguinte [13].

3.6.5.8. Modelo de um Cliente DLMS/COSEM

A Figura 3-31 mostra um exemplo de modelo baseado em DLMS/COSEM de um cliente.

O modelo do cliente é muito semelhante ao modelo do servidor retratado no ponto anterior, assim [13]:

- neste modelo em particular, a camada de aplicação COSEM é suportada quer pela camada de ligação de dados baseada em HDLC ou pela camada de transporte COSEM, ou seja, a camada de aplicação utiliza os serviços de uma ou de outra, tal como determinado pelos processos da aplicação. Por outras palavras, os APDUs são recebidos ou enviados através da camada de suporte apropriada, que por sua vez utiliza os serviços da sua camada de suporte respetivamente;
- ao contrário do lado do servidor o endereçamento fornecido pela camada HDLC tem apenas um único nível que é o dos pontos de acesso de serviço de cada processo de aplicação.

Assim, como vimos, os processos de aplicação clientes e os dispositivos lógicos do servidor são identificados pelos seus pontos de acesso de serviço. Portanto uma associação de aplicação entre um cliente e um processo de aplicação (AP) servidor pode ser identificado por um par de clientes e pontos de acesso de serviço do servidor (SAPs) [13].

A camada de aplicação COSEM pode ser capaz de suportar uma ou mais associações de aplicação simultaneamente. Da mesma forma, as camadas inferiores podem ser capazes de suportar mais do que uma ligação com suas camadas adjacentes. Isso permite a troca de dados simultaneamente entre clientes e servidores através de portas e meios de comunicação diferentes [13].

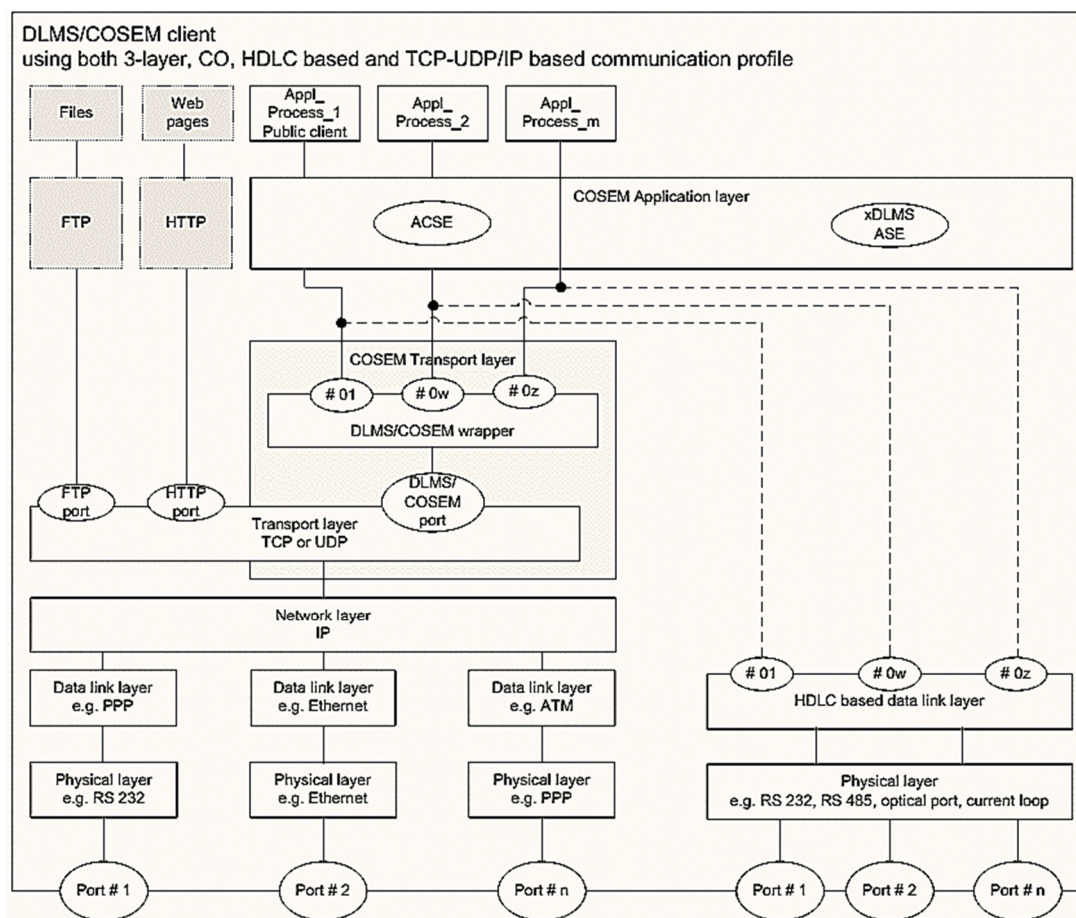


Figura 3-31: Modelo de um cliente DLMS/COSEM [13].

3.6.5.9. Modelo de um sistema de recolha de dados com base em DLMS/COSEM

A Figura 3-32 mostra o modelo de um sistema de recolha de dados baseado em DLMS/COSEM, que consiste em dois locais de medição e dois sistemas de recolha de dados remotos.

No local de medição #1, o equipamento de medição usa o perfil de comunicação baseado em TCP-UDP/IP e está ligado a uma rede LAN local. Além disso existe ainda um sistema de recolha de dados local (DCS) instalado. Cada dispositivo físico tem o seu próprio endereço IP. O ponto de entrada para o local de medição é o mesmo que o da rede LAN. Os contadores podem ser monitorizados remotamente através da Internet ou localmente através do sistema de recolha de dados local, ou diretamente por uma unidade portátil (HHU). Pela porta ótica os contadores comunicam utilizando o perfil de comunicação orientado de 3 camadas baseado em HDLC, ou pelo perfil de comunicação baseado em TCP-UDP/IP utilizando o protocolo ponto a ponto (PPP) [13].

No local de medição #2, o equipamento de medição usa o perfil de comunicação baseado no perfil de comunicação HDLC de 3 camadas. Para ser capaz de monitoriza-los através de um único ponto de acesso WAN, estes são ligados em barramento, por exemplo, em RS-485. O endereço de um dispositivo físico na rede LAN é fornecida pelo seu endereço HDLC inferior. Como RS-485 não fornece um protocolo para o tratamento de colisões no barramento, o

cliente pode trocar dados com os servidores na rede um por um. Por outras palavras, a tarefa de mestre de rede é feita pelo cliente. O ponto de acesso da rede é um *modem* com um interface RS-485, em que o seu endereço é fornecido pelo WAN, a qual pode ser uma rede telefónica normal ou GSM. Para a troca de dados local é utilizado um sistema de recolha de dados local, portátil ligado diretamente ao barramento RS-485. Neste caso, o acesso remoto aos dados dos contadores pode não estar disponível durante o tempo de comunicação local, como no local de medição #1, a troca de dados local está disponível por intermédio de uma unidade portátil [13].

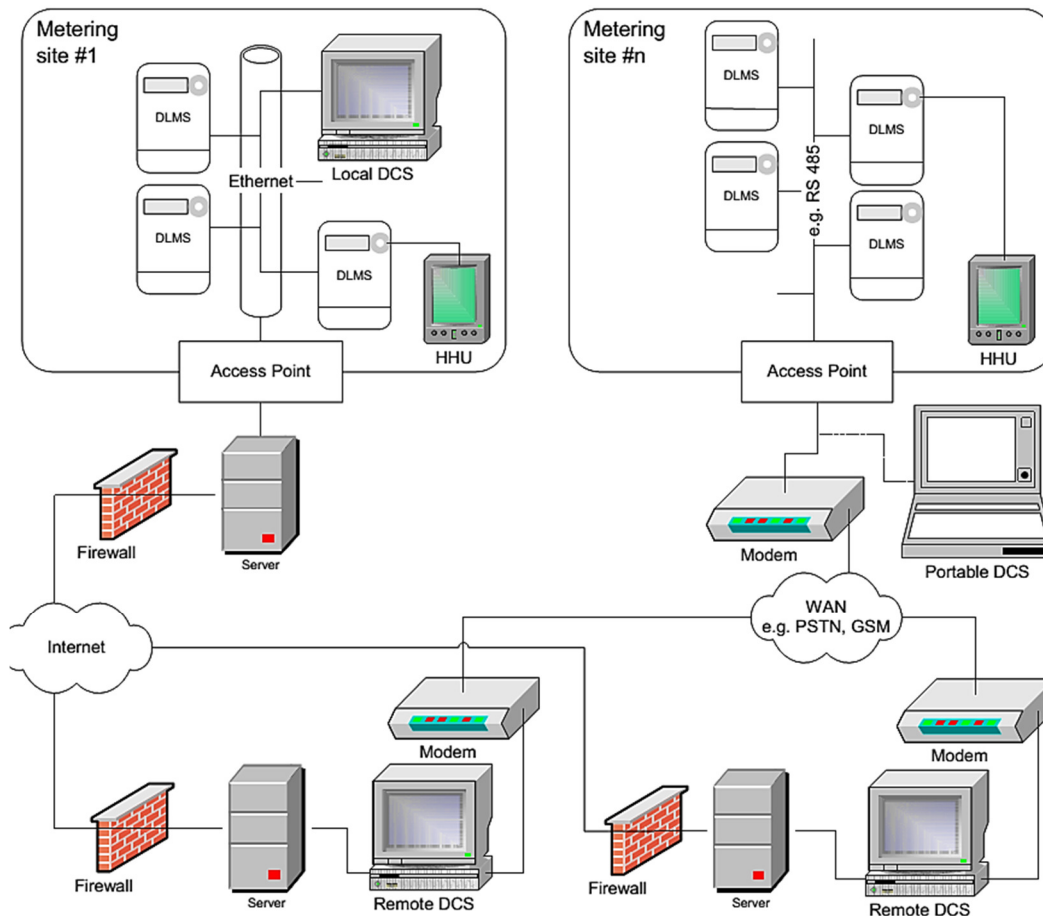


Figura 3-32: Modelo de um sistema de recolha de dados baseado em DLMS/COSEM [13].

Outros tipos de redes de comunicação são também possíveis de serem utilizadas, assim como outros tipos de arquiteturas. Como é o caso do trabalho desta dissertação em que vamos ter a um dispositivo de medição ligado a um dispositivo de recolha de dados local por intermédio de um barramento RS-485. Em que a comunicação com o exterior será efetuada diretamente com o dispositivo de recolha de dados local possui a funcionalidade de servidor permitindo assim ligar-se diretamente a Internet [13].

3.6.5.10. Classes de interface COSEM

Esta subsecção descreve os princípios básicos sobre os quais as classes de interface (ICs) COSEM são construídas, dando também uma visão geral sobre como os objetos de interface

(instanciações dos ICs) são utilizados para fins de comunicação. Deste modo sistemas de recolha de dados e equipamentos de medição de diferentes fabricantes podem trocar dados de forma interoperável seguindo estas especificações. Como já referenciado anteriormente este padrão utiliza a técnica de modelagem de objetos [12].

Em que um objeto formado por um conjunto de atributos e métodos, em que os atributos representam as características de um objeto, onde o valor de um atributo pode afetar o comportamento de um objeto [12].

O primeiro atributo de qualquer objeto é o "*logical_name*", é uma das partes que compõem a identificação do objecto. Um objecto pode possuir um número de métodos para consultar ou modificar os valores dos seus atributos [12].

Os objetos que partilham características comuns são generalizados como uma classe de interface, sendo identificada como sendo uma classe genérica possuindo a identificação "*class_id*". Dentro de uma classe de interface específica, existem características comuns (atributos e métodos), a este conjunto dá-se a designação de objeto. Quando se realiza uma instanciação de uma classe de interface estamos-nos a referir a um objeto COSEM. A estes objetos podem ser adicionados métodos e atributos proprietários do fabricante de contadores. O esquema representado na Figura 3-33 ilustra a representação destes termos de forma esquemática [12].

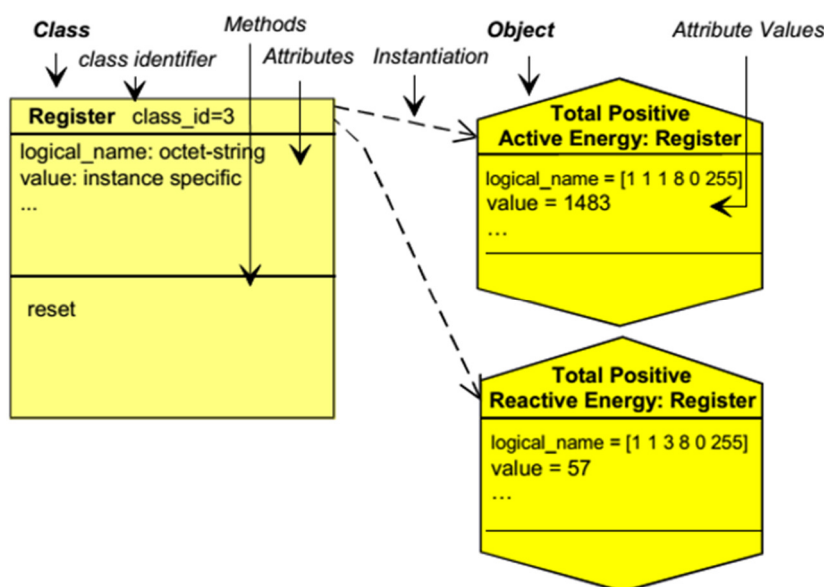


Figura 3-33: Uma Classe de interface e suas instâncias [12].

A classe de interface registo (*Register*) é formada pela combinação das características necessárias para modelar o comportamento de um registo genérico que contem informações estáticas ou dinâmicas (mensuráveis pelo contador). Do ponto de vista do cliente (sistema de recolha de dados). O conteúdo do registo é identificado pelo atributo *logical_name*. Este atributo contém um identificador OBIS, o conteúdo real do registo é realizado pelo seu atributo *value* [12].

Definir um contador específico significa definir vários objetos específicos. No exemplo da Figura 3-33, o aparelho contém dois registros, isto é, dois exemplos específicos da classe de interface *Register* são instanciadas, o que significa que valores específicos são atribuídos a diferentes atributos. Através da instanciação, um objeto COSEM torna-se um registro da energia activa total positiva (“*total, positive, active energy register*”), enquanto o outro se torna um registro total da energia reactiva positiva (“*total, positive, reactive energy register*”) [12].

3.6.5.11. Métodos de Referência

Os atributos e os métodos de objetos COSEM podem ser referenciados em duas formas diferentes [12]:

- Usando nomes lógicos (referenciação LN), neste caso, os atributos e métodos de um objeto da interface COSEM são referenciados através do identificador da instância do objeto COSEM a que pertencem;
- A referência para um atributo é: *class_id*, valor do *logical_name*, *attribute* e *attribute_index*;
- A referência para um método é: *class_id*, valor do *logical_name*, *attribute* e *method_index*.

onde:

- *attribute_index* é utilizado como o identificador do atributo necessário, são especificados na definição de cada classe de interface, são números positivos que começam em um. Podem ser adicionados atributos proprietários, os quais devem ser identificadas com números negativos;
- *method_index* é utilizado como o identificador do método exigido, são especificados na definição de cada classe de interface, são números positivos que começam em um. Podem ser adicionados métodos proprietários, os quais devem ser identificados com números negativos.

O uso de nomes curtos (referenciação SN). Destina-se ao uso em dispositivos simples. Neste caso, cada atributo é um método de um objecto COSEM e é identificado como um número inteiro de 13-bit. A sintaxe do nome curto é o mesmo que a sintaxe do nome de uma variável chamada DLMS [12].

3.6.5.12. Registo (*class_id: 3, versão: 0*)

Esta classe de interface permite a modelagem de um processo ou de um valor do estado que esta associado aos dados e a sua unidade de medição. Objetos do tipo "*Register*" conhecem a natureza do valor do estado e do seu fator multiplicativo da sua unidade de medição, sendo identificados pelo atributo *logical_name*. A Figura 3-34 ilustra a composição do objeto registo [12].

Register	0...n	class_id = 3, version = 0			
Attributes	Data type	Min.	Max.	Def.	Short name
1. logical_name (static)	octet-string				x
2. value (dyn.)	CHOICE				x + 0x08
3. scaler_unit (static)	scal_unit_type				x + 0x10
Specific methods	m/o				
1. reset (data)	o				x + 0x28

Figura 3-34:Classe de interface Registro *class_id* 3 [12].

No Quadro 3-7 descreve-se o significado de cada atributo que compõem o objeto registro.

Quadro 3-7: Especificação dos atributos do objeto registro [12].

Descrição dos Atributos	
<i>logical_name</i>	Identifica a instância do objeto de registro para associações LN.
<i>value</i>	Contem o processo corrente ou o valor do estado.
<i>scaler_unit</i>	Fornecer informação do factor multiplicativo da unidade medida
Descrição dos métodos	
<i>Reset (data)</i>	Este método força o reinício do objeto. Ao invocar este método o atributo <i>value</i> é colocado no seu valor de defeito.
<i>data type</i>	Tipo de dados de cada atributo do registro.
<i>Min.</i>	Valor mínimo do atributo quando existe.
<i>Max.</i>	Valor máximo do atributo quando existe.
<i>Def.</i>	Valor por defeito do atributo quando existe.
<i>short name</i>	Identifica a instância do objeto de registro para associações SN.

No Quadro 3-8 podemos visualizar alguns exemplos de valores de atributos geridos pelo objeto registro, onde se pode visualizar o elemento multiplicativo e a unidade que lhe está associada [12].

Quadro 3-8: Exemplos de valores do objecto registro [12].

Valor	Escalar	Unidade	Dados
263788	-3	m ³	263,788 m ³
593	3	Wh	593 kWh
3467	0	V	3467 V

3.6.5.13. Relógio (*class_id*: 8, versão: 0)

Estes modelos classe de interface do relógio do dispositivo gerem todas as informações relacionadas à data e hora, incluindo desvios da hora local a uma referência de tempo generalizada (*Greenwich Mean Time*, GMT), devido aos fusos horários e regimes de horário de verão. Esta classe oferece também métodos que permitem ajustar o relógio [12].

A informação da data inclui o ano, mês, dia do mês e dia da semana. A informação do tempo inclui elementos da hora, minutos, segundos, centésimos de segundos, e o desvio da hora

local de GMT. A função de horário de verão modifica o desvio da hora local para GMT dependendo dos atributos [12].

Clock		0...1	class_id = 8, version = 0			
Attributes		Data type	Min.	Max.	Def.	Short name
1.	logical_name (static)	octet-string				x
2.	time (dyn.)	octet-string				x + 0x08
3.	time_zone (static)	long				x + 0x10
4.	status (dyn.)	unsigned				x+ 0x18
5.	daylight_savings_begin (static)	octet-string				x + 0x20
6.	daylight_savings_end (static)	octet-string				x + 0x28
7.	daylight_savings_deviation (static)	integer				x + 0x30
8.	daylight_savings_enabled (static)	boolean				x + 0x38
9.	clock_base (static)	enum				x + x40
Specific methods		m/o				
1.	adjust_to_quarter (data)	o				x + 0x60
2.	adjust_to_measuring_period (data)	o				x+ 0x68
3.	adjust_to_minute (data)	o				x+ 0x70
4.	adjust_to_preset_time (data)	o				x+ 0x78
5.	preset_adjusting_time (data)	o				x+ 0x80
6.	shift_time (data)	o				x+ 0x88

Figura 3-35: Classe de interface Relógio *classe_id* 8 [12].

No Quadro 3-9 descreve-se o significado de cada atributo que compõem o objeto relógio.

Quadro 3-9: Especificação dos atributos do objeto registro [12].

Descrição dos Atributos	
<i>logical_name</i>	Identifica a instância do objeto de relógio para associações LN.
<i>time</i>	Contém a data e o tempo do contador local o seu estado e desvio em relação ao GMT.
<i>time_zone</i>	O desvio de, o tempo local em relação ao tempo GMT em minutos.
<i>status</i>	O estado é igual ao estado lido em tempo.
<i>daylight_savings_begin</i>	Define o início do desvio da data e hora do local quando está tem de ser alterada.
<i>daylight_savings_end</i>	Define o fim do desvio da data e hora do local quando está tem de ser alterada.
<i>daylight_savings_deviation</i>	Contém o número de minutos em que o desvio do tempo deve ser corrigido.
<i>daylight_savings_enabled</i>	Ativa ou desativa o <i>daylight_savings</i> .
<i>clock_base</i>	Define onde as informações básicas tempo vem
Descrição dos métodos	

<i>adjust_to_quarter (data)</i>	Define o tempo do contador para o valor do quarto de hora mais próximo de um valor de hora.
<i>adjust_to_measuring_period (data)</i>	Define o tempo do contador para o ponto de partida mais próxima de um período de medição.
<i>adjust_to_minute (data)</i>	Define o tempo do contador para o minuto mais próximo.
<i>adjust_to_preset_time (data)</i>	Este método é usado em conjunção com o método <i>preset_adjusting_time</i> . Se o tempo do contador fica entre <i>validity_interval_start</i> e <i>validity_interval_end</i> , então o tempo é definido para <i>preset_time</i> .
<i>preset_adjusting_time (data)</i>	Programa o tempo para um novo valor (<i>preset_time</i>) e define uma <i>validity_interval</i> dentro do qual o novo horário pode ser ativado.
<i>shift_time (data)</i>	Muda o tempo para n segundos acima ou n segundos abaixo do tempo atual ($-900 \leq n \leq 900$) s.

3.6.5.14. Sistema de Identificação de Objetos (OBIS)

O sistema de objetos de identificação (OBIS) define os códigos de identificação para os diversos tipos de dados utilizados nos contadores de energia [12].

A identificação OBIS fornece um único identificador exclusivo para cada tipo de dados existente no contador de energia, incluindo não só os valores de medição, mas também valores abstratos utilizados para a sua configuração, ou obter informações sobre o comportamento do equipamento de medição. Os códigos de identificação definidos neste padrão são utilizadas para a identificação de [12]:

- Nomes de lógicas das várias instâncias das classes de interface, ou objetos;
- Os dados transmitidos através das linhas de comunicação;
- Os dados apresentados no equipamento de medição;

Para abranger equipamentos de medição de energia ou outros sem ser de energia, podem ser utilizados equipamentos de medição combinados que possuem a vantagem de medir mais do que um tipo de energia, ou equipamento de medição com vários canais de medição físicos, sendo introduzidos os conceitos de meio e canais. Este conceito permite assim que os dados do contador, originários de diferentes fontes possam ser identificados [12].

Os códigos OBIS são responsáveis por identificar os diferentes tipos de dados utilizados em equipamentos de medição, numa estrutura hierárquica com seis grupos de valores de A a F como ilustrado no Quadro 3-10 [12].

Quadro 3-10: Estrutura do código OBIS [12].

A	B	C	D	E	F
----------	----------	----------	----------	----------	----------

Em que cada grupo representa [12]:

- Valor do grupo A: É utilizado para identificar os tipo do meio ao qual a medição esta relacionada. Informação do meio não relacionada nenhuma grandeza é tratada como dados abstratos, que é o caso da informação referente ao contador. Este grupo pode conter valores entre 0 e 15.
- Valor do grupo B: É geralmente utilizado para identificar o canal de medida, como por exemplo o número da entrada de um equipamento de medição que possui várias entradas de medição de energia do mesmo tipo ou de tipos diferentes. Podendo assim ser identificados dados provenientes de diferentes fontes. Este grupo de valores é independente do grupo de valores A. Este grupo pode conter valores entre 0 e 255.
- Valor do grupo C: É utilizado para identificar os itens de dados abstractos ou físicos relacionados com a fonte de informação em questão, como por exemplo, a corrente, tensão, potência, volume, temperatura, etc. As suas definições estão dependentes do valor do grupo A. Este grupo pode conter valores entre 0 e 255.
- Valor do grupo D: É utilizado para identificar os tipos, ou os resultados do processamento das grandezas físicas identificadas por valores dos grupos A e C, de acordo com vários algoritmos específicos. Este grupo pode conter valores entre 0 e 255.
- Valor do grupo E: É utilizado para identificar o processamento adicional e a classificação das quantidades identificadas pelos valores dos grupos A a D. Este grupo pode conter valores entre 0 e 255.
- Valor do grupo F: É utilizado para identificar dados de histórico, identificados por valores dos grupos A a E, de acordo com diferentes períodos de facturação. Quando o seu uso não é relevante, os valores deste grupo podem ser utilizados para outra classificação, podendo mesmo não serem utilizados. Este grupo pode conter valores entre 0 e 255.

A Figura 3-36 (Communications) ilustra um exemplo do sistema de identificação OBIS para obtenção do valor da energia total importada na tarifa 2.

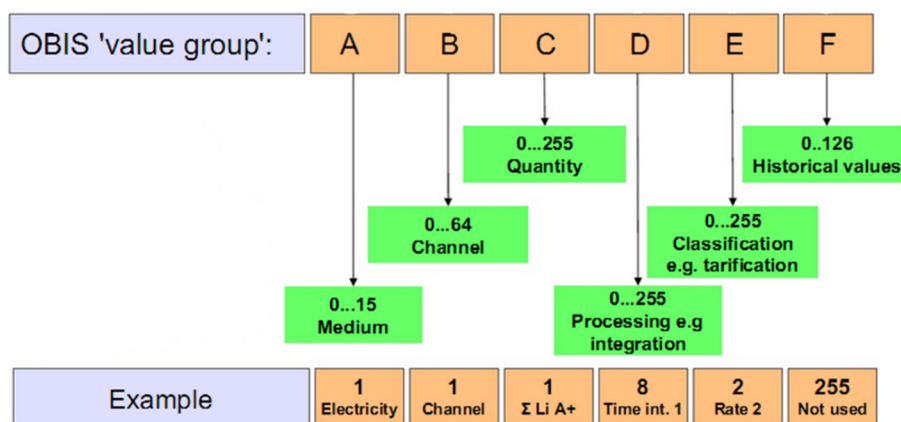


Figura 3-36: Exemplo de código OBIS [http#26].

3.6.5.15. Estrutura da mensagem DLMS/COSEM

A mensagem DLMS/COSEM de controlo de acesso ao meio (MAC) está estruturada em nove campos representados na Figura 3-37 (Associations, 2009) [12] [19].

Flag	Frame format	Dest.address	Src. address	Control	HCS	Information	FCS	Flag
------	--------------	--------------	--------------	---------	-----	-------------	-----	------

Figura 3-37: Estrutura da Mensagem DLM/COSEM [12].

Em que cada campo é composto por [12]:

- *Flag* – Campo utilizado para inicializar e terminar a mensagem. Este campo tem o comprimento de 1 byte e o seu valor é sempre 7EH;
- *Frame format* – Possui um comprimento de 2 bytes, sendo composta por três subcampos: Tipo de formato (*Format type*) que ocupa 4 bits e o seu valor é 1010 em binário. Possui 1 bit de segmentação (*Segmentation*) e os restantes 11 bits são para definir o tamanho da mensagem (*frame length*) cujo seu valor vai ser o número de bytes que compõem a mensagem excluindo os campos da *Flag*. Na Figura 3-38 (Associations, 2009) esta ilustrado o campo *Frame Format*;
- Endereços de destino e da fonte (*Destination and source address filds*) – São os endereços do cliente e do servidor, ou servidor cliente dependendo da direção da transferência dos dados. O endereço do cliente é sempre expresso por 1 byte. O endereço do servidor pode ser composto por diferentes comprimentos. Devido ao facto de um único cliente poder ligar-se com vários contadores, o endereço do servidor pode estar dividido em duas partes:
 - Um endereço HDLC superior que é utilizado para endereçar um dispositivo lógico (uma entidade de um dispositivo físico). Este endereço tem de estar sempre presente na mensagem;
 - Um endereço HDLC inferior que é utilizado para endereçar o dispositivo físico (um dispositivo físico numa rede). Este endereço pode ser omitido na mensagem.

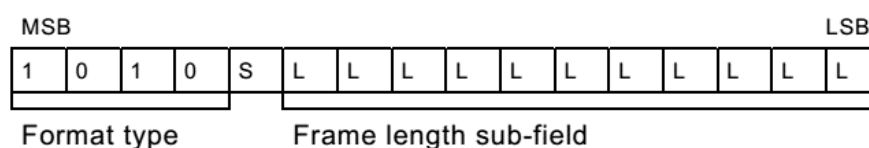


Figura 3-38: Campo *Frame Format* [12].

O comprimento do endereço completo do servidor pode ser de 1, 2, ou 4 bytes de comprimento, conforme ilustrado na Figura 3-39, devido ao facto do servidor poder suportar mais do que um esquema de endereçamento. Sendo composta pelos seguintes campos [12]:

- Campo de controlo (*Control Fild*) – Indica o tipo de comandos ou respostas trocadas entre o cliente e o servidor. Possui um comprimento de 1 byte;
- Campo de verificação da sequência do cabeçalho (*Header Check Sequence (HCS)*) – Está verificação é apenas aplicada ao cabeçalho da mensagem entre o campo Flag e

HCS. Este campo é calculado de igual forma que o campo verificação da mensagem (*Frame Check Sequence (FCS)*). Este campo possui um comprimento de 2 bytes;

- Campo da Informação (*Information Field*) – Campo onde é enviado o pedido por parte do cliente ou os dados por parte do servidor. Este campo pode conter qualquer sequência de bytes ;
- Campo de verificação da mensagem (*Frame Check Sequence (FCS)*) – Está verificação é aplicada a todo o comprimento da mensagem exceto os campos da *Flag*. Possui um comprimento de 2 bytes e é calculado obedecendo as seguintes regras:
 - É calculado considerando a ordem do bit conforme transmitida pelo canal;
 - Para o campo do endereço, campo de controlo, e todos os outros campos a exceção do campo de controlo FCS o bit de ordem mais baixa (de cada byte) é transmitido em primeiro lugar;
 - Para o campo FCS o coeficiente do termo de ordem mais alta (correspondente a x^{15}) é transmitido em primeiro lugar.

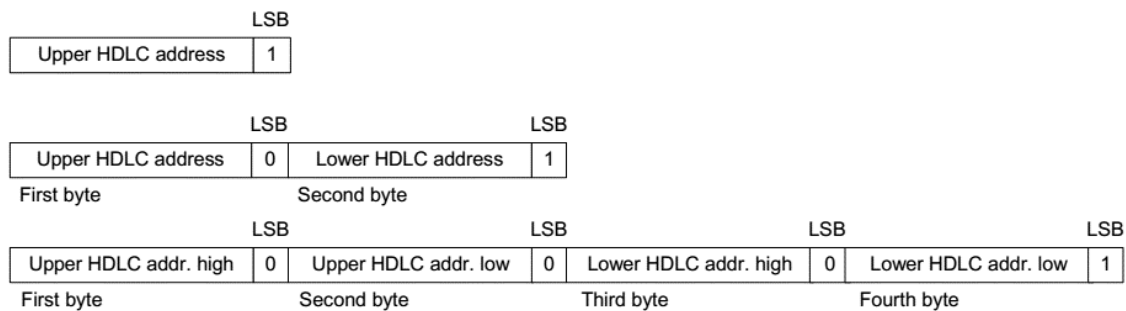


Figura 3-39: Estruturas de endereçamento do servidor [12].

A verificação deste código é efetuada em todas as mensagens recebidas pelo cliente e pelo servidor de modo a garantir que os dados enviados são corretamente recebidos. Caso os dados recebidos não estejam corretos, é emitida uma mensagem de erro para o cliente e é finalizada a ligação [12].

Capítulo 4 Resultados

4.1. Introdução

Neste capítulo será descrito o *hardware* e o *software* resultante da componente prática realizada no decorrer desta dissertação. Inicialmente será realizada uma descrição do *hardware* implementado, onde serão descritos os circuitos elétricos desenvolvidos para o módulo do Arduino Mega 2560 denominado Módulo Solar. Posteriormente, será apresentado o *software* desenvolvido para o microcontrolador Arduino. Neste software, foram implementados os protocolos DLMS/COSEM e M&T.

4.2. Módulo Solar

Como forma de agrupar os diferentes meios físicos de comunicação implementados individualmente durante o decorrer desta dissertação, fica assim agrupados num só módulo todos os meios necessários para a realização das tarefas que foram implementadas, permitindo também a interface física entre a plataforma Arduino e os equipamentos a serem monitorizados.

O Módulo Solar, é constituído pelos interfaces a seguir referidos:

- Interface de comunicação série RS-232;
- Interface de comunicação série RS-485;
- Interface relógio de tempo real com comunicação I²C;
- Interface memória EEPROM 24LC256 com comunicação I²C;
- Expansão dos portos digitais e analógicos.

necessário que haja um controlo dos seus estados de leitura e escrita conforme mencionado na subsecção 3.6.3. Este controlo pede ser executado de duas formas diferentes, que consistem em:

- A primeira opção é que a realização do controlo dos estados de leitura/escrita seja feita por intermédio de código implementado no microcontrolador, ficando este com a responsabilidade e a gestão de habilitar ou desabilitar os estados de leitura/escrita da informação na porta de comunicação RS-485. Esta solução é uma solução que requer que todas as transições de estado estejam devidamente sincronizadas com os tempos de transição dos estados de leitura/escrita, para se garantir que todos os dados são recebidos ou enviados é necessário aumentar os tempos de envio e de receção das mensagens trocadas, o que aumenta os tempos de execução podendo mesmo existirem erros na informação trocada e levar à perda de informação recebida pelo microcontrolador;
- A segunda opção é a realização do controlo dos estados de leitura/escrita seja efetuada por intermédio de componentes (*hardware*) externos ao microcontrolador passando a responsabilidade e a gestão de habilitar ou desabilitar os estados de leitura/escrita da informação na porta de comunicação RS-485 para o *hardware*. Esta solução consiste em estar à “escuta” do início da comunicação do microcontrolador e quando deteta que este quer iniciar uma comunicação (pedido de dados), vai habilitar o *transceiver* para escrita permitindo que a mensagem seja enviada. Quando o envio for terminado, este vai desabilitar a escrita e passa ao estado de leitura permitindo que a resposta ao pedido enviado possa chegar ao microcontrolador, permanecendo neste estado até que detete novamente um novo pedido do microcontrolador. Para a realização deste permutador de estados por *hardware*, foi utilizado o oscilador NE555.

Ambas as opções foram implementadas e testadas durante o trabalho prático desta dissertação e após testes exaustivos, optou-se pela segunda visto ser a opção mais constante durante os testes realizados.

Na Figura 4-2 está representado o esquema elétrico do interface desenvolvido a que se denominou de RS-485A. Este é composto pelo *transceiver* MAX483 que realiza a conversão dos níveis de sinal TTL para os níveis de sinal RS-485. Aos pinos 1 (RO) e 4 (DI) esta ligada a porta de comunicação número 2 do Arduino, aos terminais 2 (RE) e 3 (DE) é ligado o sinal de controlo do estado de leitura/escrita de dados no barramento, conforme descrito anteriormente, quando o microcontrolador inicia uma transmissão, esta vai ser detetado pelo *trigger* do NE555 pino 2, colocando a saída 1 a um nível lógico 1 que por conseguinte vai habilitar o modo de escrita no MAX483 através dos pinos RE e DE, ou seja quando pino DE está a um nível lógico 1, o pino RE fica com um nível lógico 0, visto estes serem complementares um do outro, quando a transmissão acaba, deixa de existir sinal no *trigger* que por conseguinte vai fazer com que a saída fique a um nível lógico 0, por sua vez o MAX483 comuta de estado passando para modo de leitura.

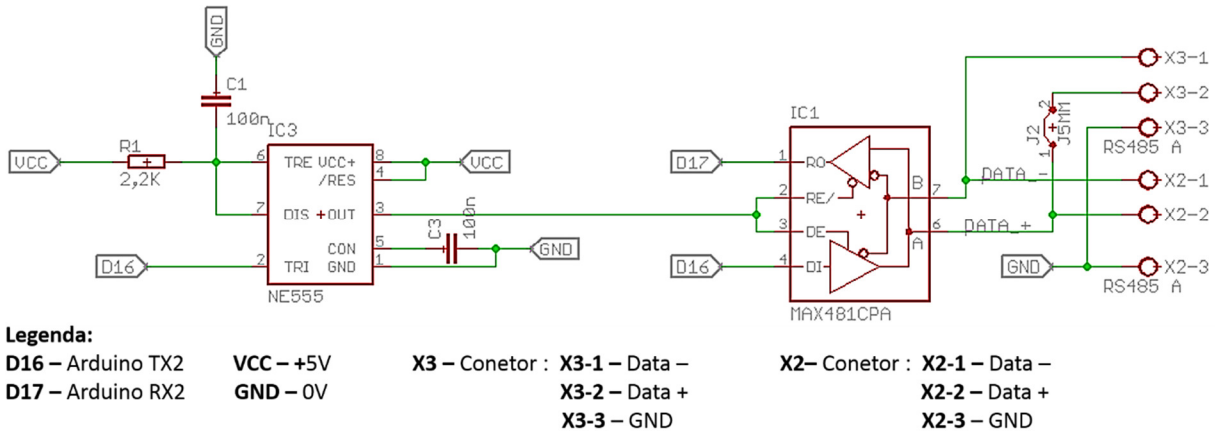


Figura 4-2: Esquema elétrico do interface RS-485 A.

Com vista a aproveitar todos os recursos do Arduino e de modo a disponibilizar mais um interface de comunicação foi implementado o interface da Figura 4-3, onde está representado o esquema elétrico de uma segunda interface denominada de RS-485B/TTL. O seu princípio de funcionamento é exatamente igual ao descrito para o interface RS-485A. A sua particularidade é que permite ao utilizador escolher qual o modo de comunicação que pode operar, isto é, por intermédio dos *jumpers* JP1 e JP2 pode ser escolhido qual o modo de comunicação com o qual se pretende operar. Se ambos os *jumpers* estiverem na posição 1 e 2 estamos a operar em modo TTL, estando a aceder diretamente aos portos do Arduino. Se os *jumpers* estiverem na posição 2 e 3, ativamos o interface de comunicação RS-485.

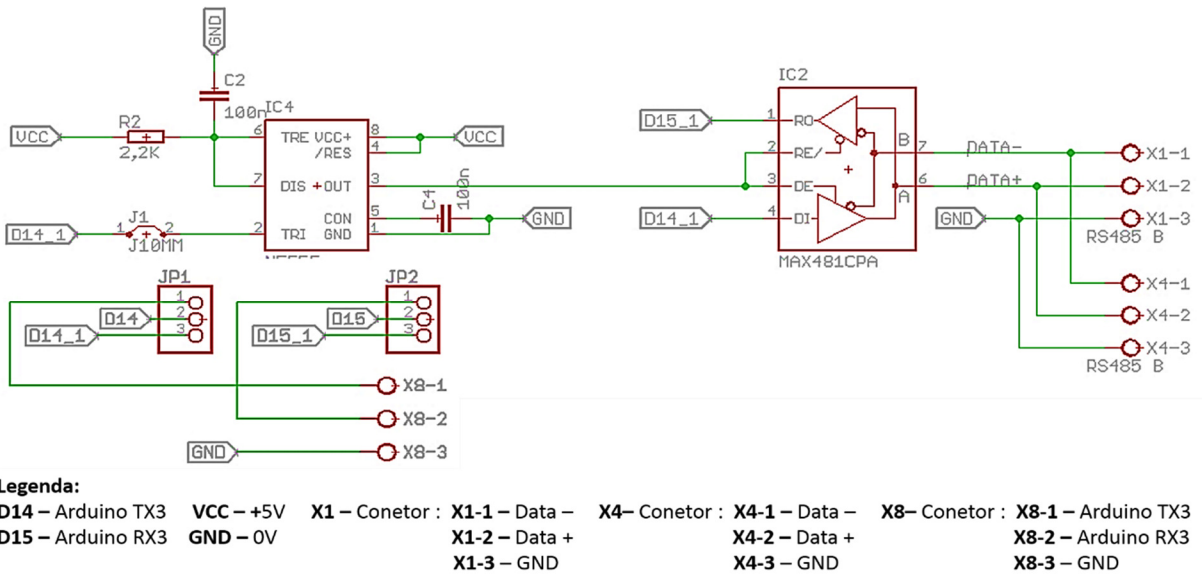


Figura 4-3: Esquema elétrico do interface RS-485 B/TTL.

4.2.3. Interface Relógio de Tempo Real

Para registar a hora e data em que um dado é adquirido pelo *datalogger*, é necessário que o sistema possua um relógio de tempo real.

O microcontrolador Arduino possui internamente um relógio de tempo real, que poderá ser utilizado para registo dos tempos de aquisição dos dados no *datalogger*. Quando o microcontrolador fica sem energia e desliga, e ao voltar a ligar é feito um *reset* ao relógio interno.

Apesar deste relógio interno ser útil para alguns tipos de projetos, não é útil para registo de dados em tempo real, este tipo de registo necessita de uma contagem do tempo consistente, em que não seja afetada com a falta de energia ou com a sua reprogramação.

Assim, como forma de garantir que os dados recolhidos possuam um registo temporal constante e fiável, foi implementado com o circuito integrado DS1307 um relógio de tempo real. Este integrado utiliza como meio de comunicação com o Arduino o barramento I²C. Este interface foi também integrado na placa desenvolvida.

A Figura 4-4 ilustra o esquema elétrico do interface implementado.

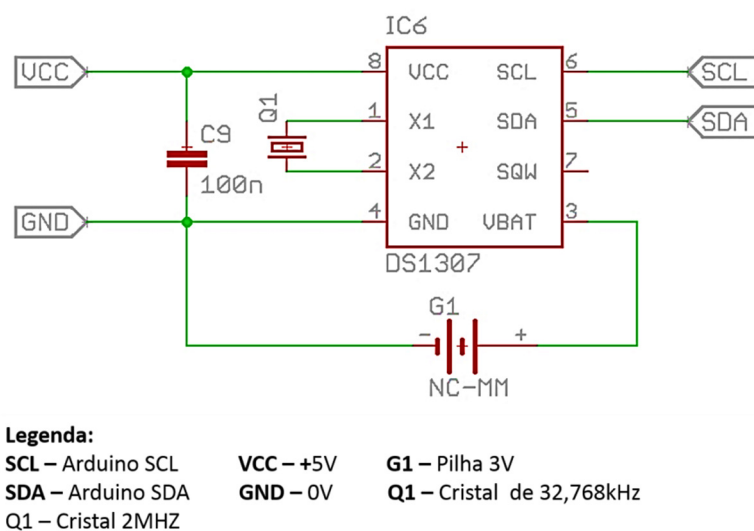


Figura 4-4: Esquema elétrico do interface do Relógio de Tempo Real.

No circuito da Figura 4-4 podemos observar que a interface possui uma pilha (G1) de lítio de 3V, que tem como função manter as funções do DS1307 quando existe uma falha de energia no sistema, garantindo deste modo que o relógio permanece com a data e hora correta. Este interface possui ainda um oscilador a cristal (Q1) de 32,768kHz.

4.2.4. Interface Memória EEPROM

Os sistemas informáticos necessitam que exista uma memória EEPROM que permita armazenar dados e/ou parâmetros necessários ao sistema informático, nomeadamente parâmetros de configurações de arranque do sistema que necessitam de estar guardados numa

memória não volátil de forma a que, se o sistema for desligado ou encerrar por algum motivo inesperado, os parâmetros de configuração necessários à inicialização do sistema podem ser carregados permitindo que este inicialize corretamente. O ciclo de escrita neste tipo de memória é finito podendo variar de 100.000 a 1 milhão, dependendo do tipo de memória utilizada. O seu ciclo de leituras é ilimitado.

Assim, para o caso do Arduino, apesar deste possuir uma memória ROM interna, esta não foi utilizada. Optou-se por adicionar uma memória externa que facilmente pode ser substituída, ou se necessário poderá mesmo ser trocada por uma de maior capacidade, uma vez que o Arduino Mega 2560 possui uma memória EEPROM de 4KByte de espaço de armazenamento.

A memória EEPROM 24LC256 irá guardar os parâmetros iniciais de configuração do sistema, que são o endereço IP do servidor FTP remoto, a sua *password* e utilizador, os códigos OBIS e endereço do contador do contador de energia, endereço da estação meteorológica, parâmetros que necessitam de ser inicializados quando o Arduino arranca ou é reinicializado por alguma anomalia externa a este. A utilização destas memórias permite a alteração dos dados e o ajuste dos mesmos em função das necessidades.

Na Figura 4-5 ilustra-se o esquema elétrico da interface memória EEPROM 24LC256 implementado.

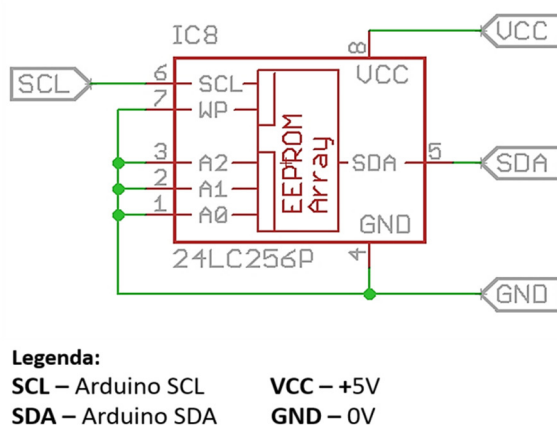
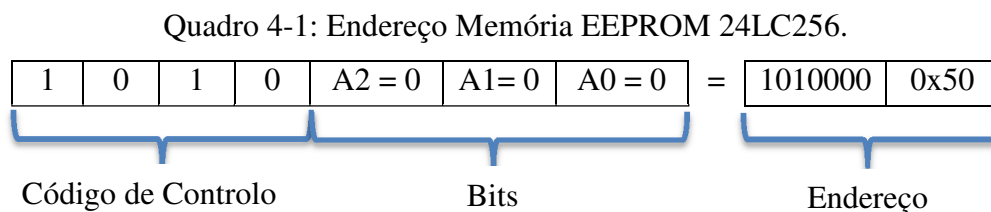


Figura 4-5: Interface memória EEPROM 24LC256.

Como apenas possuímos uma memória EEPROM ligada ao barramento em que o seu endereço é 0x50_h (80_d), ou seja todos os pinos referentes ao endereço (pinos 1 (A0), 2 (A1) e 3 (A2)) estão ligados ao nível lógico 0. Através da combinação destes 3 pinos podemos ter até 8 memórias 24LC256 ligadas ao mesmo barramento. O pino 7 WP (*Write Protect*) pode possuir dois estados lógicos, o estado lógico 0 permite escrever ou ler na memória enquanto o estado lógico 1 impede que a memória possa ser escrita, permitindo apenas realizar leituras dos seu conteúdo.

Neste caso, a memória está por defeito com permissões de escrita uma vez que o Pino 7 se encontra no nível lógico 0, para que possam ser realizadas alterações aos seus dados posteriormente.

No Quadro 4-1 esta exemplificado o cálculo do endereço que atribuído a memória EEPROM.



4.2.5. Portos Digitais e Analógicos

Por forma facilitar o acesso aos portos digitais e analógicos do microcontrolador que não são utilizados, foi inserido no módulo uma extensão destes portos para futura utilização, caso necessário. Na Figura 4-6 estão ilustrados os portos digitais analógicos disponibilizados. Foram também disponibilizados dois conetores para o sinal de referência GND, um conector com a tensão de 5V correspondendo ao sinal VCC, e ainda um conector para a tensão de 3,3V.

Os portos analógicos disponibilizados vão desde a saída analógica A0 até a saída analógica A7. Os portos digitais são disponibilidades desde o D42 até ao D49.

Na Figura 4-6 estão ilustrados os portos digitais e analógicos disponibilizados.



Figura 4-6: Interface dos Portos digitais e analógicos.

4.2.6. Implementação Final

Como já referenciado durante a descrição dos circuitos elétricos dos diferentes interfaces, para tornar o sistema mais eficaz, minimizar o espaço ocupado, eliminar condutores entre os diferentes interfaces, agregando todos estes interfaces num único módulo, foi criado o Módulo Solar que facilmente pode ser acoplado ou desacoplado ao Arduino.

O Módulo Solar desenvolvido é constituído pelos seguintes interfaces:

- Comunicação série RS-232 ligado ao porto série 1 do Arduino;

- Comunicação série RS-485 ligado ao porto série 2 do Arduino;
- Comunicação série RS-485 ou comunicação TTL ligado ao porto série 3 do Arduino;
- Relógio de tempo real ligado ao porto de comunicação SPI (I2C);
- Memória EEPROM 24LC256 ligada ao porto de comunicação SPI (I2C);
- Portos digitais;
- Portos analógicos;
- Saídas de alimentação de 3,3V e 5V respetivamente.

Na Figura 4-7 é possível observar o módulo desenvolvido, onde são identificados os diferentes interfaces que o constituem.

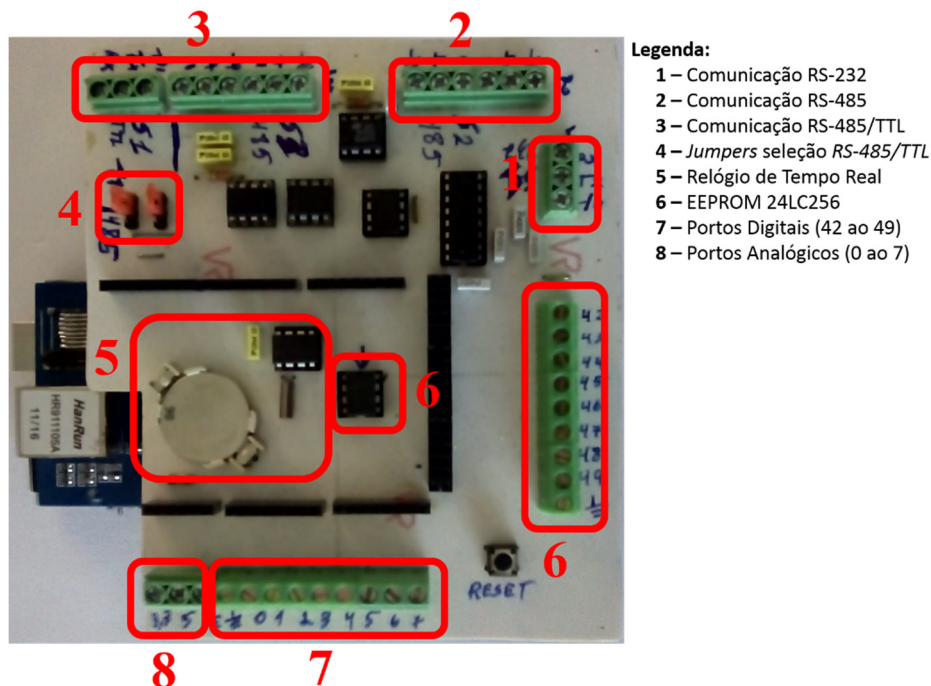
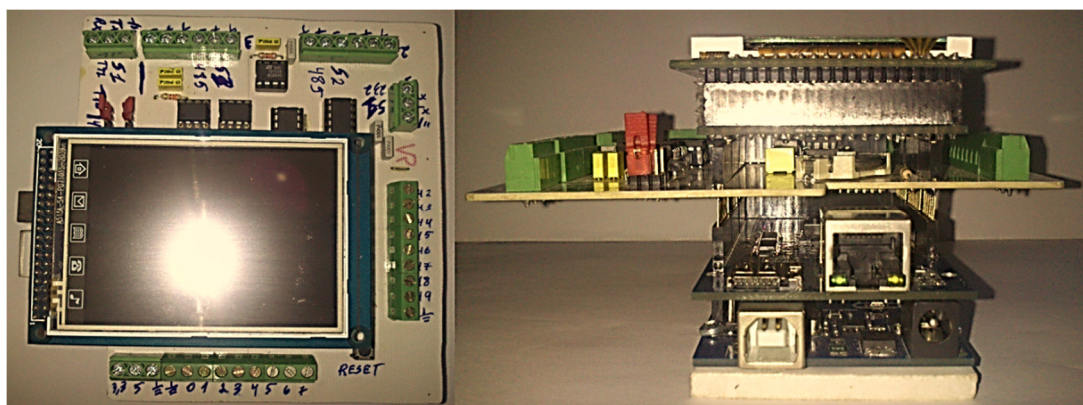


Figura 4-7: Módulo Solar.

No Apêndice 1 é apresentado o esquema elétrico do módulo, no Apêndice 2 é apresentada a placa de circuito impresso (PCB).

4.3. SMARTLog-Lite

Da integração de todos os módulos acima descritos com o Arduino, o resultado final foi um sistema de monitorização para instalações fotovoltaicas de nível 2, que permite obter os dados de contadores de energia e da estação meteorológica utilizados numa instalação fotovoltaica ao qual foi dado o nome de SMARTLog-Lite. Na Figura 4-8 ilustra-se o resultado final do *hardware* implementado.



a) Vista superior

b) Vista lateral

Figura 4-8: *Hardware SMARTLog-Lite.*

Na Figura 4-9 podemos observar a SMARTLog-Lite ligada ao contador de energia e à estação meteorológica respetivamente.

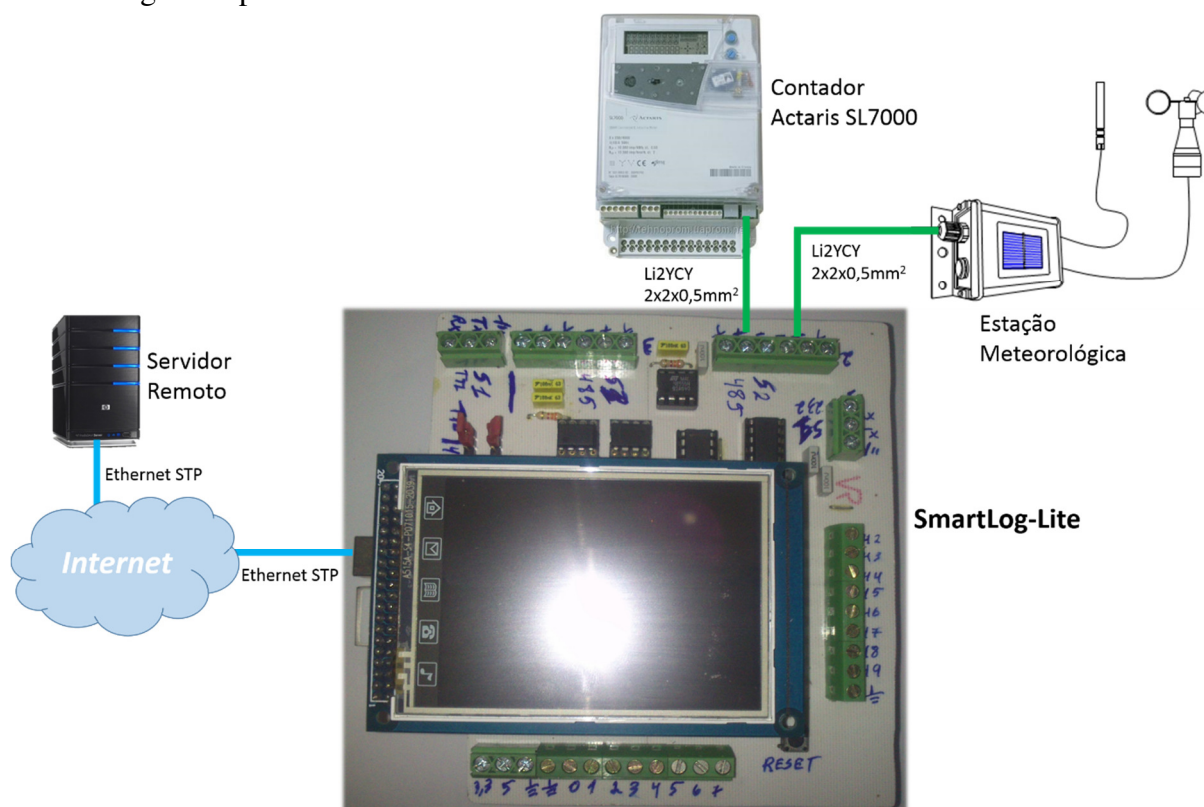


Figura 4-9: Ligações SMARTLog-Lite contador energia e estação meteorológica.

De seguida é descrito o programa desenvolvido para o microcontrolador Arduino que pode ser consultado no Apêndice 3.

4.4. *Software* desenvolvido da SMARTLog-Lite

O objetivo principal do programa desenvolvido foi a construção de um sistema de monitorização para instalações fotovoltaicas, com a função de *datalogger* para aquisição, armazenamento e envio para um servidor remoto dos dados recolhidos nos equipamentos, nomeadamente:

- Contadores de energia que utilizam o protocolo de comunicação DLMS/COSEM através do meio físico de comunicação RS-232 ou RS-485;
- Estações meteorológicas que utilizam o protocolo M&T e o meio de comunicação RS-485.

O SMARTLog-Lite tem com função principal a recolha de dados do contador de energia e da estação meteorológica, num período temporal de 10 em 10 minutos, registando os valores recebidos diretamente em ficheiro. Os valores recolhidos pela SMARTLog-Lite não são afetados por nenhuma operação matemática. O pedido dos dados é feito ao respetivo equipamento e o registo dos dados obtidos é realizado num ficheiro no cartão SD local. Esses dados serão enviados para um servidor FTP remoto para posterior armazenamento e tratamento por parte de um sistema de supervisão central.

Neste capítulo será descrito o *software* desenvolvido, o qual se encontra dividido em sub-rotinas e bibliotecas:

- sub-rotina de comunicação DLMS/COSEM;
- sub-rotina de comunicação M&T;
- biblioteca para relógio de tempo Real DS1730;
- biblioteca para implementação do servidor *Ethernet* (FTP);
- bibliotecas para manipulação do ecrã *Touch*;
- biblioteca para as operação com memória EEPROM;
- biblioteca para operação com o cartão de memória SD.

Seguidamente será realizada a descrição das sub-rotinas implementadas, esta descrição será efetuada através de fluxogramas. Será ainda feita breve descrição das bibliotecas utilizadas sendo realizado uma pequena descrição das suas funcionalidades.

4.4.1. Sub-rotina de comunicação DLMS/COSEM

Para o protocolo DLMS/COSEM, dada a sua enorme complexidade e variedade de funções e procedimentos, assim como a escassez de informação para o seu total desenvolvimento, foram implementados os códigos OBIS mais relevantes para a monitorização dos sistemas fotovoltaicos, que são referentes às energias importadas e exportadas acumuladas e aos valores instantâneos das tensões, correntes, fator de potência e frequência da rede. Todos estes valores são obtidos através do acesso ao registo 3 (IC3) do protocolo DLMS/COSEM conforme descrito no subcapítulo 3.6.5.12. Foi ainda implementado os acesso aos registos 8 (IC8). O registo 8 contém a informação referente à data e hora do contador, conforme descrito

no subcapítulo 3.6.5.13. Possuindo ainda informações referentes aos dados do próprio contador como o seu número de série, parâmetros de configuração do contador, entre outros parâmetros.

No Quadro 4-2 estão representados os códigos OBIS implementados no sistema.

Quadro 4-2: Códigos OBIS Implementados.

	Código OBIS (Decimal)	Código OBIS (Hexadecimal)	Designação	Unidade
Dados do Contador				
1	0.0.1.0.0.255	00.00.01.00.00.FF	Data e Hora	
2	0.0.96.1.0.255	00.00.60.01.00.FF	Número de série	
Valores Totais Acumuladas				
Energia ativa importada				
3	1.1.1.8.0.255	01.01.01.08.00.FF	Total acumulado	kWh
Energia ativa exportada				
4	1.1.2.8.0.255	01.01.02.08.00.FF	Total acumulado	kWh
Energia reativa importada				
5	1.1.3.8.0.255	01.01.03.08.00.FF	Total acumulado	kVarh
Energia reativa exportada				
6	1.1.4.8.0.255	01.01.04.08.00.FF	Total acumulado	kVarh
Valores Instantâneos (rms)				
Fator de potência (cos ϕ)				
9	1.1.13.7.0.255	01.01.0D.07.00.FF	Total (L1, L2, L3)	
10	1.1.33.7.0.255	01.01.21.07.00.FF	Fase L1	
11	1.1.53.7.0.255	01.01.35.07.00.FF	Fase L2	
12	1.1.73.7.0.255	01.01.49.07.00.FF	Fase L3	
Tensão				
13	1.1.32.7.0.255	01.01.20.07.00.FF	Fase L1	V
14	1.1.52.7.0.255	01.01.34.07.00.FF	Fase L2	V
15	1.1.72.7.0.255	01.01.48.07.00.FF	Fase L3	V
Corrente				
16	1.1.31.7.0.255	01.01.1F.07.00.FF	Fase L1	A
17	1.1.51.7.0.255	01.01.33.07.00.FF	Fase L2	A
18	1.1.71.7.0.255	01.01.47.07.00.FF	Fase L3	A
Frequência				
19	1.1.14.7.0.255	01.01.0E.07.00.ff		Hz

Esta sub-rotina é responsável pela aquisição de todas as grandezas mencionadas no Quadro 4-2.

Na Figura 4-10 está representado o fluxograma que ilustra o procedimento efetuado entre o microcontrolador e o contador de energia para adquirir os valores contidos nos objetos OBIS evidenciados.

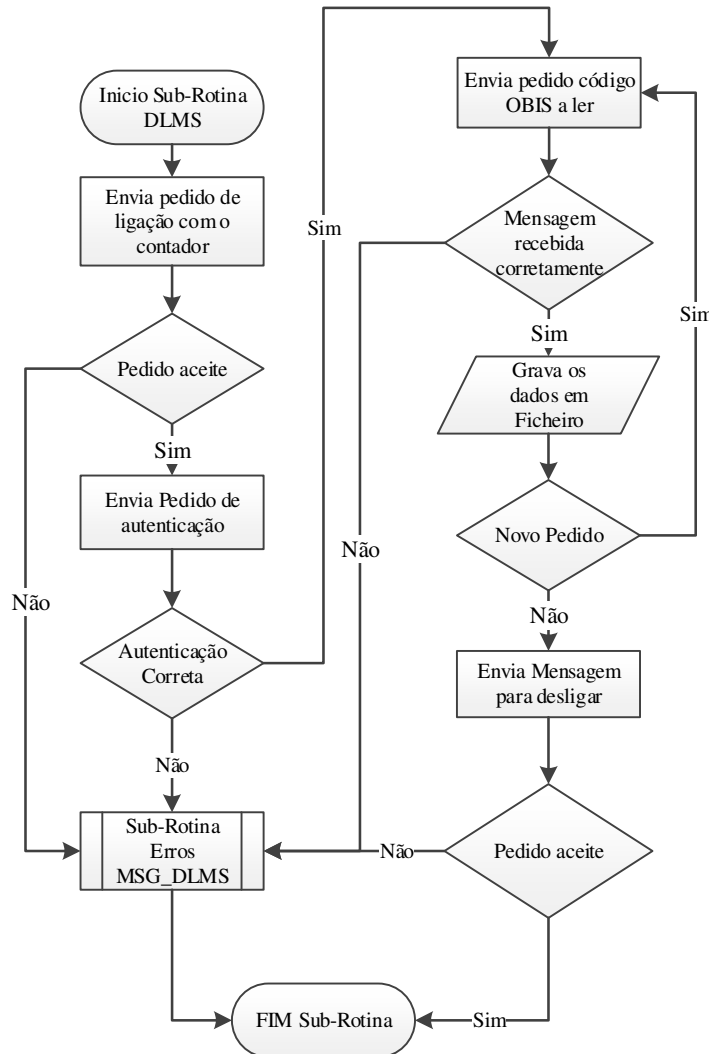


Figura 4-10: Fluxograma do ciclo de execução de pedido resposta de dados ao contador de energia.

Este procedimento é iniciado com o envio de uma mensagem de pedido de ligação do cliente (microcontrolador Arduino) ao servidor (contador), que por sua vez, ao receber o pedido de ligação, vai enviar ao Arduino uma resposta a informar que o pedido de ligação foi aceite podendo ser estabelecida a comunicação. Seguidamente, o Arduino envia uma mensagem ao contador, informando-o qual o tipo de associação que vai ser utilizado na comunicação, enviando também na mesma mensagem a *password* de autenticação para o tipo de associação que vai ser estabelecido, de modo a obter autorização do contador para adquirir os dados. Se a *password* enviada não for reconhecida pelo contador, este vai enviar uma mensagem de erro ao cliente, terminando a ligação.

Após ser estabelecida a ligação e ser garantido o acesso aos dados do contador, é iniciado o pedido de dados por parte do Arduino. Para cada dado (código OBIS) que o Arduino quer recolher, é enviado um pedido ao contador, o qual vai responder enviando os dados requisitados.

Após o recebimento dos dados e armazenados em ficheiro pelo Arduino, é enviada uma mensagem a informar o contador que a associação terminou. Este responde com uma mensagem a confirmar que vai encerrar a associação e termina a associação.

Durante o processo de comunicação com o contador, e após um pedido de associação por parte do cliente, se a comunicação falhar, originar algum tipo de erro ou não houver nenhum pedido por parte do cliente durante 30 segundos, o contador vai terminar automaticamente a associação, uma vez que este é o responsável pela gestão da comunicação.

Se existirem erros durante a transmissão das mensagens do contador para o cliente estes serão tratados pela sub-rotina de erros do DLMS, esquematizada na Figura 4-11.

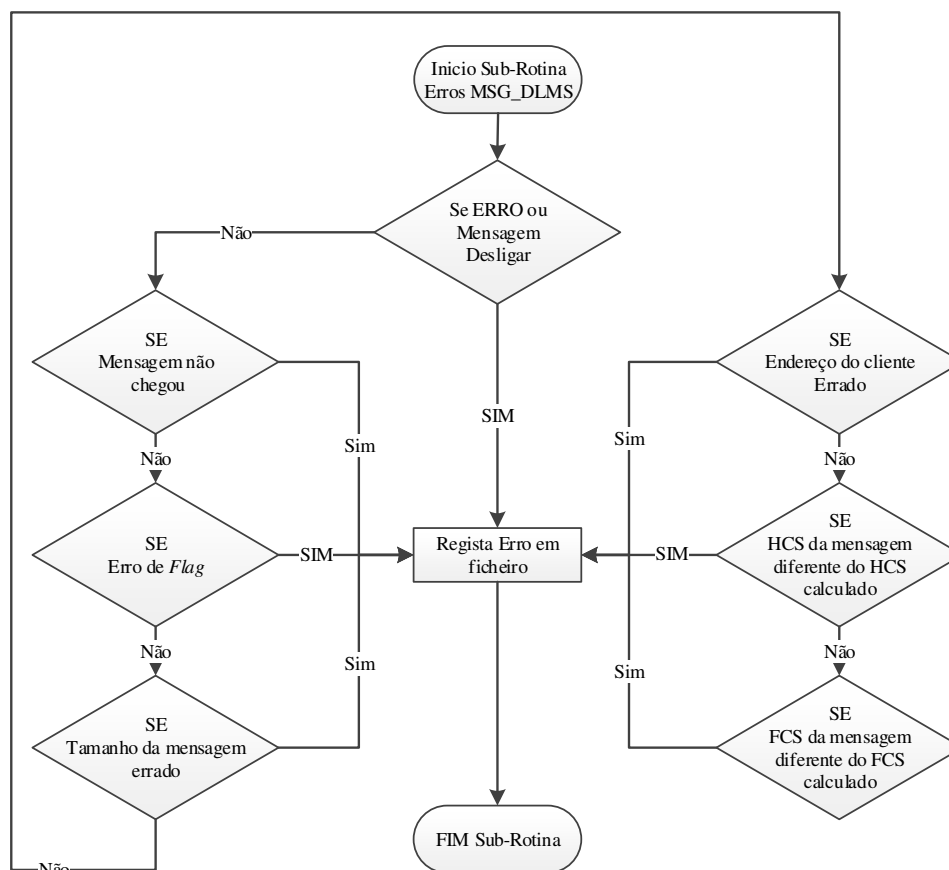


Figura 4-11: Tratamento de Erros na Comunicação DLMS/COSEM.

4.4.2. Sub-rotina de comunicação M&T

Este procedimento tem como finalidade a obtenção dos dados da estação meteorológica. Com essa finalidade foi implementado o código que permite ao microcontrolador recolher a informação dos diversos sensores que constituem a estação meteorológica.

A gestão desta ligação é efetuada pelo microcontrolador, sendo responsável pelo início e fim do processo de comunicação.

O procedimento aquando da sua execução começa por enviar uma mensagem que contém a identificação da estação meteorológica à qual vai pedir os dados, assim como o código respetivo.

Após a receção do pedido, o escravo envia os dados solicitados pelo microcontrolador. De seguida, os dados são guardados em ficheiro e o processo é finalizado. Na Figura 4-12 são descritos os passos necessários para a concretização deste procedimento.

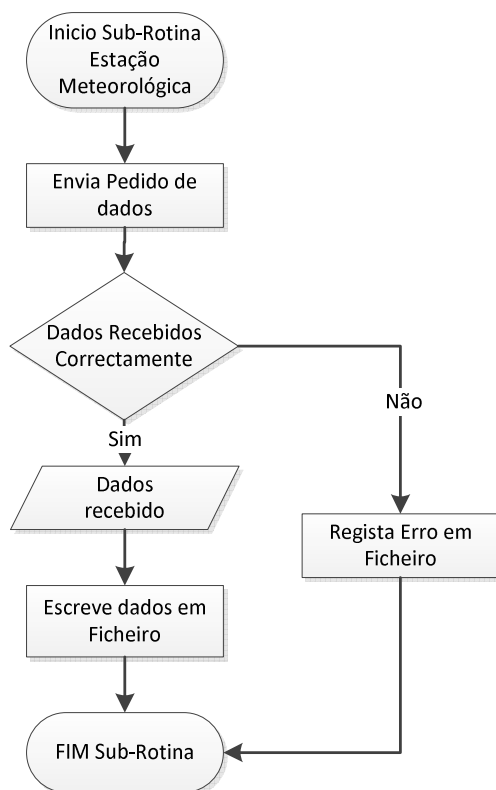


Figura 4-12: Fluxograma do ciclo de execução de pedido e resposta de dados à estação meteorológica.

4.4.3. Bibliotecas Utilizadas

As bibliotecas permitem que seja fácil a integração de módulos e componentes externos ao Arduino. A principal função destas bibliotecas é realizar a integração do *hardware* externo com o *hardware* Arduino, realizando todas as configurações necessárias, disponibilizando ao utilizador apenas métodos que são de fácil percepção e implementação.

Durante a realização deste trabalho foi necessário recorrer à utilização de bibliotecas externas ao Arduino para a integração do *hardware* externo utilizado, nomeadamente:

- Biblioteca *Ethernet* que permite a interação entre o Arduino e o módulo *Ethernet*, permitindo o envio dos dados por FTP. Além da funcionalidade descrita permite também implementar um servidor *web* dotando o Arduino da capacidade de poder alojar páginas *web* onde por exemplo podem ser mostrados valores de sensores a este ligados, ou possam ser enviados comandos de modo a atuar uma saída deste, entre outras possibilidades. Esta biblioteca incluída na plataforma de programação IDE do Arduino.
- Bibliotecas UTF é um pacote de bibliotecas que permitem a interação entre o Arduino e todos os recursos do ecrã tátil. Este pacote de bibliotecas possibilita uma fácil implementação das interfaces desejadas recorrendo ao uso de funções pré-programadas, necessitando apenas de serem introduzidos os parâmetros necessários ao seu funcionamento. Estas bibliotecas podem ser encontradas em [http#27]. Nesta localização podemos encontrar as seguintes bibliotecas:
 - Biblioteca *UTF* que é responsável pela gestão e envio da informação e imagens para o ecrã. Esta biblioteca possui funções para envio de texto, de números, criação de linhas entre dois pontos, criação de círculos, retângulos ou quadrados. Permitindo assim criar toda a interface gráfica do trabalho realizado.
 - Biblioteca *UTouch* que é responsável pela aquisição das instruções provenientes da componente tátil do ecrã, permitindo assim receber a informação para a transição entre ecrãs quando se pressiona uma área pré definida para esse efeito.
 - Biblioteca *DS1307* possibilita a comunicação com o relógio de tempo real através da comunicação I²C, sem ser necessário recorrer a biblioteca *wire* que vem com a plataforma de programação IDE. Permite que seja efetuado o acerto da data, hora e dia da semana. Permite obter a data e a hora no formato de texto, e os componentes individuais da data e hora separadamente.
- Biblioteca *wire* que possibilita a comunicação com a Memória EEPROM através da comunicação I²C permitindo a escrita e leitura da informação na memória. Esta biblioteca incluída na plataforma de programação IDE do Arduino. Nesta memória são armazenadas as informações de arranque do sistema.
- Bibliotecas *sdFat* permite a comunicação com o cartão de memória possibilitando a escrita e leitura de dados em ficheiro armazenados no cartão de memória para armazenamento dos dados do contador de energia, da estação meteorológica, assim como dos erros do sistema. Esta biblioteca permite ainda saber qual o espaço livre do cartão de memória, permite formatar o cartão e listar os ficheiros existentes. Esta biblioteca pode ser encontrada em [http#28].

4.5. Descrição e funcionamento da SMARTLog-Lite

O programa inicia com a configuração das variáveis do sistema, onde o utilizador terá de configurar alguns parâmetros necessários ao funcionamento do sistema, que são:

- Códigos OBIS a utilizar;
- Endereço do contador;
- Endereço da estação meteorológica;
- Porta de comunicação à qual está o contador ligado;
- Porta de comunicação a qual está a estação meteorológica ligada.

Seguidamente, os dados são guardados na memória EEPROM. O utilizador é informado da Hora e Data do sistema, questionando se quer proceder ao seu acerto. Se sim, é chamado o procedimento para a realização da tarefa, se não, continua o fluxo normal do programa. É dado o início do ciclo de *loop* do Arduino, sendo chamada a função Menu principal do programa que tem como finalidade mostrar o valor instantâneo da energia produzida exportada lido do contador de energia e o valor da irradiância, estes valores são valores obtidos através da leitura direta dos equipamentos. A periodicidade de atualização destes valores é de 10 minutos. Os dados recolhidos e armazenados em ficheiro são posteriormente enviados para um servidor FTP remoto, podendo ser consultados localmente por intermédio da visualização gráfica, isto é, podem ser consultados os gráficos dos valores armazenados no ecrã local.

O fluxograma ilustrativo do procedimento descrito pode ser consultado na Figura 4-13.

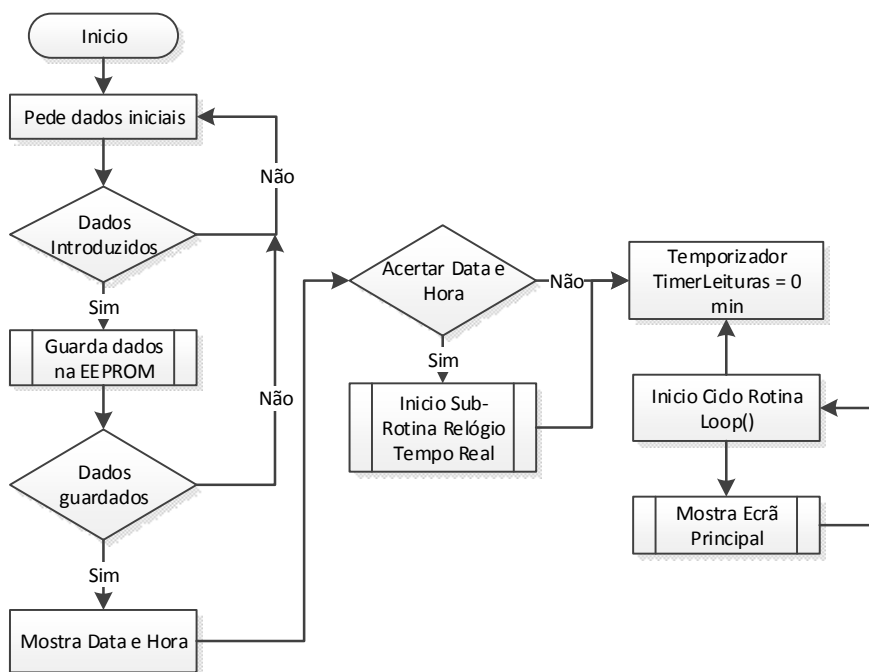


Figura 4-13: Fluxograma do ciclo principal do programa.

O processo é inicializado e o ecrã fica a aguardar uma instrução, mantendo sempre o objetivo principal de realizar as leituras no devido tempo. Esta função é assegurada pelo contador de leituras (TimerLeituras) que é inicializado na primeira execução do procedimento e vai sendo decrementado até chegar a zero, realizando novamente um pedido dos dados dos equipamentos, este temporizador esta presente em todos os menus implementados no sistema por forma a garantir que a aquisição dos dados seja garantida em qualquer parte do programa.

Na Figura 4-14 está representado o ciclo executado pelo ecrã principal da aplicação. Este ecrã é o que estará sempre presente na aplicação, se houver alteração do estado do ecrã para qualquer outro ecrã implementado no sistema por parte do utilizador e este se esquecer de voltar a colocar no ecrã principal, existe um temporizador (TimerMenus) para os menus secundários do sistema que é inicializado sempre que o utilizador permuta entre ecrãs, permitindo que o ecrã retorne sempre ao menu principal do sistema.

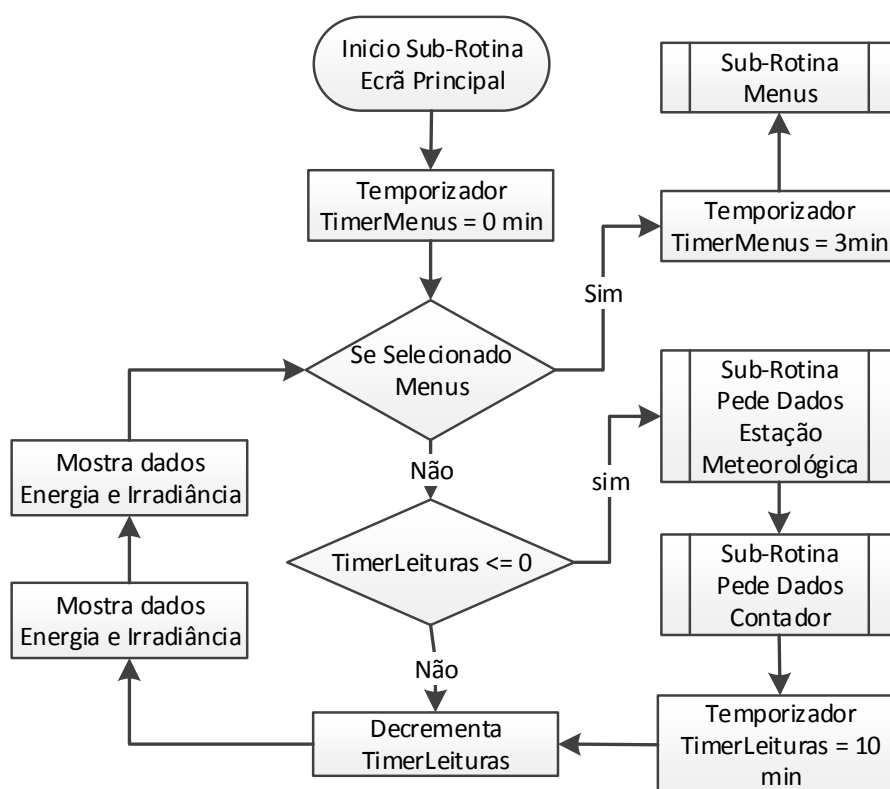


Figura 4-14: Fluxograma da sub-rotina ecrã principal.

Na Figura 4-15 a) podemos visualizar o ecrã de inicialização do sistema. E na Figura 4-15 b) visualizamos o ecrã principal do sistema, onde podemos visualizar o valor da energia exportada acumulada lido diretamente do contador, o valor da irradiância é o valor instantâneo lido diretamente da célula de referência.



a) Ecrã de Inicialização

b) Ecrã Principal

Figura 4-15: Ecrãs iniciais do sistema.

No ecrã da Figura 4-15 b) ao ser seleccionada a opção Menus o sistema vai redireccionar para uma nova página onde podem ser seleccionados três tipos de gráficos para a energia e para a irradiância.

O fluxograma da Figura 4-16 mostra o procedimento efetuado para a escolha do gráfico a visualizar.

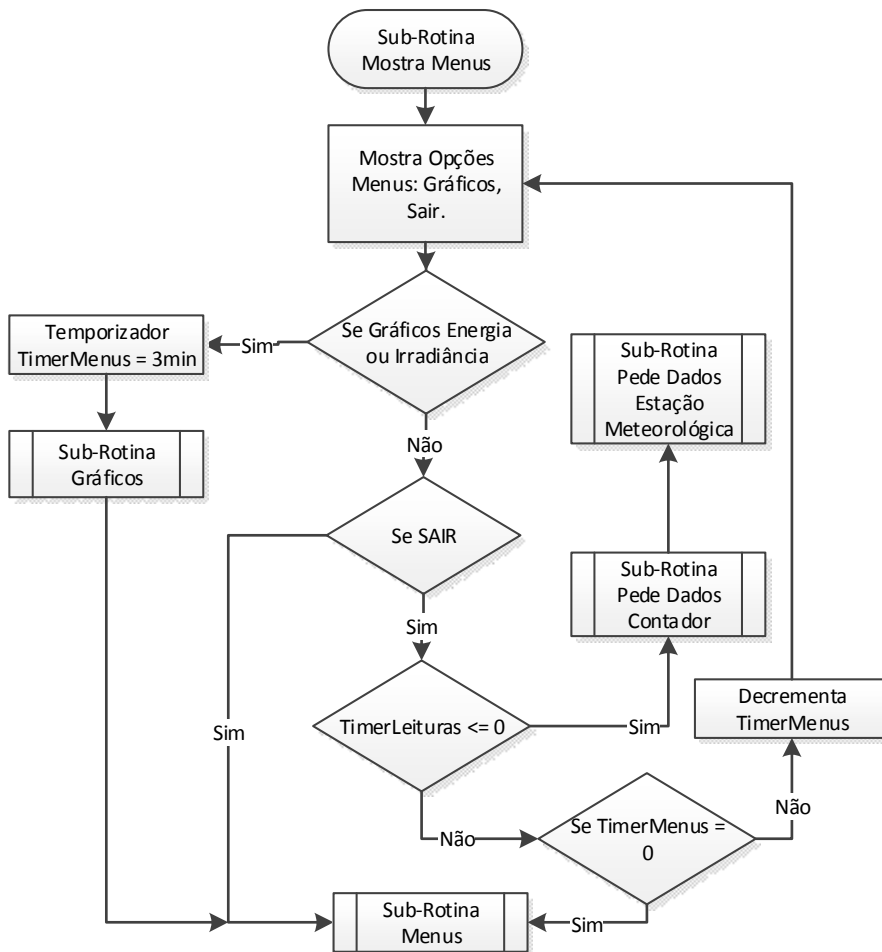


Figura 4-16: Fluxograma da Sub-Rotina Menu.

Na Figura 4-17 mostra o ecrã que permite a seleção do gráfico a ser visualizado ou possibilita o regresso ao ecrã principal pressionando o botão SAIR. Se não for seleccionada nenhuma das opções por parte do utilizador, o ecrã regressa automaticamente ao ecrã principal ao fim de decorridos 3 minutos.

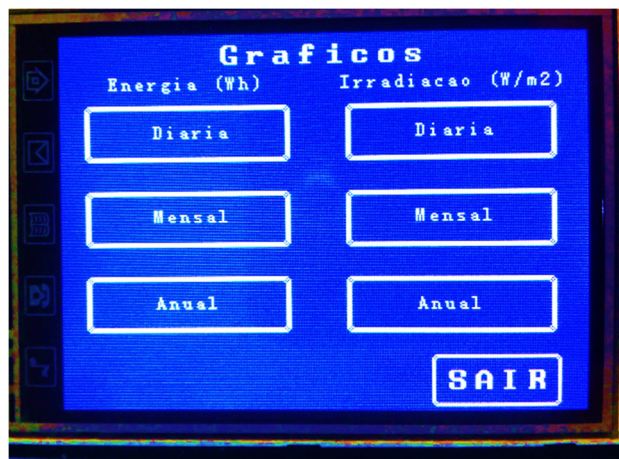


Figura 4-17: Ecrã de Seleção de Gráficos a Visualizar.

Se algum dos botões de seleção do gráfico for seleccionado por parte do utilizador conforme mostra a Figura 4-17, será desencadeado o procedimento descrito no fluxograma da Figura 4-18.

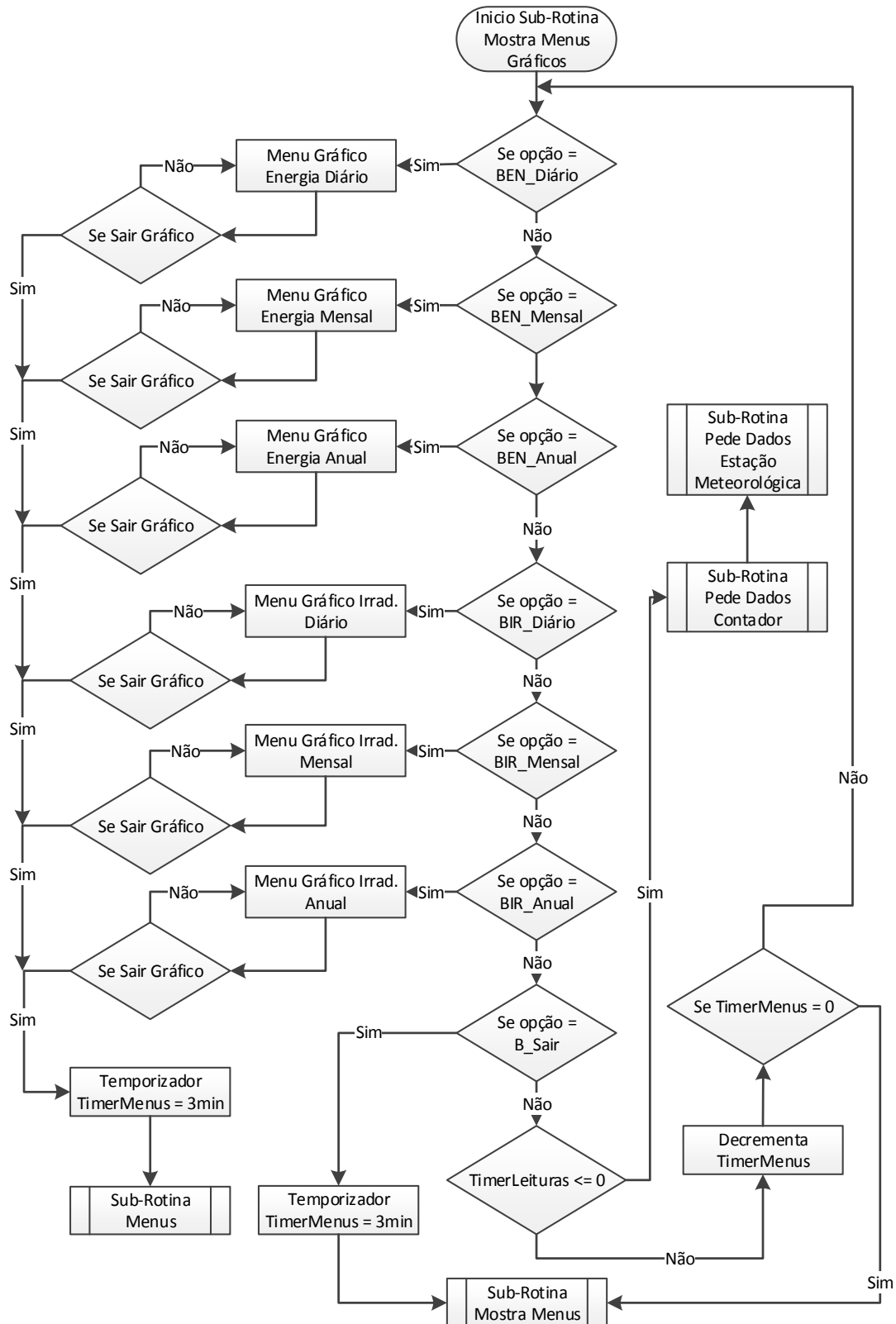


Figura 4-18: Fluxograma da sub-rotina seleção dos gráficos.

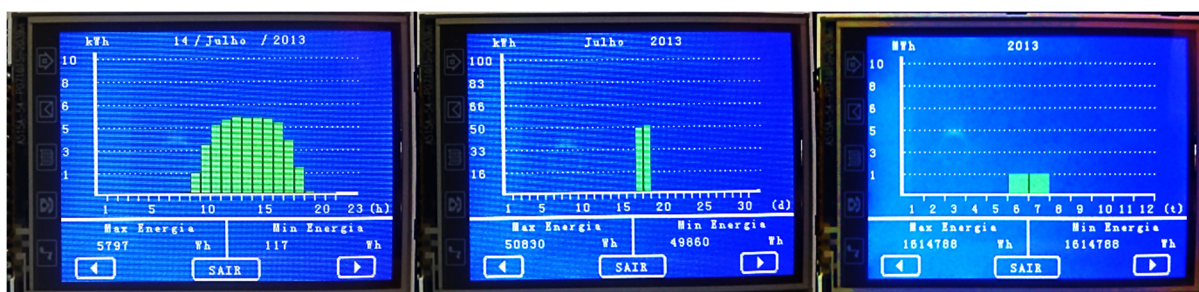
Na Figura 4-18 encontra-se representado o procedimento efetuado aquando da seleção do gráfico a ser visualizado no ecrã, em que, dependendo da seleção do utilizador este vai

mostrar o gráfico correspondente. No Quadro 4-3 encontram-se descritos os significados das nomenclaturas utilizadas nos ciclos de seleção de tipo de gráfico a visualizar.

Quadro 4-3: Opções de seleção do gráfico a visualizar.

BEN_Diário	Se botão do gráfico de energia Diário for selecionado
BEN_Mensal	Se botão do gráfico de energia Mensal for selecionado
BEN_Anual	Se botão do gráfico de energia Anual for selecionado
BIR_Diário	Se botão do gráfico da irradiância Diário for selecionado
BIR_Mensal	Se botão do gráfico da irradiância Mensal for selecionado
BIR_Anual	Se botão do gráfico da irradiância Anual for selecionado

O resultado desta iteração pode ser visualizado na Figura 4-19, onde são mostrados os gráficos correspondentes à energia produzida.

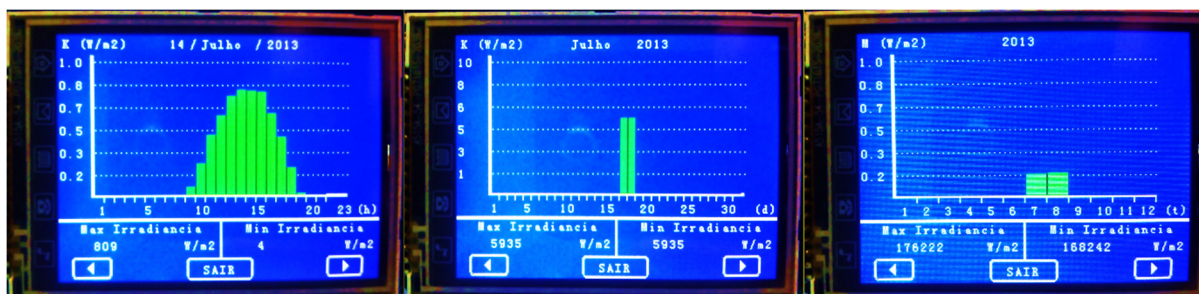


a) Gráfico Diário (kwh) b) Gráfico Mensal (kwh) c) Gráfico Anual (Mwh)

Figura 4-19: Visualização dos gráficos da energia produzida.

Na Figura 4-19 a) pode-se visualizar o gráfico da energia ativa exportada acumulada diária do sistema que é obtida pela leitura direta do contador de energia pelo código OBIS 1.1.2.8.0.255. Na Figura 4-19 b) é mostrada a energia ativa exportada total pelo sistema por dia durante o mês. Na Figura 4-19 c) é mostrada a energia ativa exportada total pelo sistema anual em durante cada mês.

Na Figura 4-20 são mostrados os gráficos referentes a irradiância.



a) Gráfico Diário (k(w/m²)) b) Gráfico Mensal (k(w/m²)) c) Gráfico Anual (M(w/m²))

Figura 4-20: Visualização dos gráficos da irradiância.

A semelhança do que sucede nos gráficos da energia para a irradiância serão mostrados os valores diários instantâneos do dia como ilustrado na Figura 4-20 a), havendo também a possibilidade de visualizar os valores diários mensais e anuais como ilustrado nas Figura 4-20 b) e c).

O valor mostrado no eixo da energia e da irradiância, são ajustados automaticamente em função do valor máximo dos dados que vão ser representados nos gráficos. Este eixo é dividido sempre em seis escalões de dados, sendo o que se ajusta são os valores e as unidades do eixo, independentemente do tipo de gráfico a ser visualizado. O eixo onde é representado o período temporal vai variar em função da escolha do tipo de gráfico a visualizar.

A Figura 4-21 e a Figura 4-22 ilustram a estrutura dos ficheiros que são armazenados pela SMARTLog-Lite no cartão SD. O nome do ficheiro é atribuído sequencialmente pelo dia, mês e ano seguido das abreviaturas do equipamento a que está associado.

Para o contador de energia temos como exemplo o ficheiro “16092013EM.CSV”, cujo a sua estrutura se ilustra na Figura 4-21.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Data	Tempo	Active Energy Imp(kWh)	Active Energy Exp(kWh)	Reactive Energy Imp(kVArh)	Reactive Energy Exp(kVArh)	Power Factor	Power Factor L1	Power Factor L2	Power Factor L3	Frequenc y(Hz)	Voltage L1(V)	Voltage L2(V)	Voltage L3(V)
2	16/09/2013	14:30	288.22	41966.98	22617.60	52229.49	-1.00	-0.90	-1.00	-1.00	50.0	230.0	229.4	229.9
3	16/09/2013	14:20	288.22	41937.43	22617.60	52139.99	-1.00	-0.90	-1.00	-1.00	50.0	230.0	229.2	229.8
4	16/09/2013	14:10	288.22	41908.02	22617.60	52050.61	-1.00	-0.90	-1.00	-1.00	50.0	230.0	230.6	230.9
5	16/09/2013	14:00	288.22	41879.03	22617.60	51962.75	-1.00	-0.90	-1.00	-1.00	50.0	233.1	231.4	231.8
6	16/09/2013	13:50	288.22	41849.72	22617.60	51873.76	-0.93	-0.90	-0.93	-0.93	50.0	232.3	230.9	231.3
7	16/09/2013	13:40	288.22	41822.49	22617.60	51795.87	-0.97	-0.95	-0.93	-0.97	50.0	230.0	230.0	230.3
8	16/09/2013	13:30	288.22	41793.53	22617.60	51783.99	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	50.0	230.0	229.6	229.9
9	16/09/2013	13:20	288.22	41764.31	22617.60	51783.99	-0.99	-0.99	-0.99	-0.99	50.0	230.0	230.2	230.5
10	16/09/2013	13:10	288.22	41734.90	22617.60	51783.99	-0.93	-0.93	-0.92	-0.93	50.0	230.8	231.1	231.4

Figura 4-21: Estrutura do ficheiro de dados do contador de energia.

No ficheiro guardado pela SMARTLog-Lite referente aos dados do contador de energia onde podemos observar os dados que são recolhidos através de cada leitura efetuada, onde são lidos os valores da energia activa e reativa importada (Energia Ativa Imp) e exportada (Energia Ativa Exp), as tensões instantâneas por fase, as correntes instantâneas por fase e o factor de potência total e por fase.

No que refere às energias, existem dois tipos de medição que o contador realiza, que são a energia importada, isto é a energia que é consumida pela instalação fotovoltaica quando não existe produção de energia por parte desta, isto verifica-se durante o período noturno e poderá existir também em alguns dias de inverno em que não exista radiação suficiente para que a instalação entre em funcionamento. No que concerne a energia exportada diz respeito a energia que é entregue pela instalação fotovoltaica à rede de distribuição, durante este período a alimentação dos serviços auxiliares da instalação fotovoltaica são garantidos pela própria instalação fotovoltaica.

Para a estação meteorológica temos como exemplo o ficheiro “18072013WS.CSV”, cujo a sua estrutura se ilustra na Figura 4-22.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data	Hora	Irrad	TmpMod	TmpAmb	Vento	
32	18/07/2013	17:40:00	414	48	38	0	
33	18/07/2013	17:35:00	432	49	37	0.3	
34	18/07/2013	17:30:00	447	50	38	0.5	
35	18/07/2013	17:25:00	488	50	39	0.5	
36	18/07/2013	17:20:00	501	49	38	1.1	
37	18/07/2013	17:15:00	438	49	38	0.6	

Figura 4-22: Estrutura do ficheiro de dados estação meteorológica.

No ficheiro guardado pela SMARTLog-Lite referente aos dados da estação meteorológica onde podemos observar os quatro dados recolhidos de cada leitura efetuada, que são a Irradiância (Irrad), a Temperatura do módulo (TmpMod), a Temperatura ambiente (TmpAmb) e a velocidade do vento (Vento).

Após a realização de cada ciclo de leituras e escrita dos dados recolhidos dos equipamentos serão enviados os ficheiros do contador e do sensor para o servidor FTP localizado nas instalações da Martifer Solar.

Os dados enviados pela SMARTLog-Lite para o servidor FTP vão ser posteriormente integrados no sistema de supervisão central, por forma a instalação fotovoltaica poder ser monitorizada remotamente.

Este sistema serve não só para monitorização das plantas fotovoltaicas, mas também como uma ferramenta de operação e manutenção, permitindo identificar avarias ou possíveis anomalias nos equipamentos da instalação fotovoltaica. Da análise efetuada pelo sistema de supervisão e após confirmação pelo operador do sistema, permite que os técnicos sejam informados rapidamente de modo a que a reparação ou resolução do problema seja realizada no menor tempo possível.

Na Figura 4-23 podemos observar uma amostra dos dados do contador de energia e da estação meteorológica recolhidos pela SMARTLog-Lite após integração dos ficheiros enviados no sistema de supervisão central da Martifer Solar.

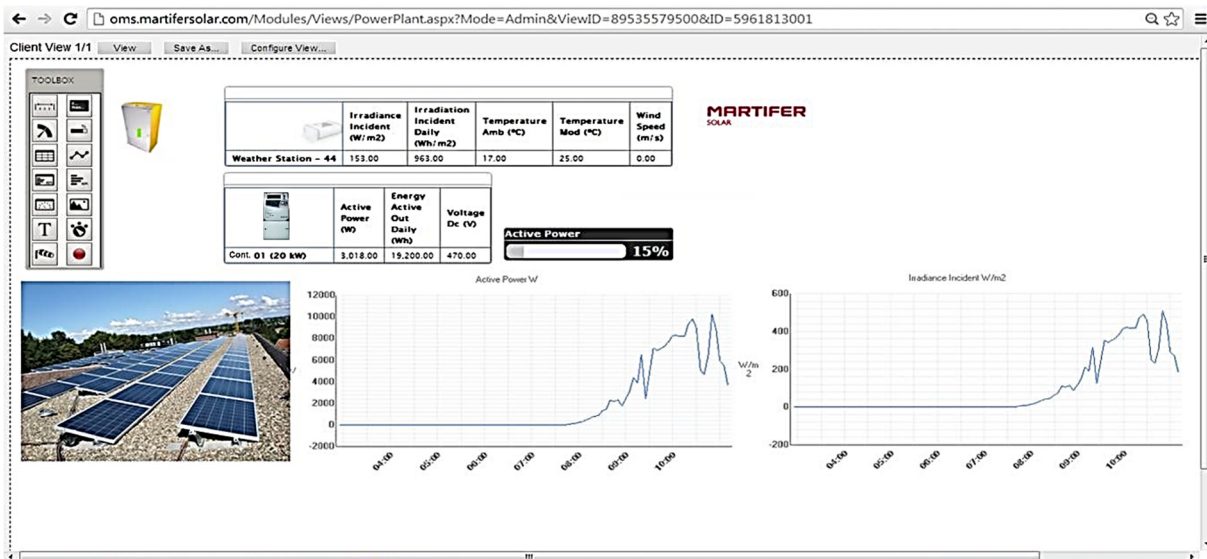


Figura 4-23: Dados da SMARTLog-Lite monitorizados no Sistema Supervisão Central da Martifer Solar.

Capítulo 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1. Introdução

Neste capítulo são relatados alguns dos principais obstáculos encontrados, bem como as soluções encontradas para os ultrapassar. É também realizada a conclusão do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação e, por fim, é realizada uma perspetiva de desenvolvimentos futuros.

Importa evidenciar que o desenvolvimento deste trabalho foi realizado em parceria com a empresa Martifer Solar que, com o seu vasto leque de instalações fotovoltaicas de diversas dimensões e com inúmeros equipamentos, criou as condições ideais para a realização de testes em contexto prático. Esta oportunidade permitiu obter resultados práticos neste trabalho e com equipamentos que estão a operar em instalações reais, facto este que se torna normalmente mais complicado quando se tratam de trabalhos académicos, onde por vezes as aplicações reais não podem ser implementadas. Foi possível testar e utilizar um sistema de monitorização já desenvolvido pela Martifer Solar, a SmartLOG, que é normalmente utilizado para instalações de pequena dimensão (inferior a potências de 250kW) e verificar o seu modo de funcionamento, assim como alguns dos equipamentos utilizados neste trabalho.

5.2. Principais dificuldades encontradas

No decorrer do trabalho desta dissertação, existiram alguns obstáculos, os quais foram sendo ultrapassados gradualmente.

De início, aquando da revisão da literatura, encontrou-se muito pouca informação referente ao protocolo de comunicação DLMS/COSEM, a informação encontrada era muito incompleta para se poder proceder a implementação deste protocolo, o que tornou muito complicada a identificação de cada parâmetro que compõe as mensagens trocadas entre cliente e servidor que o compõem este protocolo.

Após verificar que seria muito difícil encontrar a documentação necessária para a implementação correta do protocolo, foi com recurso a um *software* que possibilita a comunicação entre o computador e o contador de energia por intermédio do protocolo DLMS/COSEM e com a ajuda de um *software* de monitorização da porta RS-232 permitiu captar as mensagens trocadas entre o contador e o computador. Através da análise das mensagens captadas e com a documentação que tinha sido conseguida foi possível a identificação dos parâmetros que constituem as mensagens trocadas.

5.3. Conclusões

Das necessidades emergentes de dependência e utilização excessiva dos combustíveis fósseis como energia primária originaram graves problemas ambientais, de tal modo que se torna pertinente explorar novas fontes de energia que sejam amigas do ambiente como é o caso da energia solar. O aproveitamento deste tipo de energia requiere recursos que inicialmente eram muito dispendiosos, mas com a proliferação do número de instalações fotovoltaicas instaladas, com o desenvolvimento da sua tecnologia e os incentivos governamentais para a instalação deste tipo de tecnologia o custo de instalação desta tecnologia tem vindo a descer, tornando rentáveis a sua instalação.

Para que se possam rentabilizar as instalações fotovoltaicas é necessário que estejam sempre reunidas todas as condições, de modo a garantir que o sistema se encontre no seu máximo rendimento. Para tal, é necessário recorrer a sistemas capazes de monitorizar todos os principais equipamentos intervenientes neste tipo de produção de energia, de forma a permitir ao operador da instalação fotovoltaica intervir sempre que exista alguma anomalia.

Por outro lado, os equipamentos utilizados para a realização deste tipo de monitorização apresentam preços elevados e, na maioria dos casos, são equipamentos proprietários.

Assim o objetivo desta dissertação é a implementação de um sistema de monitorização de baixo custo e fiável que permite realizar a monitorização de instalações fotovoltaicas de nível 2.

O sistema de monitorização desenvolvido foi implementado com base na plataforma Arduino. Este sistema tem a capacidade de recolher os dados dos contadores de energia com protocolo DLMS/COSEM, através dos meios de comunicação RS-232 e RS-485, assim como os dados da estação meteorológica que utiliza o protocolo proprietário M&T através do meio de comunicação RS-485. Os dados recolhidos são guardados num cartão de memória SD, que dota o sistema de funções de *datalogger*. Estes dados são enviados posteriormente para o servidor FTP da Martifer Solar para serem analisados pelo sistema de supervisão central.

Após a integração de todo o *hardware* com o programa desenvolvido verificou-se que o sistema estava a realizar as funções para as quais foi idealizado. Este facto foi constatado num teste realizado em condições reais. O sistema foi posicionado de modo a adquirir dados de um contador de energia Itron SL7000 e da estação meteorológica existentes nas instalações fotovoltaicas do campos da Martifer Solar.

Estes dois testes foram realizados de forma faseada visto que o contador de energia e a estação meteorológica instalada não se encontravam na mesma localização. Apesar de estar instalada uma rede de comunicação entre inversores, estação meteorológica e sistema de monitorização instalado (*SolarLog* 1000), não foi possível realizar o teste utilizando esta infraestrutura devido a não se poder desligar a comunicação entre a *SolarLog* 1000 e os inversores.

Devido a este facto e os equipamentos estarem muito distantes um do outro impossibilitando que fosse criada uma rede entre estes dispositivos, os testes foram realizados primeiramente apenas com o contador de energia em que se verificou que o protocolo implementado respondeu de forma eficaz às leituras que foram efetuadas de 10 em 10, minutos registando com sucesso os dados no cartão SD. Numa segunda fase dos testes foi ligada a SMARTLog-Lite à estação meteorológica e verificamos que os dados provenientes desta foram registados com sucesso no cartão SD.

O envio dos ficheiros, com os dados do contador de energia e estação meteorológica, para o servidor da Martifer Solar foi bem sucedido. Os dados contidos nos ficheiros enviados para o servidor, foram testados com sucesso no sistema de supervisão central da Martifer Solar.

O código relativo aos protocolos desenvolvidos neste projeto não foi totalmente disponibilizado, uma vez que há um acordo de confidencialidade com a empresa Martifer Solar. Assim, optamos por apresentar apenas partes desse mesmo código de forma a não comprometer o referido acordo de confidencialidade. Parte do código desenvolvido encontra-se disponível no CD entregue.

5.4. Perspetiva de desenvolvimentos futuros

A realização deste trabalho permitiu aprofundar os conhecimentos relativos a sistemas de monitorização e controlo de instalações fotovoltaicas, logo a inclusão de novas funcionalidades poderá tornar o sistema mais versátil e fiável.

Foram identificadas as melhorias a seguir descritas.

Ao nível do *hardware*:

- Implementação de comunicação sem fios;
- Implementação de comunicação através de *Modem GSM*;
- Maior capacidade de armazenamento de informação;
- Ecrã de maior dimensão.

Ao nível do *software*:

- Integração de comunicação com inversores;
- Integração de diferentes estações meteorológicas;
- Implementação de outros meios de comunicação tais como:
 - Modbus RTU;
 - Modbus TCP/IP;
- Sistemas de aquisição de dados em tempo real.

REFERÊNCIAS

- [1] João A. P. Lopes, António M. A. Messias e Rui M. P. Gonçalves, “Redes de energia inteligentes como contributo da engenharia portuguesa para o desenvolvimento sustentável,” *Ingenium – Revista da Ordem dos Engenheiros*, pp. 44-47, 2009.
- [2] R. Cespedes, E. Parra, A. Aldana e C. Torres, “Evolution of Power to Smart Energy Systems,” em *In Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, 2010 IEEE/PES, pp. 616-21.
- [3] Shell International BV, “Shell energy scenarios to 2050,” 2008.
- [4] Martifer Solar, “Memória Descritiva – Infraestruturas de Monitorização e Controlo,” 2013.
- [5] Kazeraniv, W. Xuanyuan and M., “A novel maximum power point tracking method for photovoltaic grid-connected inverters in *Industrial Electronics Society*,” *The 29th Annual Conference of the IEEE*, 2003, pp. 2332-2337 Vol. 3.
- [6] Martifer Solar, “Technical Specification Monitoring and Control Systems.”
- [7] Ingeniurburo, “Digital Silicon Irradiance Sensor Si-rS485-TC-T,” 2013.
- [8] Ingeniurburo, “External Temperature Sensor for Si-RS485-TC-2T-v,” 2013.
- [9] Ingeniurburo, “Wind speed Sensor for Si-RS485-TC-T-2T-v,” 2013.
- [10] Ltd Pty Weidmuller, “Transclinic Xi+ Installation Guide,” 2011.
- [11] Menck & Tegtmeyer GmbH, “Silicon Irradiance Sensor With RS485 Port,” *Ingenieurbüro*, Janeiro, 2011.
- [12] DLMS User Association, “COSEM Identification System and Interface Classes (Blue Book),” edição 9 ed., DLMS UA, 2009.
- [13] DLMS User Association, “Excerpt DLMS/COSEM Architecture and Protocols (Green Book),” edição 7 ed., DLMS UA, 2009.
- [14] Rajisha R., Jiji Jagannivas & Shaileshwari M. U., “Communicating With an Energy Meter Using IEC 62056 Trough TCP/IP Protocol,” 2012.
- [15] Diário da Republica, “Resolução do Conselho de Ministros nº27/2011,” 1ª série - N.º114 - 15 de junho de 2011.
- [16] Florida Solar Energy Center, “Test Method for Photovoltaic Module Ratings,” May 21, 2001.
- [17] Govindasamy T, Karen P., Joseph K., Meena Gupta V. e Ganesh S., “Photovoltaic Module Power Rating Per IEC 61853-1 Standard,” *A Study Under Natural Sunlight*, Arizona State University and Photovoltaic Tealiability Laboratory, March 2011
- [18] Klaas de Craemer, Geert Deconinck, “Analysis of State-of-the-art Smart Metering Communication Standards”.
- [19] Gordan Struklec, Josko Marsic, “Implementing DLMS/COSEM in Smart Meters,”
- [20] Itron, “Actaris ACE SL7000,” *Technical Brochure*.
- [21] Texas Instruments, “Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS485),” *Application Report*, March 2007.
- [22] Texas Instruments, “Interface Circuits for TIA/EIA-232-F,” *Design Notes*, September

REFERÊNCIAS

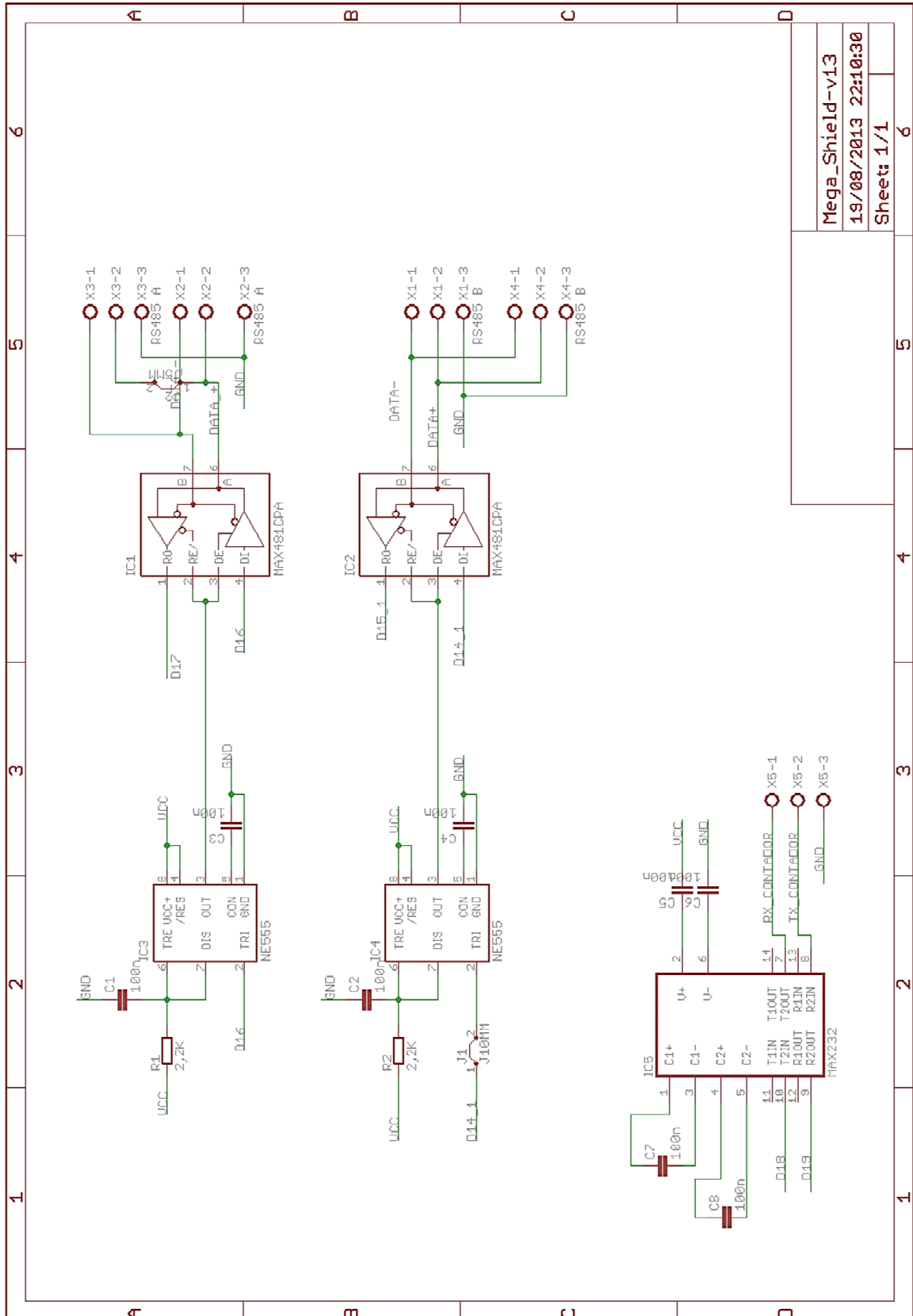
2002.

Sítios WWW

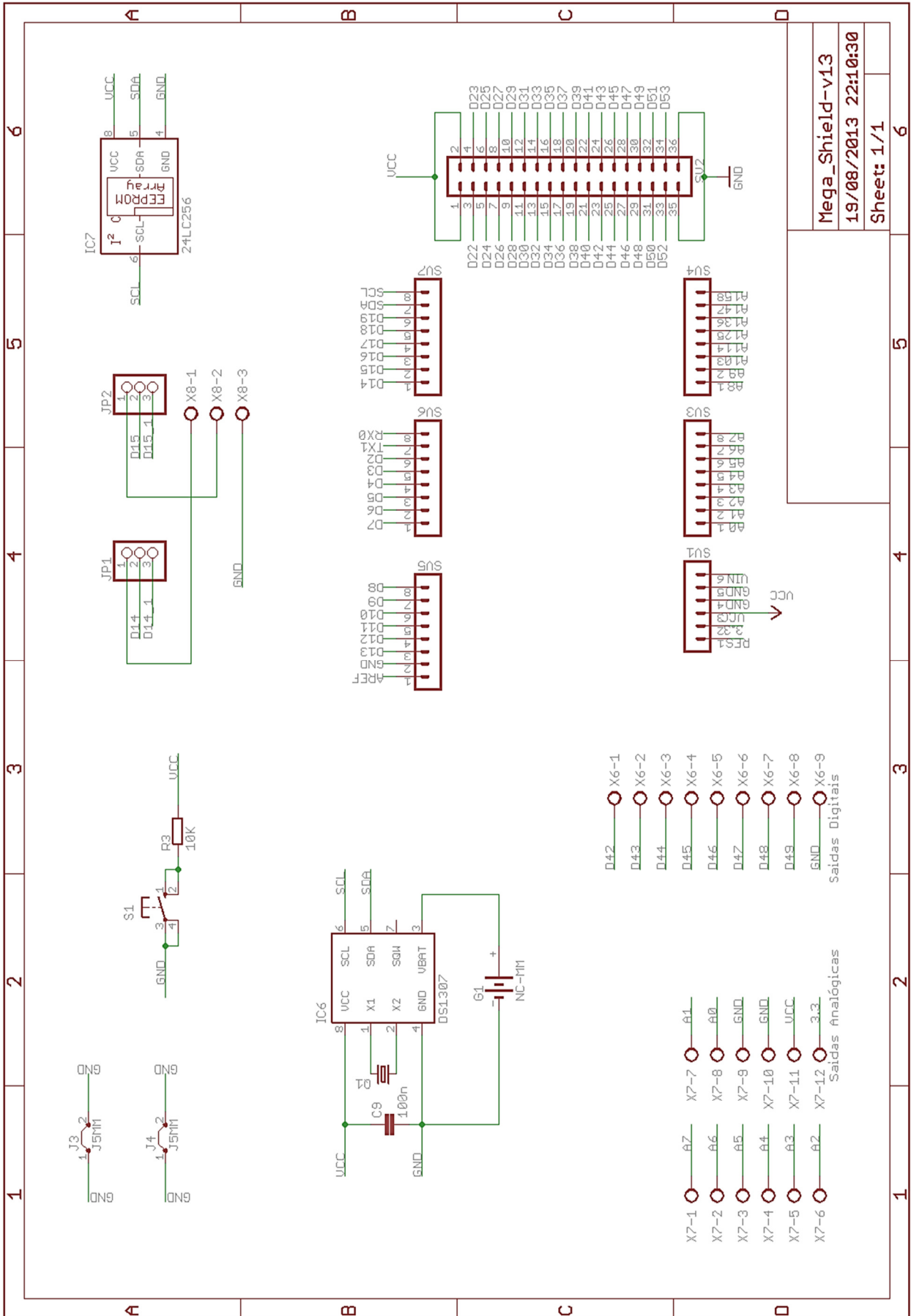
- [http#1] Direção Geral de Energia e Geologia, “Energia Solar,” [Online]. <http://www.dgeg.pt>. [Acedido em 12 de Julho 2012].
- [http#2] Ana Paula Gonçalves da Silva, Marcelo Salvador, “Centralmat,” [Online]. Available: <http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/oQueSaoSistemasSupervisorios.pdf>. [Acedido em 20 de Junho 2012].
- [http#3] Solar-log, [Online]. Available: <http://www.solar-log.com/en/home.html> Supervisorios.pdf. [Acedido em 22 de Junho 2012].
- [http#4] SMA, [Online]. Available: <http://www.sma.de/en/products/monitoring-systems/sunny-webbox.html>. [Acedido em 22 de Junho 2012].
- [http#5] Power-One, [Online]. Available: http://www.power-one.com/sites/power-one.com/files/documents/renewable-energy/datasheet/cdd_na_3.1.pdf. [Acedido em 22 de Junho 2012].
- [http#6] SenNet, [Online]. Available: <http://www.sennet.es/pdf/pdf-436add13.pdf>. [Acedido em 22 de Junho 2012].
- [http#7] Museu da Eletricidade, [Online]. Available: http://wikienergia.com/~edp/index.php?title=Contador_de_electricidade. [Acedido em 17 de Junho 2012].
- [http#8] Nuno Pessanha Santos, “Arduino Introdução e Recursos Avançado,” [Online]. Available: http://www.isegi.unl.pt/docentes/vlobo/escola_naval/MFC/Tutorial%20Arduino.pdf. [Acedido em 11 de Janeiro 2012].
- [http#9] “Mapas Radiância Solar - Electrónica - Esquemas - TV - Áudio – Digital,” [Online]. Available: <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/272/203/>. [Acedido em 12 de Julho 2012].
- [http#10] “Eclipse Knowledgebase,” [Online]. Available: <http://kb.elipse.com.br/pt-br/questions/50/Aquisi%C3%A7%C3%A3o+de+Dados+Cr%C3%ADticos+e+Redund%C3%A2ncia+em+Sistemas+SCADA>. [Acedido em 25 de Julho 2012].
- [http#11] SMA, “Energy that changes,” [Online]. Available: <http://www.sma.de/en/products/solar-inverters-with-transformer/sunny-boy-2000hf-2500hf-3000hf.html>. [Acedido em 20 de Julho 2012].
- [http#12] Geoproteck Solar Technology” [Online]. Available: http://www.geoprotek.com/en/g_s_sensor_box.html. [Acedido em 20 de Julho 2013].
- [http#13] Infopédia, [Online]. Available: [http://www.infopedia.pt/\\$contador,3](http://www.infopedia.pt/$contador,3). [Acedido em 20 de Julho 2013].
- [http#14] VB News, [Online]. Available: <http://venturebeat.com/2009/10/07/oncorlandisgyr-plunk-down-300000-smart-meters-in-dallas/>. [Acedido em 29 de Julho 2013].
- [http#15] Itron, [Online]. <https://www.itron.com/aunz/productsAndServices/Pages/ACE%20SL7000.aspx>. [Acedido em 29 de Julho 2013].

- [http#16] Robocore, “Ambiente de Desenvolvimento Arduino,” [Online]. Available: <http://www.robocore.net/modules.php?name=Forums&file=viewtopic&t=3156>. [Acedido em 12 de Setembro 2012].
- [http#17] Electro Schematics, [Online]. Available: <http://www.electroschematics.com/7963/arduino-mega-2560-pinout/>. [Acedido em 12 de Setembro 2012].
- [http#18] [Online]. Available: <http://www.onemansanthology.com/blog/arduino-shields/>. [Acedido em 12 de Setembro 2012].
- [http#19] [Online]. Available: <http://blog.derouineau.fr/2011/07/putting-enc28j60-ethernet-controller-in-sleep-mode/>. [Acedido em 12 de Setembro 2012].
- [http#20] Electrodragon, [Online]. Available: http://www.electrodragon.com/w/index.php?title=Category:3.2_TFT_LCD. [Acedido em 12 de Setembro 2012].
- [http#21] Cutedigi, [Online]. Available: <http://www.cutedigi.com/arduino-shields/touch-lcd-tft01-arduino-mega-shield-v1-2>. [Acedido em 14 de Setembro 2012].
- [http#22] Sabereletronica, [Online]. Available: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1645-comunicacao-rs-232-noes-bsicas-parte-1>. [Acedido em 14 de Setembro 2012].
- [http#23] Mecatronicaatual, [Online]. Available: <http://www.mecatronicaatual.com.br/artigos/1079-comunicacao-serial-na-industria-usando-o-protocolo>. [Acedido em 14 de Setembro 2012].
- [http#24] Novus, [Online]. Available: <http://faq.novus.com.br:8080/phpmyfaq/index.php?action=artikel&cat=11&id=8&artlan>. [Acedido em 17 de Setembro 2012].
- [http#25] Lammert Bies, [Online]. Available: <http://www.lammertbies.nl/comm/info/RS-485.html>. [Acedido em 17 de Setembro 2012].
- [http#26] “BEAMA Communications and Interoperability Seminar - FLAG/DLMS Communications,” [Online]. Available: <http://pt.scribd.com/doc/105488535/DLMS-OSI>. [Acedido em 03 09 2013].
- [http#27] [Online]. Available: www.henningkarlsen.com/electronics/, [Acedido em 10 01 2012].
- [http#28] [Online]. Available: code.google.com/p/sdfatlib/, [Acedido em 10 05 2013].

APÊNDICE 1 - ESQUEMA ELÉTRICO DO HARDWARE DESENVOLVIDO

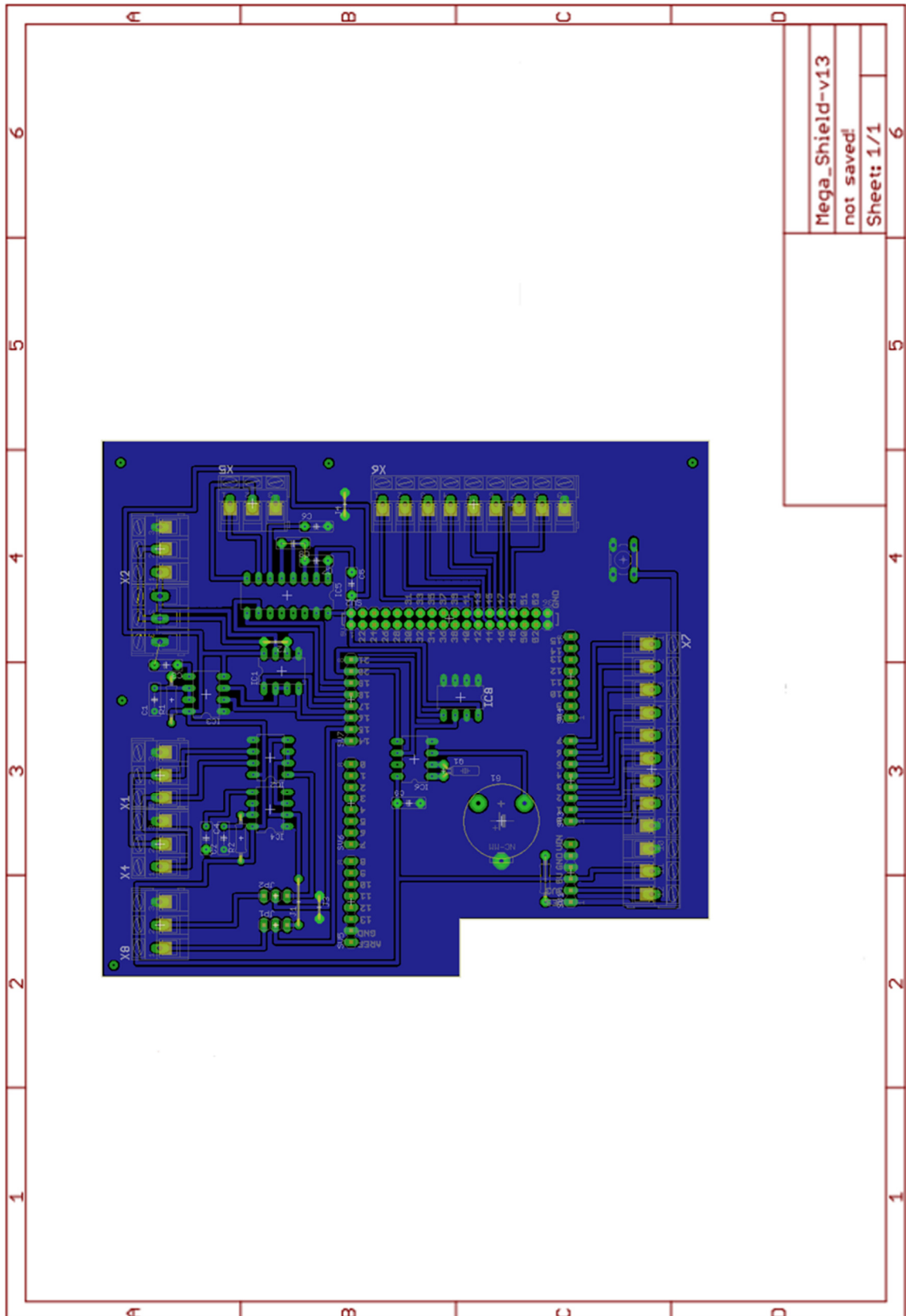


Mega_Shield-v13	6
19/08/2013 22:10:30	6
Sheet: 1/1	6



Mega_Shield-v13
 19/08/2013 22:10:30
 Sheet: 1/1

APÊNDICE 2 - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DO *HARDWARE* DESENVOLVIDO



APÊNDICE 3 – *SOFTWARE SMARTLOG-LITE*

Os ficheiros relativos ao código do programa SmartLOG-Lite encontra-se na pasta “*Software SmartLOG-Lite*” do CD que integra esta Dissertação.

ANEXO 1 – ACTARIS ITRON SL7000



ACE SL7000

Technical Brochure



Actaris Metering Systems

Actaris is a world leader in the design and manufacturing of meters and associated systems for the electricity, gas, water and heat markets. Its innovative products and systems integrating the best-in class technologies are specially designed for public or private energy and water suppliers, services companies and industrial organisations. The group is active in more than 30 countries with a strong presence in Europe, Asia and South America.



► ACE SL7000 meter

Contents

1	General	2
1.1	Features	2
1.2	Available Versions	3
1.3	Resource Level	3
1.4	Accuracy	3
1.5	Benefits	3
1.6	Dimensions	3
2	Hardware architecture	5
3	Metrology	6
4	Quantities	7
5	Energy Metering	8
5.1	Total Energy Registering	8
5.2	Energy Registering	8
6	Demand Registers	9
6.1	Demand Channels and Tariffs	9
6.2	Demand Functionalities	9
7	Load Profiling	11
8	Power Supply	12
8.1	Power supply functionalities	12
8.2	Auxiliary power supply	12
9	Time Switch / Tariff Rate Calendar	13
10	End of Billing	13
11	Real Time Clock (RTC)	13
12	Communication	14
12.1	LCD Display and Push Buttons	14
12.2	LED Indicators	14
12.3	Input / Output Options	15
12.4	Optical Communication Port	15
12.5	Electrical Communication Ports	15
13	Network and Tamper Network	16
14	Voltage Quality	17
15	Display of Error Code	17
16	Order Information	17

1 General

The Actaris ACE SL7000 meter is a new generation polyphase fully programmable static meter, allowing billing and management applications in IEC/DIN/BS compliant countries, from big commercial centres up to substation.

The ACE SL7000 meter is available either for direct connection or for measuring transformer connection.

The meters can be used as stand-alone units (parameters – up to 100 – are visualised on the LCD display), or in a full system, backed by software, for configuration programming, data collection (including remote reading) and data processing. The ACE SL7000 meter offers enormous flexibility of applications, as well as simplicity and reliability in operation.

1.1 Features

The ACE SL7000 is a complete metering system, presented in a panel mounted "DIN" compatible casing. Multiple input/output features and several communication ports (optical [according to IEC61107] and electrical [according to RS232, RS485]) are available, using standardised protocols. The meter integrates energy metering, maximum demand, and load profiling (up to 8 channels) in a single unit.

Voltage quality and diagnostic events are date stamped and stored into a logbook of events (circular table of 500 events). A historical register of data is also kept in memory.

Up to 8 rates, independent between 10 energy channels and 10 demand channels, are supported by a powerful integrated time switch. This allows up to 24 daily profiles to be described, with up to 16 switching times, and up to 100 exclusion days. External control signals can also be used to activate the tariff rates.

A redundant three-phase autoranging power supply (from 3 x 54 V up to 3 x 240/415 V), together with an extremely wide measuring range, allows a single meter type to be used across various installation conditions within one utility area, thus reducing inventory costs.

1.2 Available Versions

The ACE SL7000 meter can be configured to be used either in 4-wire or 3-wire systems – for direct connection, and current transformer connection, or CT/PT connection, with or without neutral. It is available in 50 Hz and in 60 Hz. Terminal connections either VDE (non-symmetrical) or USE (symmetrical).

Voltage ranges:

The autoranging feature covers the following usual values, and all values in between:

- 3 x 57.7/100 V, 3 x 63.5/110 V
- 3 x 127/220 V, 3 x 230/400 V
- 3 x 240/415 V, 3 x 100 V, 3 x 110 V
- 3 x 230 V, 3 x 240 V, 3 x 400 V.

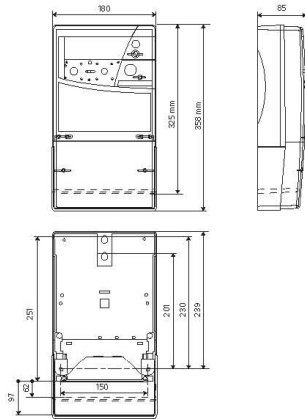
Current ranges:

- 5 (120)A, and all intermediate values (direct connection)
- 1 (10)A, and all intermediate values (CT and CT VT connection).

I/O ranges:

According to the type of input/output resources, the ACE SL7000 meter is available in 3 versions:

- Basic version, without I/O
- Intermediate version, with limited I/O configuration
- Flexible version, with powerful I/O configuration.



▶ ACE SL7000 dimensions

- Level R0**
No Time Of Use, no Max Demand, no load profile
Typical usage: single tariff meter
- Level R1**
Energy: 3 channels, 10 rate registers
Demand: 3 channels, 7 rate registers
Load profiles: 3 channels
- Level R2**
Energy: 6 channels, 24 rate registers
Demand: 6 channels, 15 rate registers
Load profiles: 5 channels
- Level R3**
Energy: 6 channels, 24 rate registers
Demand: 6 channels, 18 rate registers
Load profiles: 6 channels
- Level R4**
Energy: 10 channels, 32 rate registers
Demand: 10 channels, 24 rate registers
Load profiles: 8 channels
Typical usage: 4 quadrant meter, internal and external energy
- Level Q1**
No voltage quality history
- Level Q2**
Voltage quality history recorded

▶ ??????

1.3 Resource Level

The ACE SL7000 meter is available with 5 different levels of firmware resources, according to the number of available channels for multi-rate counting of energy, demand, and load profile channels, and the recording of voltage quality data.

1.4 Accuracy

The ACE SL7000 meter fully conforms to or exceeds all relevant IEC standards, including those dealing with electronic metering equipment:

- IEC61036 for class 1 equipment, (the accuracy without influence corresponds to class 0.5S)
- IEC60687 for class 0.5S equipment, (the accuracy without influence corresponds to class 0.2S).

1.5 Benefits

The ACE SL7000 meter offers the following benefits to the utility or utility client:

- Reduced operational costs
- Reduced inventory costs
- Reduced non-technical losses
- Network monitoring
- Upgrade possibilities
- Supply quality monitoring
- Excess demand and excess consumption, monitoring and management
- Simple and easy installation
- Integration with existing systems
- Support of complex tariff structures.

1.6 Dimensions

The terminal cover is available with standard or extended length:

- ▶ 325 mm with standard terminal cover
- ▶ 358 mm with extended terminal cover

2 Hardware Architecture

The meter is made up of the following parts:

- The mechanical parts, including the base plate, the terminal block (2 types: DC-max 120 A, or CT-max 10A), the inner cover, the main and terminal covers. The terminal cover can be either standard (75 mm long) or extended (105 mm long); extended is recommended when a small external modem is mounted in the terminal cover.

The DC type terminal box includes an additional transparent protective cover (sealable) over the IP links, which allows to verify the link position.

The cover integrates a sealable battery door, which is designed to hold a utility information sticker (PT/CT ratio for example).

The inner cover supports permanent markings such as name plate.

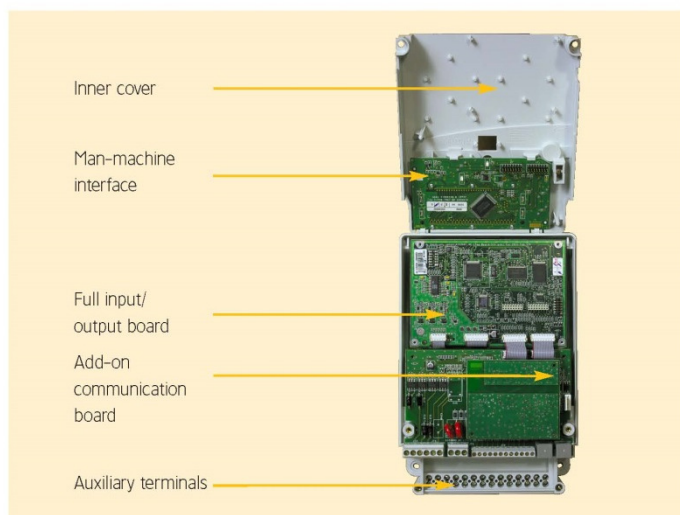
- The current sensors: Mutual Current Transformers (MCT), 2 types: 1(10)A or 5(120)A;

- The power supply board (bottom board)
 - 1 type: fully redundant, autoranging from 54 to 240 V.
- The top board supporting the CPU, memory, and metrology front end;

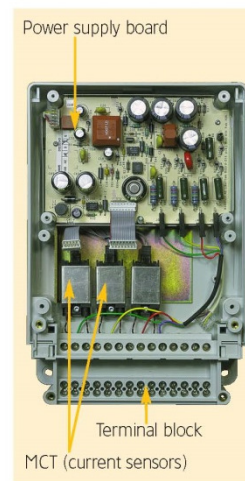
An optional I/O board

- the module for the intermediate version has 3 input and 4 output lines and 1 RS232 port
- the module for the flexible version has 6 inputs and 10 outputs and can support an add-on communication board with either 2 RS232 ports, or with 1 RS232 and 1 RS485 ports.

The “Man-Machine Interface” board (MI board) supports the push-buttons, the LED's for metrology, the optical communication interface, the LCD (with backlight) and its driver.



▶ ?????



▶ ?????



▶ ?????



3 Metrology

The metrology function of the ACE SL7000 meter compiles a large number of basic measurement quantities that are then processed by the meter.

This is done in several steps through a combination of hardware and firmware functions.

The ACE SL7000 meter uses unique metrology electronics (for CT or DC, 50 Hz or 60 Hz), and 2 types of current sensors including a 1/2000 MCT (mutual current transformer) for whole current meters, and a 10/2000 MCT for CT meters. The output of an MCT, being proportional to the variations of the current, is integrated to provide the current signal to the electronics: Voltage is provided to the electronics through a resistive divider:

The three voltage signals and the three current signals are transformed on the top board by a 6-channel, 16-bit, second order analogue to digital converter. This is based on the sigma-delta technology, widely used in the audio industry. Digitised values of currents and voltages samples are provided every 0.5 ms.

Active and reactive power and energy measurements are then calculated by multiplying voltage and current signals (after transformation of current for reactive), integrating them over nearly one second, and comparing the result with a threshold, in order to deliver a number of pulses, which quantify the quantity.

At this level, the following quantities are available: per phase active and reactive energy, Irms Urms neutral current and neutral voltage displacement.

The three phase voltages (Urms) are provided every 40ms for Voltage Quality analysis (for 4-wire connections). Swells, sags and cuts are detected. If their duration is longer than 80ms information about time and duration of the event are available.

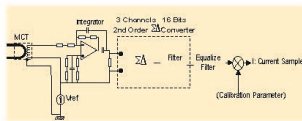
At a higher level, the metrology computes the per phase apparent energy, using, according to the configuration, either the arithmetic method, or the vectorial method:

- $S = U_{rms} \cdot I_{rms}$ (true apparent power – gives good results above 1b/10)

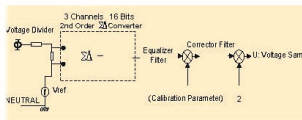
- $S = P^2 + Q^2$ (this method is more precise at low currents)

Aggregate (three-phase) data are then computed in the application. The next level is the computation of all angles, the phase sequence, and the power factors.

The angles calculation is done with excellent precision, using P and Q, with the calculation of $\arctan(Q/P)$.



► Metrology A



► Metrology B

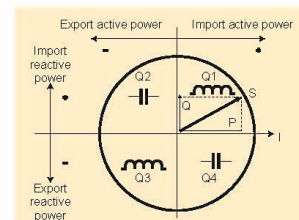
4 Quantities

A complete set of measurement quantities are available in the ACE SL7000, regardless of the version and resource level.

Quantities are updated each second. For 3-wire systems, the phase data are calculated by generation of a virtual 4 wire system with an artificial neutral point. Quantities are used for data processing by the meter, and are also available for visualisation on the LCD display as instantaneous values.

Up to 4 external energy inputs (from external electricity, water, or gas meters) are available in the flexible version. These inputs can be used for separate counting (even multi-tariff and demand), or summation.

Summation can be done between external pulse inputs or between external pulse inputs and an internal channel.



► The definition of the quadrants used in this document

52 Energy quantities			19 others	11 status	
Active	Reactive	Apparent	Power factor	Energy	
kWh ph 1+	kvarh ph 1+	KVAh ph 1+	PF ph 1	Active	
kWh ph 1-	kvarh ph 1-	KVAh ph 1-	PF ph 2		
		PF ph 3			
kWh ph 2+	kvarh ph 2+	KVAh ph 2+	PF agg	KWh dir ph 1	
kWh ph 2-	kvarh ph 2-	KVAh ph 2-		KWh dir ph 2	
				KWh dir ph 3	
kWh ph 3+	kvarh ph 3+	KVAh ph 3+	RMS Values	Reactive	
kWh ph 3-	kvarh ph 3-	KVAh ph 3-			Urms 1
					Urms 2
kWh agg+	kvarh agg+	KVAh agg+	Urms 3	kvarh quadr ph 1	
kWh agg-	kvarh agg-	KVAh agg-		kvarh quadr ph 2	
	kvarh Q1 ph 1	External	Currents	kvarh quadr ph 3	
	kvarh Q2 ph 1	Energy ext 1+	Irms 1	Phase sequence	
	kvarh Q3 ph 1	Energy ext 1-	Irms 2		
	kvarh Q4 ph 1		Irms 3	Sequence starts	
		Energy ext 2+	Zero sequence	Ext. cons. status	
		Energy ext 2-			Int. cons. status
	kvarh Q1 ph 2		Neutral voltage displacement	9 defects	
	kvarh Q2 ph 2	Energy ext 3+	Zero Sequence		
	kvarh Q3 ph 2	Energy ext 3-			
	kvarh Q4 ph 2				
	kvarh Q1 ph 3	Energy ext. 4+	Frequency	cuts ph 1	
	kvarh Q2 ph 3	Energy ext. 4-	mains frequency	cuts ph 2	
	kvarh Q3 ph 3		Phase angles	cuts ph 3	
	kvarh Q4 ph 3	Summation		Angle U1/I1	sags ph 1
		Sum 1		Angle U2/I2	sags ph 2
		Sum 2		Angle U3/I3	sags ph 3
	kvarh Q1 agg	Sum 3	Angle U1/U2	swells ph 1	
	kvarh Q2 agg	Sum 4	Angle U2/U3	swells ph 2	
	kvarh Q3 agg		Angle U1/U3	swells ph 3	

► ??????



5 Energy Metering

5.1 Total Energy Registering

This ACE SL7000 meter provides total energy registering for all 52 energy quantities.

Total energy registers are dedicated to store the total consumption in one register, independently of tariffs. These registers are not reset at the end of a billing period. They can be used for single tariff applications, whatever the resource level.

The **resolution** of energy quantities measurement is 100 mWh/mvarh (secondary values). Before storage (in primary values), they are divided by a programmable ratio, to get a resolution of 1 Wh, 1 kWh, or 1 MWh, in order to optimise the storage range, according to the CTVT ratio. The meter can manage up to 9 significant figures and 3 decimals for an energy value.

The maximum register value is just below 1000 TWh (ratio 107, unit MWh).

When a register reaches its maximum value, it is automatically reset and restarts from zero, just as an electromechanical counter.

5.2 Energy Registering

According to the chosen resource level, up to **10 independent energy channels** can be selected from the list of 52 energy quantities.

Tariffs are applied to these channels with a maximum of 8 rate registers per channel, and an overall total number of 32 rate registers. A unique rate is active for each channel at any time.

Meter configuration is totally flexible. It is possible to have different rate configuration in different energy channels. Example: several rates for the active energy and one single rate for the reactive energy.

Specific registers are dedicated to store the **working time** of each energy rate register (in seconds). These registers are never reset.

The ACE SL7000 meter offers **two possible modes** of accumulating energy in rate registers. Either the energy rate registers are reset at the end of a billing period, or they are never reset and the energy will continue to accumulate during the next billing periods.

At the end of a billing period, the energy registers are read and stored in historical registers.

Up to **18 historical register sets** are available in a circular memory.

6 Demand Register

6.1 Demand Channels and Tariffs

According to the chosen resource level, up to 10 independent demand channels can be selected from the list of 52 energy quantities the meter can measure, plus 1 quantity which is the aggregate power factor.

Tariffs are applied to these channels (except aggregate power factor) with a maximum of 8 rate registers per channel, and an overall total number of 24 rate registers for demands.

At any time, several rates can be active for a demand channel, and it is possible to have different rate configurations in each demand channel.

Demand registers are dedicated to store the average demand over a fixed time called integration period.

The main processes linked to the calculation of the Demand are the following:

- instantaneous demand and power factor calculation (updated each second)
- average demand calculation over an integration period
- average 3-phase power factor calculation over an integration period
- maximum demand calculation and storage of the 5 highest peaks in the billing period
- minimum power factor calculation and storage of the lowest values in the billing period
- average power factor calculation and storage in the billing period
- threshold comparison for excess demand detection
- time stamping
- net and cumulative maximum demand memorisation.

At the end of each interval, the demand registers are processed.

The current demand registers are then reset to zero, to begin counting for the next demand.

6.2 Demand Functionalities

The ACE SL7000 meter integration period is programmable from 1 minute to 60 minutes.

Two modes: block period or sliding period. For sliding period, a maximum of ten subintervals can be programmed.

Only one integration period mode and time can be programmed, which is common for all demand channels.

A rising value is available for each demand channel, and represents the current demand value at any given time during the integration period.

This register is refreshed every second, as well as the elapsed time in the integration period.

Specific actions can be programmed according to the value of the demand, in order to inform the customer about possible excess demand:

- Comparison every second of the rising demand with a threshold
- Comparison every second of the demand extrapolation to the end of the period with a threshold; this comparison being inhibited during the first 30% of the period
- Control at the end of the integration period to a threshold.

Sliding period: A selected number of subintervals make up the demand period.

At the end of every subinterval, a new demand calculation occurs, based on the last full demand interval.

After the first complete sliding period including 5 subintervals, when the next subinterval (the sixth) is reached, the new calculation doesn't take into account the first subinterval, and so on.



During the same billing period, the meter stores the five highest peaks of demands, with their dates and time stamps, the minimum value of the power factor, with date and time stamps, and the average value of the power factor.

Maximum demands are available as cumulative values, and net values. The memorisation linked to the power factor is:

- Minimum aggregate power factor with time stamp
- Average aggregate power factor since the beginning of the billing period.

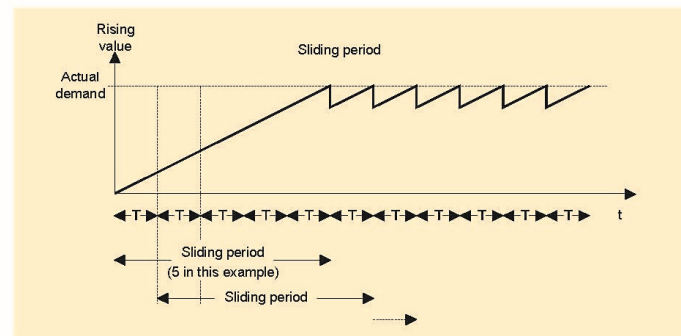
The end of integration period can be triggered by several ways:

- by the internal clock of the meter
- by a time change
- after a power failure
- after a change of tariff rate
- by the control inputs.

In case of power failure it is possible to program the behaviour:

- **restart**: a new integration period starts after power up
- **resume**: the period which was interrupted by power failure continues after power up in order to keep a complete integration period
- **synchronise**: the integration period is always synchronised with the round hour.

The measurements obtained from an incomplete period can either be kept or discarded (for maximum demand calculation and for excess demand control). The input quantities provided for demand calculation have a resolution of 100 mWh (or mVAh or mvarh) – so the minimum resolution for a demand rate is 100 mW (or mVA or mvar) – secondary values. Before storage (in primary values), they are divided by a programmable ratio to get 1 W, 1 KW, or 1 MW resolution in order to optimise the storage range, according to the CTVT ratio. The meter can manage up to 5 figures which can include 0 .. 3 decimals for a demand value. If a metering result would require a higher figure, the result is frozen at the maximum possible value.



► Sliding period diagram

7 Load Profiling

The ACE SL7000 meter allows up to **8 independent load profile channels** to be selected from the list of 52 energy quantities, plus 1 quantity for the aggregate power factor, and plus 6 quantities for the RMS voltages and the RMS currents.

Recorded in the load profile array are data elements, status elements, and date elements.

Data elements are stored on 2 bytes: Each quantity allocated to a load profile channel is integrated over a period of time (the recording interval). Then it can be stored as such, or divided by the recording interval (in order to calculate its average value) before storage.

This recording interval can be different from the integration period, but is common value for all 8 channels. It is programmable from 1 minute to 60 minutes.

Status elements are recorded over 4 bytes.

If applicable, a specific event is described and date stamped in an additional data element (Clock setting, Daylight saving time, External synchronisation, power failure).

A **date element** (3 bytes) is inserted each day at 00h00.

The maximum capacity for a recording interval of 15 minutes is 15 weeks (3 1/2 months) when all 8 channels are used.

Interval Start	Channel 1 (kW)	Channel 2 (kW)	Channel 3 (kVar)	Channel 4 (kVar)	Channel 5 (kVar)	Channel 6 (kVar)	Events
00:00	247600	0	492400	0	0	0	
00:10	249200	0	493300	0	0	0	
00:20	259200	0	505400	0	0	0	
00:30	249100	0	498300	0	0	0	
00:40	230400	0	480900	0	0	0	
00:50	233300	0	479500	0	0	0	
01:00	236100	0	482400	0	0	0	
01:10	139700	0	283700	0	4300	0	
01:20	0	0	0	0	8600	0	
01:30	0	0	0	0	7200	0	
01:40	0	0	0	0	7200	1400	
01:50	0	0	0	0	7200	1400	
02:00	0	0	0	0	5800	1500	
02:10	0	0	0	0	7200	1400	
02:20	0	0	0	0	5700	2900	
02:30	0	0	0	0	5800	1400	
02:40	0	0	0	0	8600	0	
02:50	0	0	0	0	5800	2900	
03:00	0	0	0	0	7200	1500	
03:10	0	0	0	0	8600	0	
03:20	0	0	0	0	4400	2900	



8 Power Supply

8.1 Power supply functionalities

The ACE SL7000 meter has a fully redundant three-phase autoranging power supply.

The same meter works between 3 x 54 V to 3 x 240/415 V in any of the following failure conditions:

- missing one or two phase (4-wire systems)
- missing one phase (3-wire systems),
- missing neutral or neutral and one phase (4-wire systems)
- inversion of one phase and neutral (4-wire systems).

The meter maintains full accuracy in both 4-wire and 3-wire configurations. An indication of the supply phase condition and the phase sequence is provided on the display.

The power supply has enough reserve energy for 3-phase power outages up to 1 second.

Power failure events (per phase and total) are recorded with a duration, date and time stamp.

The meter complies with over-current requirements specified in IEC 60687 or IEC 61036.

In the event of continuous absence of power, all data are kept in a non-volatile memory, with a retention time of at least 10 years without the aid of any backup power. Power consumption requirements for multi-energy and multi-function meters are according to the specifications in the IEC 62053 Ed1. Without communication and display backlight the power consumption does not exceed the values given by IEC 60687 or IEC 61036. The back-up power supply is designed only for the real-time clock and the main cover opening detection.

The meter is equipped with a super-cap and an optional lithium battery.

- **Lithium battery only:** minimum capacity of 3 years in continuous operation at 25°C, minimum shelf-life of 10 years, with less than 10% loss of capacity due to self-discharge at 25°C.
- **Super-cap only:** minimum capacity of 6 days power outage carry-over period after 10 service years of the meter at 25°C.
- **Super-cap + Lithium battery:** Combination of both functionalities, during a power failure, the super-cap is the first to be drained.

The meter is designed in such a way that the Lithium battery can be safely changed without breaking any metrology seals and while the meter is operating. The operator is safe from any potential electrical hazard and is not able to touch any conductor connected to the meter. Adequate protection against electrostatic damage is built in the meter.

8.2 Auxiliary power supply

The meter can be optionally equipped with an auxiliary power supply, which will allow all the meter functions to continue operation, even when the 3 phase voltages are cut.

Voltage input: from 100VAC to 400VAC, +/- 20% , to be provided via an external transformer. The external transformer will provide isolation, common mode surge immunity, and differential mode surge immunity. Alternatively the meter also accepts a DC voltage from 48 to 400V. Also for this application an external isolating DC/DC transformer needs to be fitted.

9 Time Switch / Tariff Rate Calendar

The ACE SL7000 meter's time switch possibilities are extremely wide and offer large flexibility.

The tariff structure can be described in terms of patterns of tariff rates (1 to 8 rates) for each channel, independent from each other, of daily profiles (with rate switching at given times), of seasons (months including daily profiles for each day of the week), and of specific or exclusion days (fixed or moveable holidays, religious holidays..).

The programmed information contains a latent and current time switch structure. The date of change is programmable. Tariff control is possible using the internal time switch, or external control inputs, or even a combination of both.

Control inputs can be used to activate a rate, or a daily profile, or to activate a season. Several control inputs can be used for external control of one such functionality. A season change can be triggered by the DST activation.

Up to 50 different rate patterns – index – (for energies, demands, tariff outputs activation), can be used to describe the meter's behaviour regarding tariffication.

10 End of Billing

The ACE SL7000 meter can be configured so that up to 5 different sources can (if authorised by configuration) trigger an end of billing period (MDI reset); These are summarised in the diagram below.

In order to secure the EOB, it is possible to program a Lock-Out-time, which is a delay between two consecutive resets of MDI.

Locking interactions between categories are programmable.

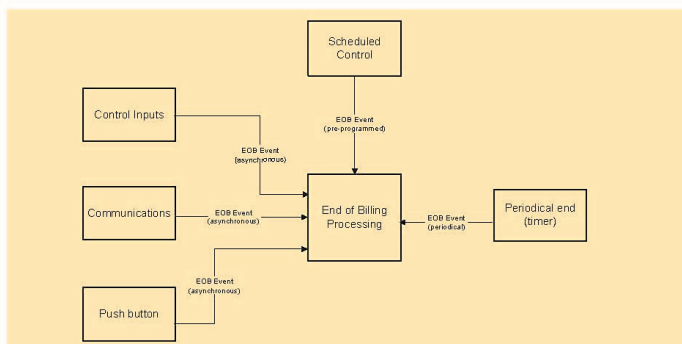
11 Real Time Clock (RTC)

The meter internally calculates date and time, based either on a quartz, or on mains frequency, according to configuration. The resolution is one second.

The meter manages leap years, and Daylight Savings Time.

Date and time are used for controlling tariff switching, interval measurement, and time stamping of events and results.

RTC characteristics comply with IEC 61038.



► Schedule end of billing diagram

Quantities	Number
Seasons	12
Exclusion days	100
Daily profiles	24
Switching times/day profile	16
Switching times in all day profiles	100

► ?????



► LCD display

12 Communications

12.1 LCD Display and Push-Buttons

The ACE SL7000 meter's LCD Display is dedicated to provide direct access to up to 100 parameters, including:

- Current energy and demand registers
- Billing information
- Fundamental network parameters
- Historical registers
- General Alarm signal and status word..

The list of displayable parameters is fully programmable.

T on and T off are programmable for the auto-scrolling (normal list). **Backlight** facility is available with all versions.

Scrolling push-button:

This button is dedicated to scroll available parameters, as specified in lists defined by the configuration software. The meter can manage 1, 2 or 3 lists (normal, alternate short, and alternate long).

Reset push-button:

This sealable button is just below the scrolling push button. It is used to reset the maximum demand indicators and close the billing period.

Laboratory switch:

A switch, located inside the metrological enclosure, can be used to protect the meter against non authorised programming attempts. The association of both, scrolling and reset push buttons can activate the different display modes:

- The **normal mode** which is active by default, all available parameters are auto-scrolling with a pre-programmed time-out between them; In this mode a test of all segments of the LCD is available by pressing the display button; If the display button is kept pressed down or the button pressed a second time the alternate long mode is activated; If the reset push-button is pressed during the LCD test, the alternate short mode is activated.

- The **alternate long mode**: manually displays alarms and parameters according to a specific programmable list (extended list, accessible to the end user).

After a time-out, or at the end of the sequence, the meter returns to the normal mode.

From this mode, it is possible to enter the set mode by pressing the reset push-button.

- **Set mode:** In this mode, it is possible to modify some of the parameters, such as the **date**, or the **time**. After a time-out, or after validation, the meter returns to the alternate mode.

- **The alternate short mode:** manual display of alarms and parameters, according to a specific programmable list (extended list, accessible to the utility only); After a time-out, or at the end of the sequence, the meter returns to the normal mode. From this mode, it is also possible to enter the set mode by pressing the reset push-button.

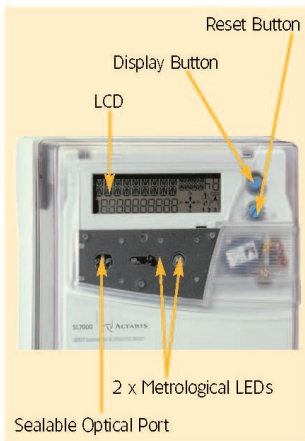
For each display list, it is possible to configure the parameters that will be displayed. The sequence order is also programmable, but unique for the 3 lists. Size of the viewing area: 26mm x 90 mm. Segments height: 12 mm.

12.2 LED Indicators

The meter has two LED indicators to control the accuracy of the meter, in a laboratory, or on site with an appropriate portable standard meter.

The two LED's deliver flashes corresponding to the quantum of energy with a value marked on front of the meter. These values are (secondary values): DC version 1 Wh, CT version 0.1 Wh. Ton = 10ms.

The LED can deliver independently either Active energy, or Reactive energy.



► ????

12.3 Input / Output Options

Optionally, the Actaris ACE SL7000 meter can be equipped with additional I/O boards of two types, with control inputs, control outputs, pulse inputs and pulse outputs:

- flexible I/O version
- intermediate I/O version.

An optional COM board can be plugged over the I/O board, through two connectors, so that it provides up to two COM ports, compliant with RS232 or RS485 standards.

Actions:

The Control Inputs can be used to enhance actions inside the meter to:

- end the current integration period
- end the current billing period (MDI reset)
- change the current tariff rate
- change the current day profile
- change the current season
- indicate an external alarm
- synchronise the clock.

The Control Outputs can be used to:

- transmit an end of integration period
- transmit an end of billing period
- transmit a current index indication
- indicate a general alarm
- transmit clock synchronisation pulses
- indicate excess demand
- indicate phase cut
- energy pulse retransmission.

12.4 Optical Communication Port

The meter integrates one IEC 61107 optical port. It is dedicated to local communication with the meter. A sliding cover can be sealed to protect this optical port.

The optical port uses the protocol described by IEC 61107 for reading register data from the meter. It also uses the draft new version of IEC 61107 (IEC 62056-21) to allow switching to another protocol, called COSEM. This makes it possible to program or read the meter. The baud rate can be selected between 300 and 9600 bauds.

One internal serial channel is allocated to the optical port and to the utility electrical port. By default the electrical port is active. However, when an optical port communication demand is detected, the channel switches automatically to the IR optical port.

12.5 Electrical Communication Ports

Electrical ports are available to allow communications between the meter and the utility (1 x RS232, or 1 x RS485) and also eventually the end user (1 x RS232). A power supply is available on both for powering up an external modem (total capacity of 100 mA at levels from 5V to 12V DC).

The 2 ports can operate independently and concurrently.

12.5.1 Utility Port

This port is in compliance with the V24/ EIA RS232D or with the RS485 standard. The port is primarily designed to operate with an external modem, but will also allow operation in a direct connection. The baudrate can be selected from 1200 to 19200 bauds, using the COSEM protocol.

12.5.2 End User Port

This port is in compliance with the V24/EIA RS232D standard. Using this port allows the communication with COSEM, the maximum baud rate on this port being 19200 bauds.

The connection can be used to allow direct communication with a computer or may be used through a modem.

2 Control Outputs, 1 Control Input, 2 Pulse Outputs, 2 Pulse Inputs

- 2 control outputs (opt. outputs) (open or closed switches, accepting up to 480V, 100mA).
- 1 control input (accepting 100V to 240 V AC, (non operating voltage 30V), I_{max}=3mA, T_{min} = 30 ms.
- 2 pulse outputs (accepting up to 27 VDC, duration 30 to 120ms, Z_i<300).
- 2 pulse inputs (providing 21VDC, Z_i-1k).
- 1 or 2 communication ports for bi-directional communication (COSEM).

► Intermediate I/O version

4 Control Outputs, 2 Control Inputs, 6 Pulse Outputs, 4 Pulse Inputs

- 4 control outputs (opt. outputs) (open or closed switches, accepting up to 480 V, 100 mA).
- 2 control inputs (accepting 100 V to 240 V AC, (non-operating voltage 30 V), I_{max}=3 mA, T_{min} = 30 ms. .
- 6 pulse outputs (accepting up to 27 V DC, duration 30 to 120 ms, Z_i<300).
- 4 pulse inputs (providing 21 V DC, Z_i-1k).
- Up to 2 communication ports for bi-directional communication (COSEM). Power supply for an external modem (10 V, 100 mA) is provided.

► Flexible I/O version



12.5.3 Modem Management

The modem will be connected to a public switched telephone network (PSTN) normally provided by the customer. Standard PSTN, GSM or LAN (internet) modem can be used with the SL7000. The ACE SL7000 meter supports the following CCITT modem standards:

- V.22 (Effective transfer speed: 1200bps)
- V.22bis (Effective transfer speed: 2400bps)
- V.32 (Effective transfer speed: 9600bps)
- V.32 bis (Effective transfer speed: 14400bps).

The auto answer mode will be the normal mode of operation. The meter can perform a bi-directional communication with the modem to initialise it.

12.5.4 Logical Devices and Clients

Several levels of security access exist in the meter. Confidentiality and privacy of data are managed by logical devices in the meter (which can be addressed individually), and different client identifications (password protected).

The ACE SL7000 meter has three logical devices: the "Electricity device", the "Management device", and the "End customer device".

Several client types are predetermined, with different authorisation to access data:

- "Electricity Utility – Laboratory"
- "Electricity Utility – Field"
- "Electricity Utility – meter reader"
- "End customer" etc.

13 Network and Tamper Monitoring

The ACE SL7000 meter offers the instantaneous value and the minimum and maximum values of the frequency over a billing period. The instantaneous and the maximum rms values of the voltage and the current for each phase over a billing period are also available.

The following situations can be detected and recorded in a history file:

Neutral current or neutral voltage displacement above a threshold.

Main cover opening (option):

- number of cover openings
- 10 last cover openings (with time stamp, duration).

Current reversals:

- number of current reversals phase 1
- number of current reversals phase 2
- number of current reversals phase 3
- 10 last current reversals (with time stamp, direction, phase).

Watchdog activity:

- number of watchdog events
- last watchdog event with time stamps.

Calibrations history:

- number of calibrations
- last calibration date and time.

Configurations history:

- number of configurations
- last configuration (end of configuration) time stamp.

Total power failures:

- number of short power failures
- number of long power failures
- cumulated duration of long power failures,
- duration of the longest power failures with starting time stamp
- duration of the shortest power failures with starting time stamp
- 10 last long power failures (with starting time stamp and duration).

14 Voltage Quality

For each phase, the ACE SL7000 meter can calculate and memorise voltage sags, voltage swells, and voltage cuts:

Voltage sags per phase:

- number of sags
- cumulated duration of sags
- duration of the longest, with time stamp
- duration of the shortest, with time stamp
- 10 last sags (with time stamp, duration, magnitude, phase).

Voltage swells per phase:

- number of swells
- cumulated duration of swells
- duration of the longest with time stamp
- minimum duration with time stamp
- 10 last swells (with time stamp, duration, magnitude, phase).

Voltage cuts per phase:

- number of cuts
- cumulated duration of cuts
- duration of the longest with time stamp
- duration of the shortest with time stamp
- 10 last cuts (with time stamp, duration, magnitude, phase).

15 Display of Error Code

Error codes can be displayed in the display list, on 2 lines: first line for non fatal errors (9 characters), and second line for fatal errors (2 characters).

The occurrence of the following **non fatal errors** is indicated:

Watchdog activity, battery alarm, neutral loss, temperature, communication error, configuration incoherence, clock loss, clock incoherence, voltage cut (per phase), voltage sag (per phase), voltage swell (per phase), current reversal (per phase), no consumption, no pulse received on pulse inputs, neutral voltage displacement, neutral current, external alarm, voltage isolation (per phase), current unbalance (between phases).

The occurrence of the following **fatal errors** is indicated:

RAM error, program memory error, checksum error on a memory area, several external clock incoherence.

If a fatal error occurs the meter will switch to a non-operational mode, where only instantaneous values will be processed and no energy counting or demand/loadprofile calculation will be performed. This mode is indicated by the word "stop" on the LCD.

The meter should then be removed from the field and tested. It will still contain all measuring data which had been collected up until the fatal error occurred.

16 Order Information

To order an ACE SL7000 meter the following information is necessary:

Hardware definition:

This is done by a order code, consisting of 4 digit groups.

In addition, the rated voltage, current and frequency must be indicated.

State whether the meter uses symmetrical or asymmetrical connection. Also indicate the type of terminal cover needed (normal or extended) and if a lithium battery should be supplied.

Firmware Definition:

Indicate which resource level for firmware should be implemented, and if voltage quality logging is required.

Configuration:

State the details of any configuration that should be loaded during the manufacturing process. For help on ordering please contact your local agency or Actaris representative.

Product version	
ACE SL7000 meter	ACE SL761
Connection and Class	
CT cl 0.5	B
CT cl 1	C
DC 80A	D
DC 120A	E
I/O Configuration	
No I/O	00
Intermediate I/O (incl. 1 RS232)	01
Intermediate I/O (incl. 2 RS232)	02
Flexible I/O (w/o comms)	03
Flexible I/O + RS232	04
Flexible I/O + RS485	05
Flexible I/O + RS232/RS242	06
Flexible I/O + RS232/RS485	07
Auxiliary Power Supply (ASPS)	
No APS	0
APS w/o potential separation	1
APS with potential separation	2

▶ ACE SL7000 product version

ANEXO 2 – PROTOCOLO ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Silicon Irradiance Sensor with RS485 Port

Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH - Meßgeräte für die Solartechnik
Schwarzer Weg 43A, D-31789 Hameln,

January 2011
Tel. +49-5151-403699-0, Fax +49-5151-403699-19

Specification M&T Protocol

This document describes the M&T protocol of the RS485 port of the Sensor Si-RS485-TC-x, called „sensor“.

The data logger or a control system has the function of the master, the sensor has the function of the slave. The sensor address has a range of 00 to 99. The sensor address is specified by the last two signs of the serial number. Each sensor has a fixed, for the user not changeable address.
Data format: 9600 baud, 8 data bits, no parity, one stop bit.

Command structure:

Master	Sensor	Comment
#aa0<CR>	<LF>*aa7<CR>	Command for recognition a sensor
#aav<CR>	<LF>*aavhhhsss<CR>	Command for requesting hardware and software version
#aa7<CR>	<LF>*aa7 <data1> <data 2> <data3> <data 4> <CRC><CR>	Command for data request

aa: Address of the sensor, defined by the last two signs of the serial number, setting by the manufacturer
0: Command for recognition a sensor
7: Command for data request
v: Command for requesting hardware and software version
hhh: Hardware Version
sss: Software Version
data 1: Measurement value for irradiance in [W/m²], field length: 6
data 2: Measurement value for cell temperature in [°C], field length: 5
data 3: Measurement value for external temperature (ambient, pv module) in [°C], field length: 5, optional
data 4: Measurement value for wind speed in [m/s], field length: 4, optional
CRC: Addition of all characters before CRC without <LF> as integer U8. Attention: The CRC could contain non-printable-characters.

All measurement values contain a decimal separator (0x2e) and one decimal place. The field length includes the decimal separator. At measurement values with a smaller field length space characters are added. Each measurement value has at minimum one space character before and behind. So, each command and each request contains a fixed number of characters.

Example (sensor with Bus address 01):

Master: #010<CR>
Slave: <LF>*017 <CR>
Master: #01v<CR>
Slave: <LF>*01v131108<CR>
Slave: <LF>*017__923.4__46.3__18.1_11.3_<CRC><CR> (space characters are displayed as _)

To prevent collisions all sensors at the same bus must have different addresses.

ANEXO 3 – PROTOCOLO DLMS/COSEM

Os documentos relativos ao código protocolo DLMS/COSEM encontra-se na pasta “DLMS” do CD que integra esta Dissertação.

ANEXO 4 – SENSOR DE IRRADIÂNCIA

DIGITAL SILICON IRRADIANCE SENSOR

Si-RS485-TC-T

Measurement of Solar Irradiance

Since 1994 we have been developing and producing different types of silicon irradiance sensors. Until the year 2010 more than 15000 sensors were sold worldwide. Our silicon sensor is an affordable solution for measurement of solar irradiance. The powder-coated aluminium case in conjunction with the solar cell laminated between glass and Tedlar foil builds a **very reliable and rugged sensor**.



General Description

Mode of Operation

A silicon solar cell can be used as an irradiance sensor, because the short-circuit current is proportional to irradiance. Our sensors are build out of a monocrystalline solar cell connected to a shunt. Due to the low resistance of the shunt the cell operates next to short circuit.

The temperature coefficient of the short-circuit current creates a small error. Therefore all of our silicon sensors with the extension „TC“ have an active temperature compensation, which reduces this error by factor 20. The compensation is realized by using a specific temperature sensor laminated to the rear side of the solar cell.

The measuring signals of short-circuit current of the cell and the resistance value of the temperature sensor are measured by a microcontroller. The calcula-

ted values of irradiance and temperature are given onto a RS485 port with customer specification protocol. The electronic circuit is optimised for low power consumption.

All sensors are calibrated in simulated sunlight against a reference cell of the same type. The reference cell is periodically calibrated against a reference cell calibrated by Fraunhofer ISE, Freiburg.

Mechanical Construction

The solar cell is embedded in Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA) between glass and Tedlar. The laminated cell is integrated into a case of powder-coated aluminium. Therefore the sensor construction is comparable to that of a standard PV module. The electrical connection is realized by a 3 m cable or a waterproof (IP67) connector.



INGENIEURBÜRO Mencke & Tegtmeier GmbH

Schwarzer Weg 43A
D-31789 Hameln
Germany
Tel: +49 (0) 51 51 / 40 36 99 - 0
Fax: +49 (0) 51 51 / 40 36 99 - 19
email: info@ib-mut.de
http://www.ib-mut.de

Banking account:
Stadtsparkasse Hameln
(BLZ 254 500 01)
Account 52233

VAT No. DE258133277

Customs No. DE6018572

Finanzamt Hameln
22/200/62745

Amtsgericht Hannover
HRB 202636

Management:
Dipl.-Ing. Detlef Mencke
Dipl.-Ing. Dirk Tegtmeier

SI-SENSOR

General information

ACCURACY

Irradiance

Temperature

ELECTRICAL CONNECTION

MECHANICAL INSTALLATION

HANDLING OF CASE

OPTIONS

ACCESSORIES FOR SI-RS485-TC-2T-V

DIGITAL SILICON IRRADIANCE SENSOR

Si-RS485-TC-T

Technical Data

- Solar cell: Monocrystalline Silicon (50 mm x 33 mm)
- Current shunt: 0.1 Ω (TK = 30 ppm / K)
- Operating temperature: -20°C to 70°C
- Electrical connection: via 3 m cable, UV and weatherproof
- Power supply: 12 to 28 V_{DC} (40 mA typically at 20 V_{DC})
- Interface: RS485 up to 19200 Baud
- Protocol: M&T, MODBUS, customer specific
- Galvanic isolation: 1000 V between power supply and RS485 bus
- Case, protection mode: Powder-coated aluminum, IP 65
- Dimensions, weight: 155 mm x 85 mm x 40 mm, approx. 360 g
- Customs Number: 85 41 40 90

- Error with temperature compensation compared to pyranometer within the operating range of -20°C to 70°C and vertically beam of irradiance: $\pm 5 \%$

- Error at minimum and maximum temperature: $\pm 1.0^\circ\text{C}$

Colour mapping of cable

Red (wire):	Power (plus)
Black (wire):	Power (minus)
Brown (wire):	Data +
Orange (wire):	Data -
Black (large profile):	shielding

The concept for over-voltage protection has to match the local specifications.

The Si sensor has two tongues with each two M6 and one M8 drills. The installation at a suitable construction must use at least one M6 screw with washers at each tongue.

During installation the pressure compensation element near the electrical connection must not be damaged. If the cap of the element has loosened, it can be snapped on again.

The Si sensor can be cleaned using a smooth cotton cloth, water and a mild cleaning fluid.

An opening of the sensor case by the user or installation staff is not necessary. If the case is opened, we can not guarantee the seal of the case anymore.

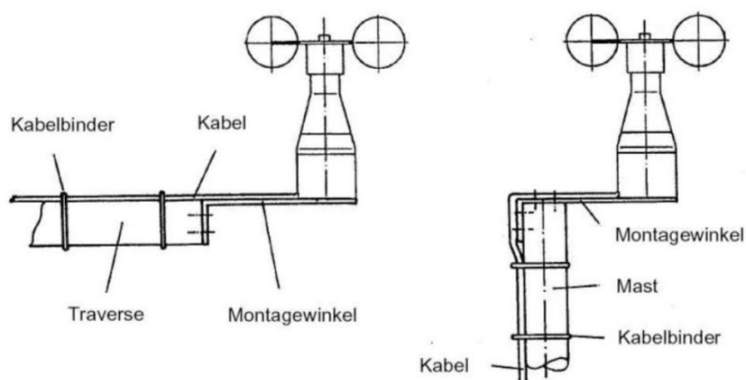
- Si-RS485-TC-2T: Same as Si-RS485-TC-T, but additionally with fixed ambient temperature sensor with 3 m cable, measuring range: -25 ... +75°C
- Si-RS485-TC-2T-v: Same as Si-RS485-TC-T, but with optional connections for external ambient or module temperature sensor and wind speed sensor
- Ambient temperature sensor in stainless steel bush with 3 m cable
Measuring range: -25 ... +75°C
- Module temperature sensor in aluminum block with 2 m cable
Measuring range: -25 ... +75°C
- Wind speed sensor with 5 m cable
Measuring range: 0,8 ... 40 m/s

ANEXO 5 – SENSOR VELOCIDADE DO VENTO

Vwind-Si

Wind speed Sensor for Si-RS485-TC-T-2T-v

Sensor type:	Cup star anemometer
Signal:	Reed relais, 2.3 Hz/(m/s)
Range:	0..40 m/s (60 m/s for short time)
Accuracy:	0.5 m/s or 5% of reading
Cable:	5 m LiYC11Y, 4 x AWG 26, black, weather and uv resistant
Connector:	Binder connector series 712
Pin assignment:	Pin 1 – Reed relais Pin 2 – Reed relais



Meßgeräte für die Solartechnik

INGENIEURBÜRO
Mencke & Tegtmeier GmbH

Hohe Linden 8 F
D-31789 Hameln
Tel: +49 (0) 51 51 / 40 36 99 - 0
Fax: +49 (0) 51 51 / 40 36 99 - 19
email: info@ib-mut.de
<http://www.ib-mut.de>

Bankverbindung:
Stadtsparkasse Hameln
(BLZ 254 500 01)
Konto 5 22 33

UID-Nr. DE258133277

Zollnr. DE6018572

Finanzamt Hameln
22/200/62745

Amtsgericht Hannover
HRB 202636

ANEXO 6 – SENSOR DE TEMPERATURAN AMBIENTE

Tamb-Si

External Temperature Sensor for Si-RS485-TC-2T-v

Sensor type:	Pt1000 1/3 class B
Temperature range:	-40..+85°C
Sensor housing:	INOX steel tube, 6 mm diameter, 50 mm length
Cable:	3 m LIYC11Y, 4 x AWG 26, black, weather and uv resistant
Connector:	Binder connector series 712
Protection:	IP67
Pin assignment:	Pin 1 – Pt1000 Pin 2 – Pt1000 Pin 3 – cable shield, isolated to INOX steel tube



INGENIEURBÜRO
Mencke & Tegtmeier GmbH

Schwarzer Weg 43A
D-31789 Hameln
Tel: (051 51) 40 36 99 - 0
Fax: (051 51) 40 36 99 - 19
email: info@ib-mut.de
<http://www.ib-mut.de>

Bankverbindung:
Stadtsparkasse Hameln
(BLZ 254 500 01)
Kto.-Nr. 5 22 33

UID-Nr. DE258133277
Zollnr. DE6018572

Finanzamt Hameln
22/200/62745

Amtsgericht Hannover
HRB 202636

Geschäftsführung:
Dipl.-Ing. Detlef Mencke
Dipl.-Ing. Dirk Tegtmeier