



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

VINÍCIUS FONSÊCA NÓBREGA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA E  
TENSÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DO LABORATÓRIO  
DE PESQUISA LEIAM**

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2011

VINÍCIUS FONSECA NÓBREGA

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA E  
TENSÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DO LABORATÓRIO  
DE PESQUISA LEIAM

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Informação

Orientador:

Professor Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2011

VINÍCIUS FONSÊCA NÓBREGA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA E  
TENSÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DO LABORATÓRIO  
DE PESQUISA LEIAM**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Informação

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à todas as pessoas que, de alguma maneira, contribuíram para meu crescimento intelectual, profissional e humano.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por todas as graças que me foram concedidas.

Agradeço a toda minha família por ser o alicerce básico para a formação do meu caráter, em especial na pessoa da minha mãe, Mara Lúcia Santos Fonsêca, a qual me proporcionou uma boa educação e um exemplo firme de ser humano, bem como, por muitas vezes, abdicar de seus sonhos em prol dos meus.

Agradeço a minha namorada, Giuly Gomes Lima, por estar ao meu lado e me apoiar nos momentos mais difíceis que enfrentei durante essa caminhada

Agradeço ao Professor Alexandre, primeiro pelo exercício louvável de sua profissão, segundo pela dedicação que desempenha ao instruir seus orientandos.

Agradeço aos meus colegas de curso que, assim como eu toparam o desafio de cursar Engenharia Elétrica, em especial aos colegas de laboratório Tiago, por sua solicitude ao me prestar ajuda e a Pierre, por ter topado o desafio de realizar este trabalho ao meu lado.

Agradeço aos meus amigos fieis, nas pessoas de Saulo e Rodrigo, pela enorme compreensão quanto as minhas atividades e por ainda sim me proporcionarem momentos felizes.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje, com um carinho muito especial aos amigos que cativei no Colégio das Damas em minha caminhada cristã.

*“Não cruze os braços  
diante de uma dificuldade,  
pois o maior homem do mundo  
morreu de braços abertos.”*

Bob Marley.

# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Sumário .....	vii
Resumo.....	viii
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas.....	x
1 Introdução.....	11
2 Objetivos .....	11
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3 Fundamentação teórica.....	12
3.1 Tecnologia PLC .....	12
3.2 Padrão CEBus .....	13
3.3 Modem Intellon SSC P485 .....	15
3.4 Painel Fotovoltáico .....	19
4 Descrição do projeto.....	22
4.1 Descrição do Hardware.....	25
4.2 Descrição do Software .....	29
5 Resultados e Discussões .....	31
6 Conclusão .....	35
Bibliografia.....	37
ANEXO A – Programa do Microcontrolador.....	38

## RESUMO

A tecnologia PLC (*powerline communication*) vem como uma alternativa de comunicação e redução de custos. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de monitoramento remoto de temperatura e tensão de painéis fotovoltaicos utilizando o próprio cabo CC que vem dos painéis como meio de comunicação (tecnologia PLC).

Foi utilizado um microcontrolador para poder fazer a aquisição dos dados e enviá-los através da rede PLC. Este microcontrolador por sua vez adquirirá dados de um sensor de temperatura analógico. Para a medição de tensão utilizou um divisor de tensão resistivo para condicionar o sinal medido de acordo com os níveis de tensão das entradas analógicas do microcontrolador.

**Palavras-chave:** modem, PLC, paineis, fotovoltaicos, PCI.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais problemas encontrados na transmissão de dados pela rede elétrica. [1].	13
Figura 2 - Palavra de dados do protocolo CEBus.	15
Figura 3 - Diagrama de blocos do modem SSCP485 da Intellon [2].	16
Figura 4- Diagrama de um nó da rede PLC [2].	18
Figura 5 - Transformador de acoplamento	19
Figura 6 - Curva característica de corrente por tensão de um painel para várias temperaturas e radiação incidente de $1000W/m^2$ [5].	21
Figura 7 - Curva característica de potencia por tensão de um painel para várias temperaturas e radiação incidente de $1000W/m^2$ [5].	21
Figura 8 - Conjunto de painéis fotovoltaicos instalado na laje do LEIAM	22
Figura 9 - Compartimento de junção dos cabos de um módulo fotovoltaico (4 painéis)	23
Figura 10 - Compartimento principal dos painéis (junção de todos os painéis fotovoltaicos)	23
Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema de monitoramento dos painéis fotovoltaicos	24
Figura 12 - Esquema da placa teste de comunicação com a rede PLC e modem Intellon	25
Figura 13 - Esquemático da PCI contendo o modem PLC Intellon	27
Figura 14 - Placa de aquisição do dado via rede PLC	28
Figura 15 - PCI MAX232.	29
Figura 16 - Fluxograma do programa do microcontrolador	30
Figura 17 - Dado serial do microcontrolador para o modem PLC.	32
Figura 18 - Dado modulado enviado à rede PLC	32
Figura 19 - Dado modulado recebido pela unidade de aquisição de dados.	33
Figura 20 - Dado enviado ao DSP	34
Figura 21 - Exemplo de dado visto na porta serial do computador	34
Figura 22 - Dado incoerente	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Codificação dos símbolos no protocolo CEBus. Retirado de (DUQUE, 2001). .....	14
Tabela 2 - Descrição dos pinos do modem SSC p485.....	16
Tabela 3 - Protocolo de comunicação entre o microcontrolador e o DSP.....	31

# 1 INTRODUÇÃO

Para que se possa atuar de maneira mais eficiente nos painéis fotovoltaicos do Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamentos de Máquinas – LEIAM necessita-se instrumentar os mesmos afim de que se possa obter dados referentes a temperatura e tensão. Para tanto, tomou-se a decisão de utilizar a tecnologia PLC afim de aproveitar os próprios cabos provenientes dos painéis como meio de comunicação para transmissão das informações citadas.

Para a implementação do sistema de coleta de dados de temperatura e tensão e sua transmissão a partir de um sistema de comunicação PLC, foi utilizado um MODEM PLC da INTELLON, o PLC SSC P485. Este é integrado em um sistema microprocessado, baseado em microcontrolador PIC da família 16F. Os recursos disponibilizados pelo modem PLC e microcontrolador indicados, permitiu atingir os requisitos de taxa de transmissão de dados demandados pelo sistema que deveriam ser de no mínimo 1s.

Na sequência do documento serão apresentados os fundamentos teóricos relativos a tecnologia PLC, onde serão discutidos detalhes da modulação utilizada pelo modem SSC P485, além de outras informações relativas ao *hardware* do modem. A seguir serão descritas as etapas de desenvolvimento do sistema, descrevendo-se as partes de *hardware* e *software* do mesmo e serão apresentados resultados dos testes funcionais do sistema, salientando-se os problemas de implementação encontrados ao longo do trabalho e como os mesmos foram superados.

## 2 OBJETIVOS

Apresentaremos os objetivos gerais e específicos estabelecidos no projeto.

## 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de coleta de dados de temperatura e tensão de painéis fotovoltaicos, utilizando o cabeamento de força dos mesmos (cabeamento CC dos painéis) para envio dos dados coletados a um computador de gerenciamento, a partir do uso de modem PLC para implementação do canal de comunicação.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar canal de comunicação em um circuito CC, utilizando modem PLC SSC P485 da Intellon;
- Desenvolver um sistema de coleta de dados de temperatura e tensão para uso com painel fotovoltaico.

# 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica discutiremos a cerca da tecnologia PLC, do padrão de comunicação CEBus utilizado pelo próprio modem, bem como sobre o modem utilizado, enfatizando seu funcionamento no sistema.

## 3.1 TECNOLOGIA PLC

A comunicação via rede elétrica, ou simplesmente *Power Line Communication* (PLC) é, hoje, uma tecnologia passível de ser utilizada nas mais diversas aplicações, desde o controle de equipamentos domésticos a aplicações de internet em banda larga. Os primeiros testes do conceito do uso das redes elétricas como meio de comunicação datam de meados de 1920, tendo sido realizados pela “American Telephone and Telegraph Company”, com registro de patentes de redes trifásicas de corrente alternada com sistemas integrados que permitiam a comunicação [1].

Sabe-se que, atualmente, o número de equipamentos com cabeamento dedicado excede o número de equipamentos instalados que utilizam a rede elétrica AC como meio de comunicação [1], o que deveria ser razão mais que suficiente para o pleno uso de redes PLC como meio de comunicação.

Apesar dos recentes desenvolvimentos observados na área de modems PLC, o uso da tecnologia ainda não é muito difundido, devido, principalmente, aos efeitos de perturbação e atenuação atuantes nas portadoras de alta frequência injetadas na rede de energia elétrica, a qual foi projetada para transmitir sinais na faixa de frequência de 50-60Hz. Na Figura 1 são indicados os principais problemas encontrados na transmissão de dados através da rede elétrica.

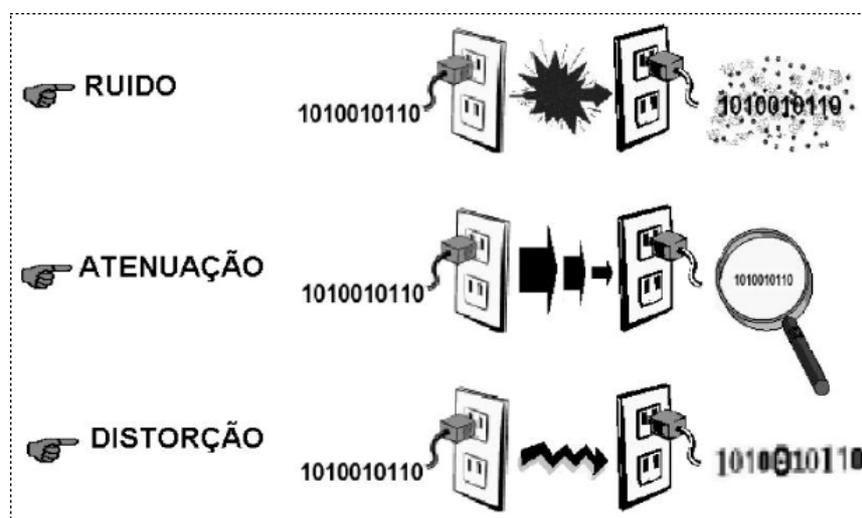


Figura 1 - Principais problemas encontrados na transmissão de dados pela rede elétrica. [1].

Os problemas não são simples de serem sanados, todavia o esforço necessário para resolvê-los, é compensado financeiramente, posto que a rede de transmissão já está montado, o que se configura como uma grande vantagem.

### 3.2 PADRÃO CEBUS

Como o modem PLC utilizado faz uso do padrão CEBus, somente este será detalhado neste trabalho, todavia a saber são três as tecnologias mais utilizadas na transmissão via rede elétrica, junto ao CEBus tem-se o X10 e o Lonworks

O protocolo CEBus (Consumer Electronics Bus) foi desenvolvido pela EIA (Electronics Industries Association), também é conhecido como EIA-600. Basicamente

utiliza a tecnologia do espalhamento espectral (*Spread Spectrum Carrier - SSC*) na faixa de 100kHz a 400kHz, o que torna o padrão mais robusto frente a outros com o mesmo fim que utilizam frequências únicas, entretanto a banda de utilização é relativamente alta.

A técnica de espalhamento espectral tem como idéia fundamental a utilização de uma forma de onda conhecida para codificar um bit, a qual é chamada de UST (*Unit Symbol Time* – Símbolo unitário) sendo esta a menor unidade de informação para o sistema de comunicação. Logo, pode-se fazer uma combinação de USTs em uma seqüência lógica e pré-definida afim de possibilitar que dois ou mais dispositivos em uma rede elétrica possam se comunicar. Esta combinação é definida por dois parâmetros:

Codificação do bit: como combinar e rearranjar uma ou mais UST's para representar um determinado bit. Existem várias técnicas para viabilizar este rearranjo, como por exemplo, ASK, PSK, PRK, DPSK, etc.

Codificação dos bytes: a organização dos bytes em estruturas lógicas, que formem um conjunto de instruções compatíveis que todos os dispositivos em um nó da rede possam ler e interpretar corretamente. Basicamente, é o protocolo de comunicação que define como os bytes se agrupam nas estruturas lógicas, como endereços, máscaras, etc.

O tamanho do espectro de transmissão usado no CEBus é variável e depende do tamanho da mensagem, ou seja, basicamente ele utiliza o tempo para codificar os símbolos do protocolo, de acordo com a duração do sinal da rede.

A padronização dos símbolos é realizada em função da duração mínima do sinal na rede, ou seja 100µs para o pacote e 114µs para o preâmbulo, que basicamente constitui-se na UST já mencionada.

Os símbolos do protocolo são, então, codificados de acordo com os USTs como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Codificação dos símbolos no protocolo CEBus. Retirado de (DUQUE, 2001).

Símbolo	Preâmbulo		Corpo do Pacote	
	UST's	Duração	UST's	Duração
"1"	1	114 µs	1	100 µs
"0"	2	228 µs	2	200 µs
EOF	8	800 µs	3	300 µs

EOP	N/A	N/A	4	400 $\mu$ s
-----	-----	-----	---	-------------

O símbolo EOF (*End of Frame* – Final de Frame) serve a dois propósitos: marcar o final do preâmbulo e marcar o final de cada campo de endereço do pacote *CEBus*, otimizando o envio de endereços menores que 32 bits, pois não é preciso transmitir os zeros não significativos dos campos de endereço.[1]

O símbolo EOP (*End of Packet* – Final de Pacote) serve para marcar o final do pacote transmitido e o início dos bits para a checagem de CRC.[1]

Temos então que uma mensagem no padrão do protocolo *CEBus* é formada pelos campos indicados na Figura 2.

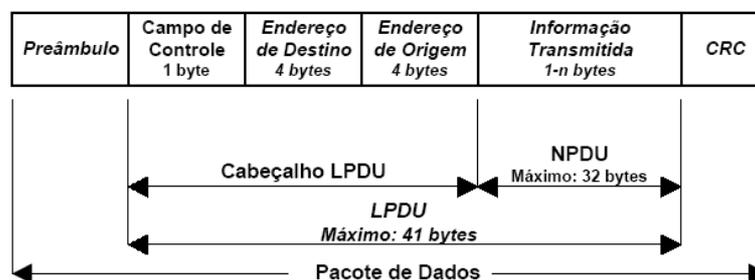


Figura 2 - Palavra de dados do protocolo *CEBus*

Onde o CRC é o código de correção de erros, dado pelo CRC-16.[1]

### 3.3 MODEM INTELLON SSC P485

O modem Intellon SSC P485 [2] é um modem PLC de tecnologia altamente integrada que utiliza espalhamento espectral como modo de comunicação afim de implementar produtos de rede de baixo custo.

Basicamente o mesmo é constituído de um bloco de modulação que utiliza espalhamento espectral, como já citado, um bloco para condicionamento do sinal e uma interface de comunicação. Poucos são os circuitos necessários para que o SSC P485 possa ser ligado a linha de alimentação CC (presente projeto), ou a qualquer outro meio de comunicação.

O fato de utilizar a transmissão da informação por espalhamento espectral lhe confere bastante confiabilidade em suas aplicações.

Na Figura 3 temos o diagrama de blocos do modem SSC P485.

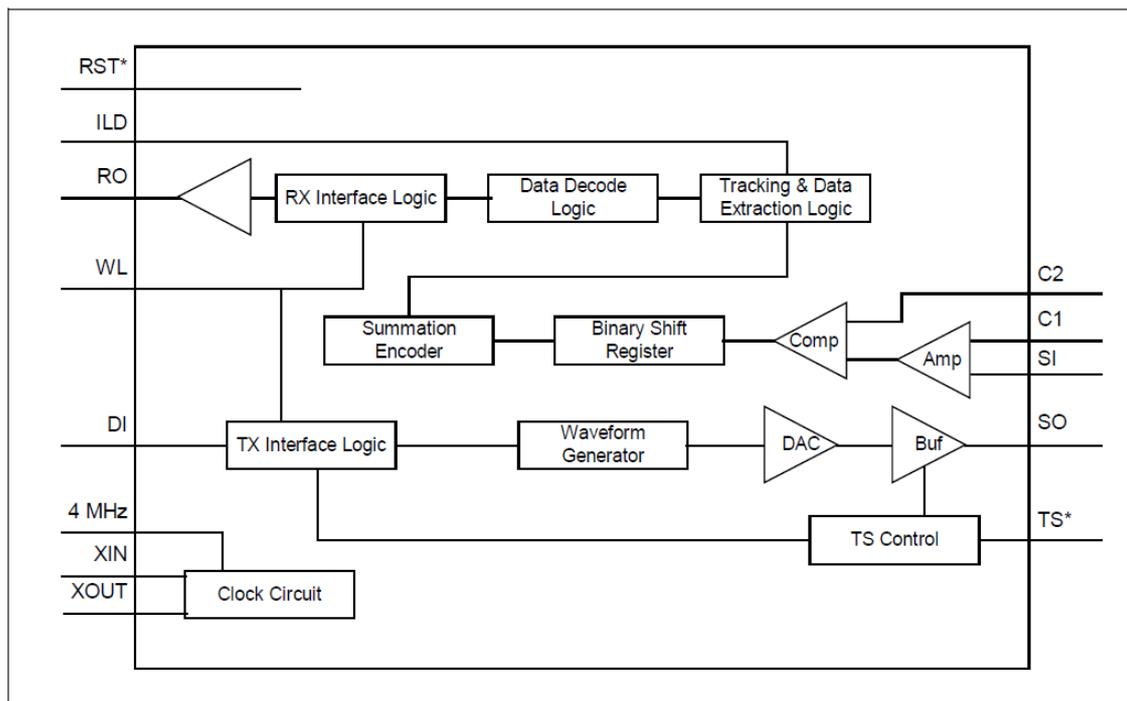


Figura 3 - Diagrama de blocos do modem SSCP485 da Intellon [2]

No diagrama da Figura 3 percebemos os mais diversos sinais que são utilizados para a comunicação e, na Tabela 2, temos a descrição de todos os pinos do modem.

Tabela 2 - Descrição dos pinos do modem SSC P485

Pino	Mnemônico	Nome	Descrição
1	4MHZ	4MHZ Relógio de Saída	Relógio de 4MHZ disponível para o microcontrolador
2	NC	Sem Conexão	
3	VSS <sub>D</sub>	Terra Digital	Terra digital de referência
4	XIN	Entrada do Cristal	Conectado ao relógio externo para excitar o relógio interno e o relógio digital
5	XOUT	Saída do Cristal	Conectado ao relógio externo para excitar o relógio interno e o relógio digital
6	VDD <sub>D</sub>	Fonte Digital	Fonte DC digital de 5V ± 10% com referência a VSS <sub>D</sub>
7	ILD	Detector de Linha Ociosa	Saída digital em nível alto. Estado lógico 1 indica 10 bits de tempo de linha ociosa.

			Estado lógico 0 indica detecção de portadora ou linha não ociosa
8	DI	Entrada Digital	Entrada Digital. Depois do preambulo um nível “baixo” do DI (espaço) transmite um estado superior <sup>2</sup> para o SO. Um nível alto (marcado) transmite um estado superior <sup>1</sup> para o SO.
9	RO	Saída para o Destinatário	Saída Digital. Após o preâmbulo e assumindo a polaridade padrão: se o estado superior <sup>1</sup> detectar um SI o pino RO irá ser uma marcado (nível alto), se o estado superior for detectado no SI o pino RO irá ser um espaço (nível baixo)
10	WL	Tamanho da Palavra	Entrada Digital. Lógica 1 (padrão) seleciona 10 bits em cada dado (Bit de inicio, 8 bits de dados, 1 bit de parada). Lógica 0, seleciona 11 bits em cada dado (Bit de inicio, 9 bits de dados, 1 bit de parada)
11	TS	<i>Tristate</i>	Saída digital de nível baixo. Habilita a saída externa do amplificador quando o <i>driver</i> estiver em nível alto. Faz com que o existam 3 estados no amplificador de saída externo quando o <i>driver</i> estiver em nível baixo.
12	RST	<i>Reset</i>	Entrada digital em nível baixo. Impede que o modem envie ou receba dados quando habilitado
13	VSS <sub>A</sub>	Terra Analógico	Terra analógico de referência
14	SO	Sinal de Saída	Sinal de saída analógico. O <i>tri-state</i> é habilitado com um sinal interno.
15	C2	Capacitor 2	Conecção para um capacitor de 680pF do pino para o terra
16	C1	Capacitor 1	Conecção para um capacitor de 680pF do

			pino para o terra
17	SI	Sinal de Entrada	Sinal analógico de entrada
18	VDD <sub>A</sub>	Fonte Analógica	Fonte DC digital de 5V ± 10% com referência a VSS <sub>A</sub>
19	TP0	Ponto de Teste 0	Pino reservado para teste
20	VSS <sub>D</sub>	Terra digital	Terra digital de referência

Como já mencionado são poucos os circuitos necessários para o funcionamento do modem SSC P485. No diagrama da Figura 4 é apresentada uma estrutura básica de um nó da rede, o qual foi utilizado para a confecção da Placa de Circuito Impresso (PCI) do modem Intellon que é apresentada na Figura 13.

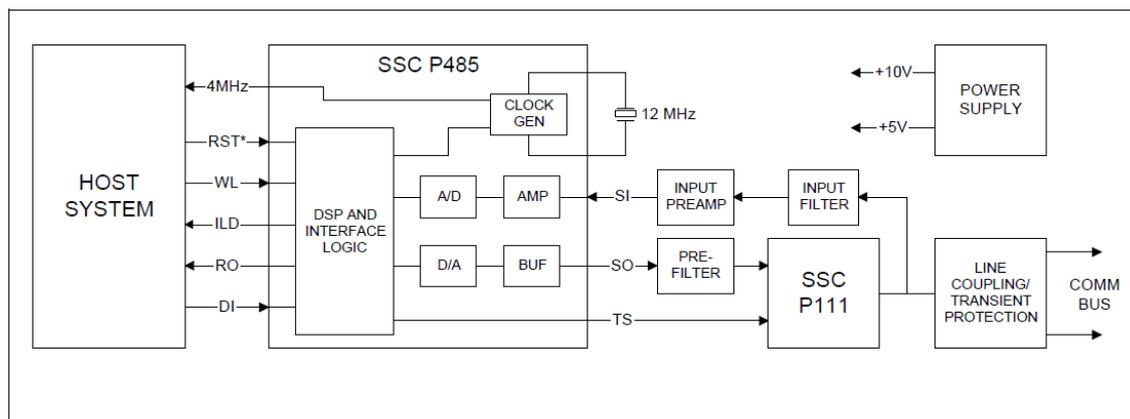


Figura 4- Diagrama de um nó da rede PLC [2]

São seis os sinais que trafegam entre o “*Host System*”, que para o caso do presente projeto é um microcontrolador da família PIC da Microship e o modem PLC, sendo três de controle (WL, ILD e RST) dois de dados (RO e DI) e um relógio que pode ser utilizado como oscilador do microcontrolador. Percebemos que os sinais de entrada e saída são amplificados e filtrados e que todo o acoplamento com a rede é realizado por circuitos externos que tem de ser adicionados.

É importante ainda fazer menção ao SSC P111[3] que é um *driver* utilizado pelo modem para fazer o condicionamento do sinal para a rede elétrica e junto a um conjunto de circuitos extras faz a proteção do modem contra variações bruscas na rede.

Para fazer o acoplamento com a rede utiliza-se um transformador com parte das especificações mostradas na Figura 5. Sua referência completa pode ser encontrada no *datasheet* de referência e projeto do modem SSC P485 [4].

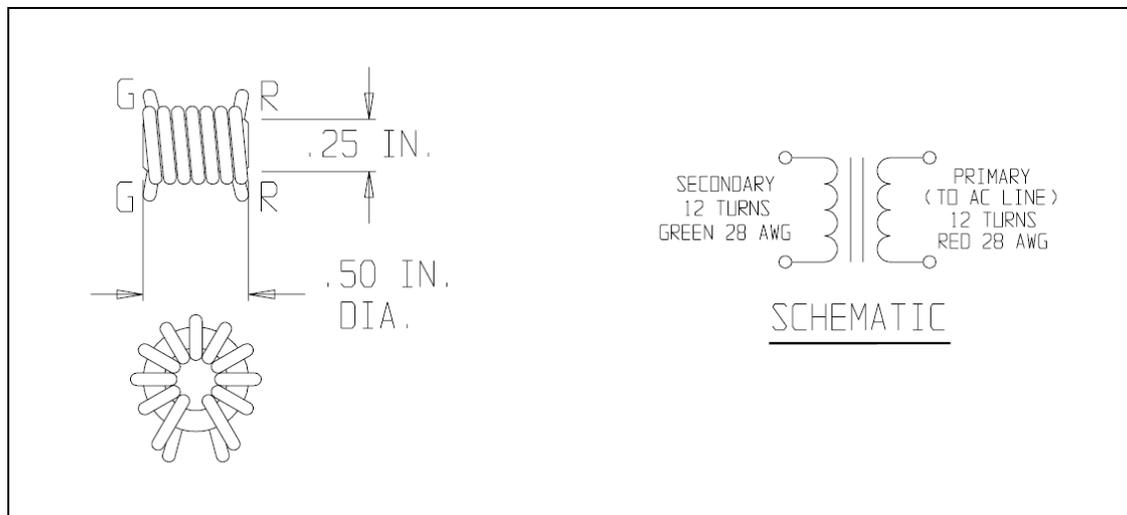


Figura 5 – Representação de um transformador de acoplamento

### 3.4 PAINEL FOTOVOLTAICO

Não é objetivo do trabalho desenvolver um modelo matemático do painel fotovoltaico, bem como um estudo aprofundado dos mesmo. Como o interesse é monitorá-los iremos detalhar apenas as características relevantes.

Um painel fotovoltaico tem como unidade básica constituinte a célula eletrolítica, que a partir da incidência de luz, “cria” uma tensão e uma corrente elétrica em sua saída, ou seja, a mesma tem por função a transformação de energia luminosa em energia elétrica, conhecido como efeito fotovoltaico e evidenciado pela primeira vez por Edmond Becquerel no ano de 1839 [5].

As principais características e parâmetros de um painel fotovoltaico são sumarizadas a seguir. Estas são determinadas a partir de condições padrões de teste (*standart test condition* ou STC), definidas pela norma IEC 61215, que especifica: i)  $1000 W/m^2$  de potência luminosa incidente total, ii) uma distribuição espectral de massa conhecida como massa de ar de 1,5 e iii) temperatura das células de  $25^{\circ}C$ . Os parâmetros são:

- Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ): Valor máximo da corrente de carga.

- Tensão de circuito-aberto ( $V_{oc}$ ): O máximo valor de tensão quando este estiver em aberto.
- Ponto de Máxima Potência ( $MPP$ ): Ponto em que o produto tensão por corrente em uma curva I-V fornece máxima potência.
- Corrente de máxima potência ( $I_{max}$ ): Corrente do painel para a condição de máxima potência.
- Tensão de máxima potência ( $V_{max}$ ): Tensão do painel para a condição de máxima potência.
- Temperatura normal de operação ( $NOCT$ ): Tendo em vista que o painel trabalha exposto ao sol o fabricante fornece a temperatura de operação normal da célula (*normal operating cell temperature*) a qual é medida com uma insolação  $800W/m^2$ ,  $20^{\circ}C$  de temperatura ambiente e velocidade do vento de  $1m/s$
- Fator de forma ( $FF$ ): Diz respeito a quanto a curva corrente versus tensão se aproxima de um retângulo, valores usuais estão entre 70 e 80%.

Tais características estão direta ou indiretamente ligadas com a influência da temperatura na operação dos painéis. Na Figura 6 e Figura 7 percebemos o efeito de aumentar ou diminuir a temperatura de um painel.

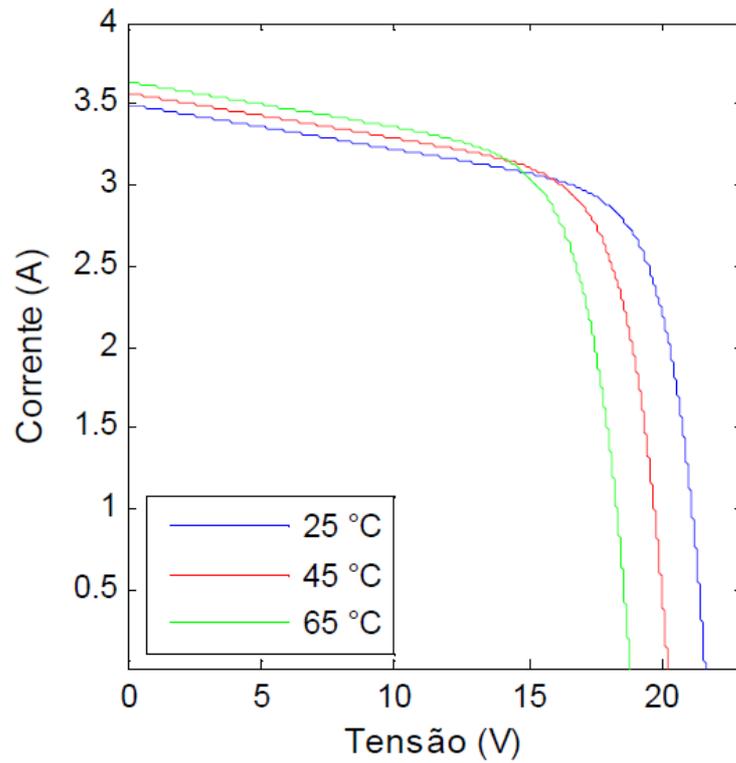


Figura 6 - Curva característica de corrente por tensão de um painel para várias temperaturas e radiação incidente de  $1000 \text{ W/m}^2$  [5]

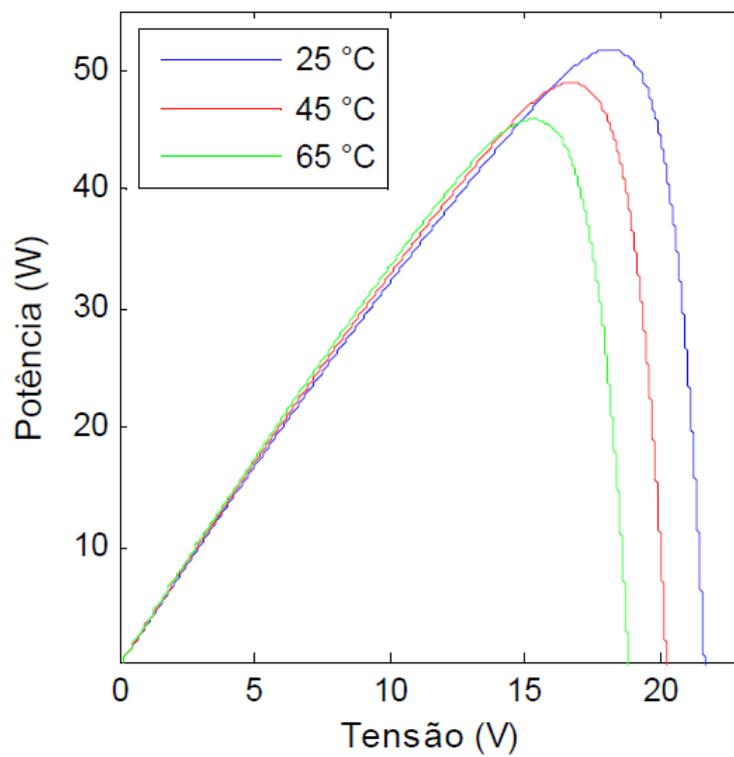


Figura 7 - Curva característica de potencia por tensão de um painel para várias temperaturas e radiação incidente de  $1000 \text{ W/m}^2$  [5]

Na Figura 6 temos que o aumento da corrente é diretamente proporcional ao da temperatura, enquanto que a tensão é inversamente proporcional a variação de temperatura.

Na Figura 7, por sua vez, percebemos que, bem como a tensão, a potência é inversamente proporcional ao aumento da temperatura.

É interessante fazer essa breve análise da importância da temperatura para que se possa justificar o sensoriamento deste parâmetro.

## 4 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto de tensão e temperatura dos painéis fotovoltaicos instalados no Laboratório de Eletrônica Industrial e Acionamento de Máquinas, pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande.

Os painéis fotovoltaicos a serem monitorados podem ser visualizados através da Figura 8 e Figura 9, as quais mostram o conjunto de painéis instalados bem como os compartimentos onde os cabos se juntam para descer ao compartimento principal (Figura 10), o qual contém terminais para ligação das cargas.



Figura 8 - Conjunto de painéis fotovoltaicos instalado na laje do LEIAM

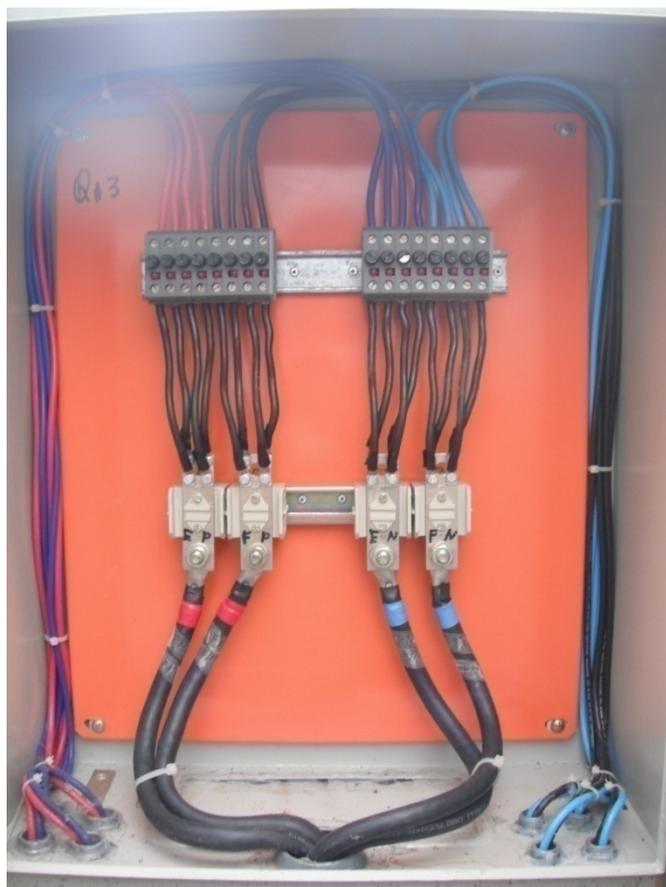


Figura 9 - Compartimento de junção dos cabos de um módulo fotovoltaico (4 painéis)



Figura 10 - Compartimento principal dos painéis (junção de todos os painéis fotovoltaicos)

O sistema aqui descrito pode ser visualizado através do diagrama de blocos da Figura 11, que retrata todas as partes envolvidas no projeto, bem como onde se situam no processo.

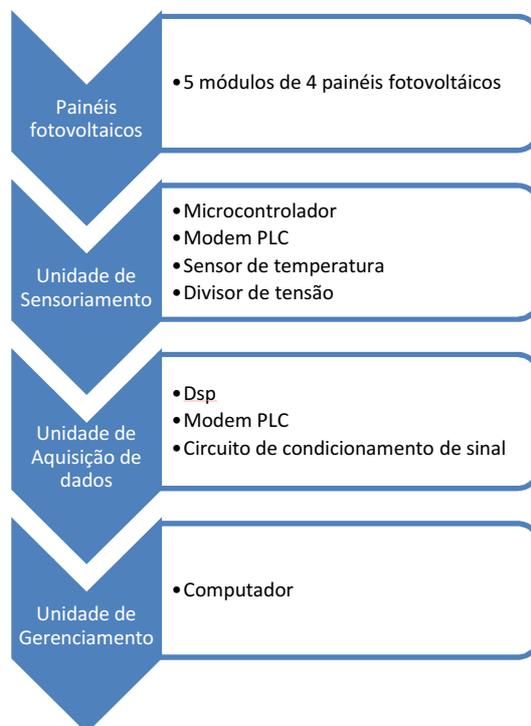


Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema de monitoramento dos painéis fotovoltaicos

Há uma placa de circuito impresso (PCI) desenvolvida por um aluno do curso de engenharia elétrica que pôde ser utilizada para teste e serviu como referência no desenvolvimento da PCI desenvolvida dentro do escopo desse trabalho. No diagrama apresentado na Figura 11, pode-se observar uma parte da unidade de sensoriamento. A PCI contendo o modem PLC, pertence ao projeto de pesquisa e desenvolvimento Elster e completa a unidade de sensoriamento junto com o sensor de temperatura e a estrutura do divisor de tensão.

A unidade de aquisição de dados é composta por um processador digital de sinais, uma PCI com o modem PLC, idêntica a da unidade de sensoriamento e mais alguns circuitos condicionadores de sinal para possibilitar a comunicação com a unidade de Gerenciamento. A unidade de aquisição tem por função receber os dados da unidade de sensoriamento e transmiti-los a unidade de Gerenciamento.

A unidade de Gerenciamento é composta apenas pelo computador com a finalidade de armazenamento dos dados coletados.

## 4.1 DESCRIÇÃO DO HARDWARE

O esquemático da placa de teste (unidade de sensoriamento) utilizado na transmissão dos dados de temperatura e tensão pode ser visualizado na Figura 12:

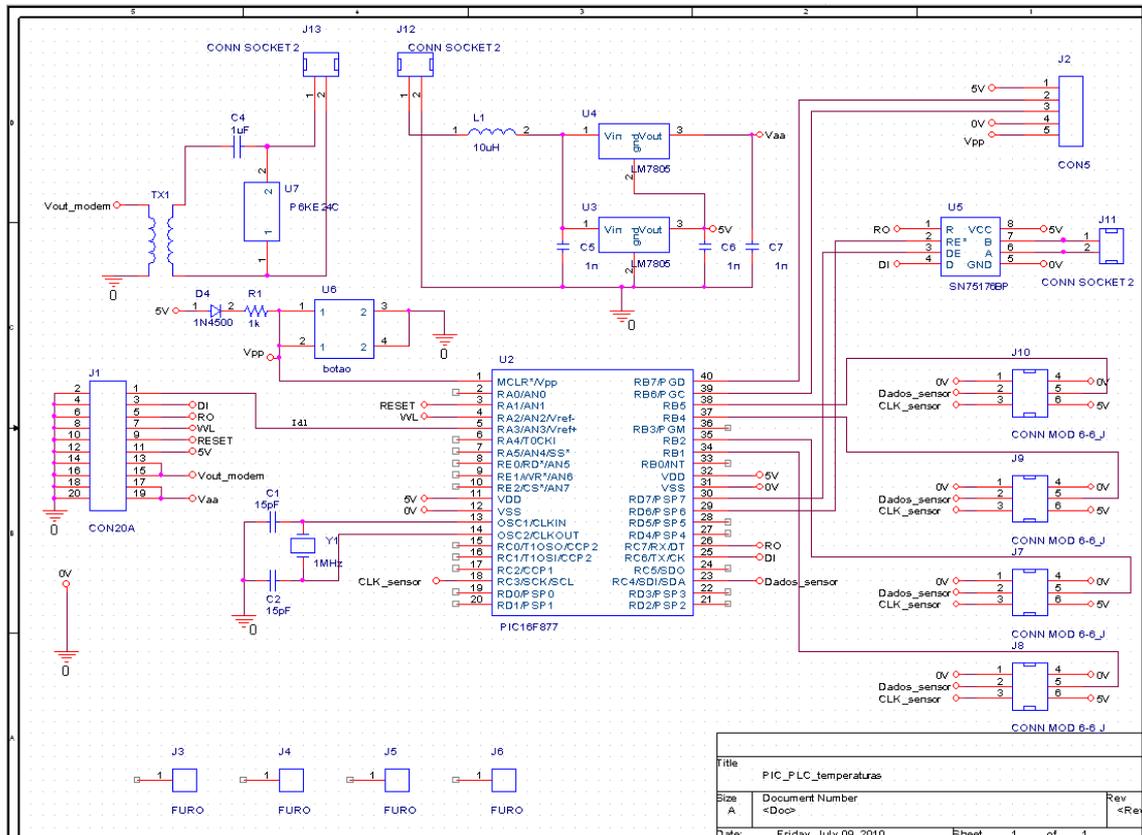


Figura 12 - Esquema da placa teste de comunicação com a rede PLC e modem Intellon

O esquemático da Figura 12 tem como principal elemento o microcontrolador PIC 16F877 da MICROSHIP [6] sendo este a unidade lógica responsável pela comunicação com os sensores instalados, bem como com a PCI responsável pelo tratamento do dado para envio via rede PLC.

O PIC 16F877, utiliza CPU RISC de alto desempenho, pode operar com um oscilador de 20MHz, o que faz com que cada ciclo de instrução tenha 200ns. Dentre as principais ferramentas periféricas temos:

- Timer0: contador de 8 bits com preescalador de 8bits;
- Timer1: contador de 16 bits com preescalador que pode ser incrementado durante o “SLEEP” com clock externo;

- Timer2: contador de 8 bits com registrador de tempo preescalonado e posescalonado;
- Duas capturas, um comparador e um módulo PWM
  - Captura de 16 bits, com máxima resolução de  $12,5ns$
  - Comparador de 16 bits com máxima resolução de  $200ns$
  - PWM com máxima resolução de 10 bits.
- Possui 8 canais para o conversor A/D;
- Porta Serial Síncrona (SSP) com SPI (modo Mestre) e  $I^2C$  (mestre/escravo);
- USART/SCI com 9 bits de detecção de endereço;
- Porta paralela (PSP) com 8 bits;
- Circuitos de detecção de *Brown-out* para o *Brown-out reset*.

Para medição da temperatura adotou-se a solução baseada no sensor LM35, posto que o mesmo é um sensor de precisão para a medição de temperatura que possui uma resposta linear em graus Celsius com uma precisão de  $0,5^{\circ}C$ , o que para a aplicação em questão é bastante aceitável, por não se tratar de uma aplicação crítica

Dentre as principais características do sensor LM35 destaca-se:

- Calibrado diretamente em graus Celsius;
- Resposta linear com  $10mV/^{\circ}C$  como fator de escala;
- Faixa de aplicação de  $-55^{\circ}C$  a  $150^{\circ}C$ ;
- Conveniente para aplicações remotas;
- Opera entre 4 e 30 volts;
- Drena menos que  $60\mu A$ ;
- Baixa impedância de saída;
- Não linearidade típica na faixa de  $\pm 1/4^{\circ}C$ .

Para a medição de tensão utilizou-se a estrutura de um divisor de tensão para adequar a tensão de saída dos painéis fotovoltaicos para uma tensão entre 0 e  $5V$ , a qual o microcontrolador pudesse suportar. A escolha de utilizar um divisor de tensão em oposição a um sensor para verificar a tensão deveu-se a simplicidade de se realizar tal

estrutura, bem como o custo reduzido e resposta suficiente para os propósitos de utilização dos painéis.

A PCI da unidade de sensoriamento encontrava-se em mau estado de conservação, com algumas trilhas rompidas, o que demandou algum esforço para a correção e, mesmo essa, deixa um pouco a desejar, quando comparamos com uma placa sem nenhum *jump* (ligações extras feitas por sobre a placa).

Um outro ponto relevante é que o esquemático da maneira como está, acaba por inutilizar os pinos 3, 4 e 5 do microcontrolador para controlar o modem PLC, entretanto, na estrutura como o projeto foi concebido, estes pinos não podem ser utilizados, tendo em vista que são do conversor A/D e portanto, devem ser usados para adquirir dados dos sensores.

A placa contendo o esquemático do modem Intellon, bem como os circuitos necessários ao seu funcionamento podem ser vistos na Figura 13. O circuito segue o projeto de referência disponibilizado pela Intellon. Este circuito de referência foi modificado para comportar as mudanças relativas a interface de comunicação com o microcontrolador PIC.

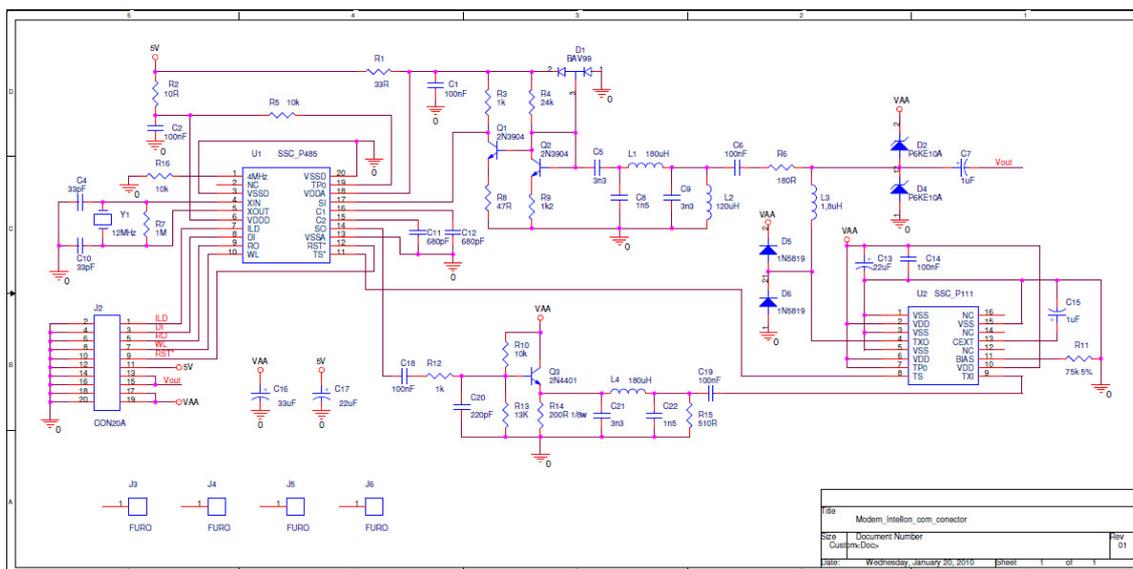


Figura 13 - Esquemático da PCI contendo o modem PLC Intellon

Na unidade de aquisição de dados, a qual se conecta ao DSP, são utilizadas duas placas. Uma placa de modem PLC Intellon, cuja função é recuperar a informação transmitida através da rede PLC, bem como isolar o circuito contendo o modem PLC. A segunda possui um chip HIN232 [7], que tem por função converter o sinal serial no formato TTL (0 lógico – 0V, 1 lógico – 5V) para o padrão RS232 (0 lógico – 3V a 12V, 1 lógico – -3V a -12V). Essa conversão é necessária porque se está utilizando uma porta

serial RS232 no DSP para recepção dos dados. Os esquemáticos de ambas as placas pode ser visualizados na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

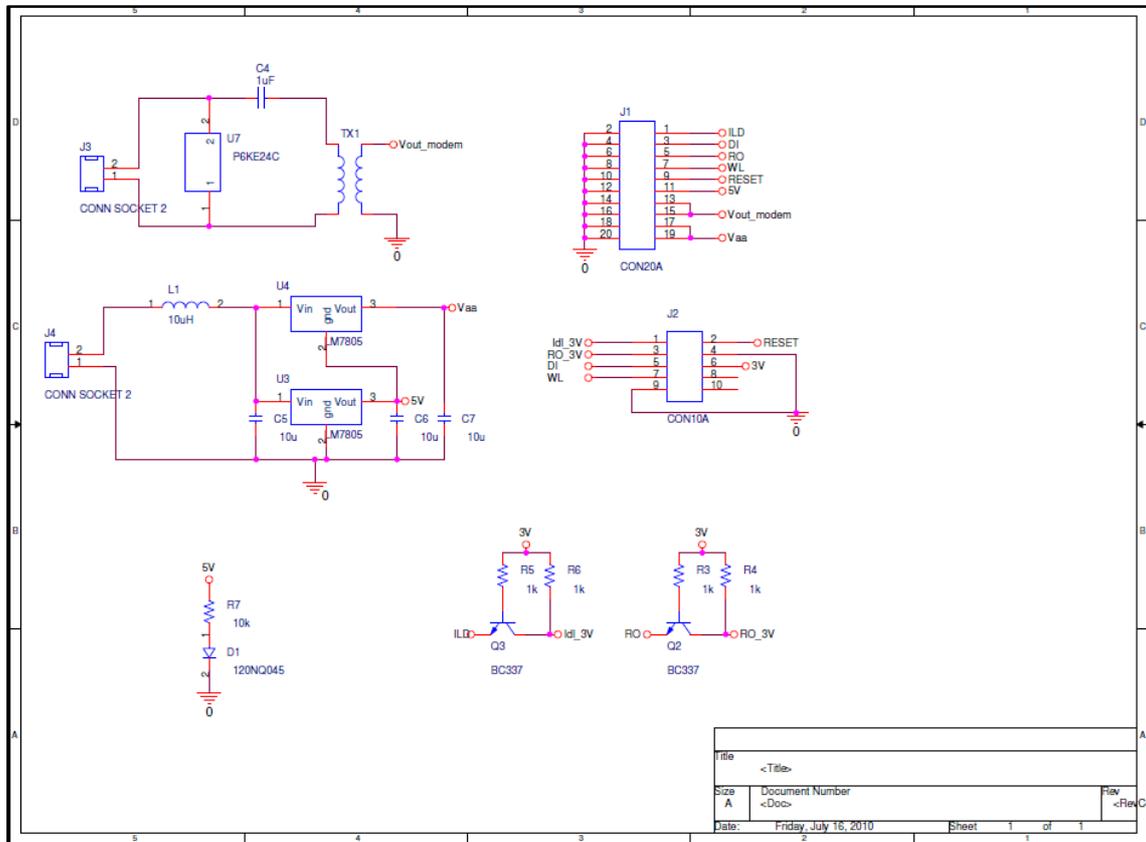


Figura 14 – Representação da placa de aquisição do dado via rede PLC

O DSP TMS320F28335 é utilizado para adquirir os dados proveniente de vários sensores, neste projeto o mesmo foi utilizado para coletar os dados de tensão e temperatura dos painéis. Os dados recebidos são retransmitidos para um PC onde os mesmo são armazenados em arquivo. O processamento dos dados no DSP, para implementação de estratégias de gerenciamento dos painéis fotovoltaicos não é objeto do presente trabalho.

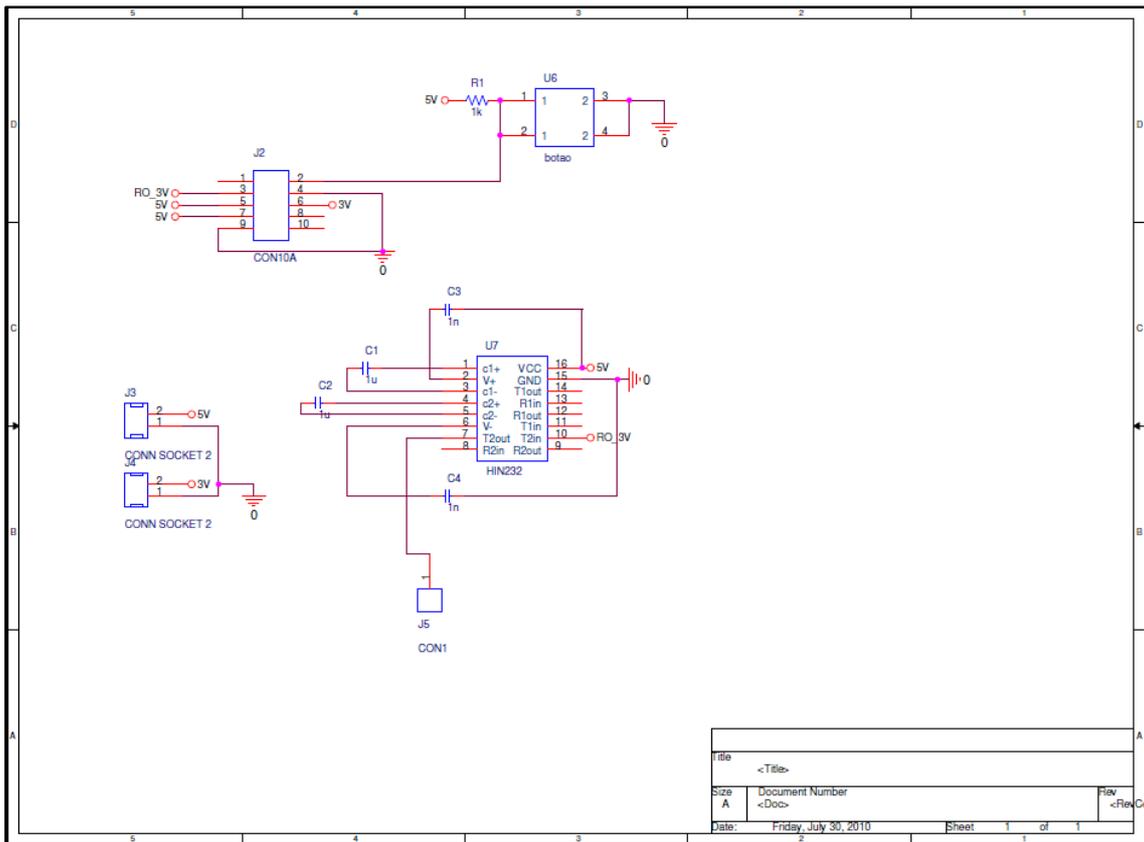


Figura 15 – Representação da PCI MAX232

## 4.2 DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

Como informado anteriormente o *software* embarcado no DSP, não é objeto de estudo do presente projeto, o mesmo foi modificado de modo que os dados enviados a ele via porta serial fossem repassados a unidade de gerenciamento. O *software* da unidade de gerenciamento também não é objeto de estudo deste projeto. Para fins de avaliação funcional do sistema, foram utilizados *softwares* de monitoramento da porta serial, os quais permitiram observar o fluxo de dados recebidos/transmitidos através da mesma.

O programa embarcado no microcontrolador tinha por função a gerência dos sensores, de modo que cada sensor tivesse um canal de comunicação próprio e tivesse seus dados recebidos separadamente em períodos pré-definidos.

Para tanto utilizou-se as portas A/D, que no caso do microcontrolador PIC 16F877 é a porta A, para o recebimento dos dados dos sensores. A interrupção do

TIMER1 seleciona o momento em que cada canal pode processar a mensagem analógica, este período de mudança de canal foi definido como sendo de aproximadamente 2,5s. O ajuste do tempo de amostragem pode ser modificado de acordo com a necessidade da planta/processo monitorado. Caso queira-se um tempo de 1s, por exemplo, ajustasse o Timer1 para tal.

A Figura 16 mostra um fluxograma sobre o funcionamento do programa. O código do mesmo pode ser visualizado no anexo a este documento.

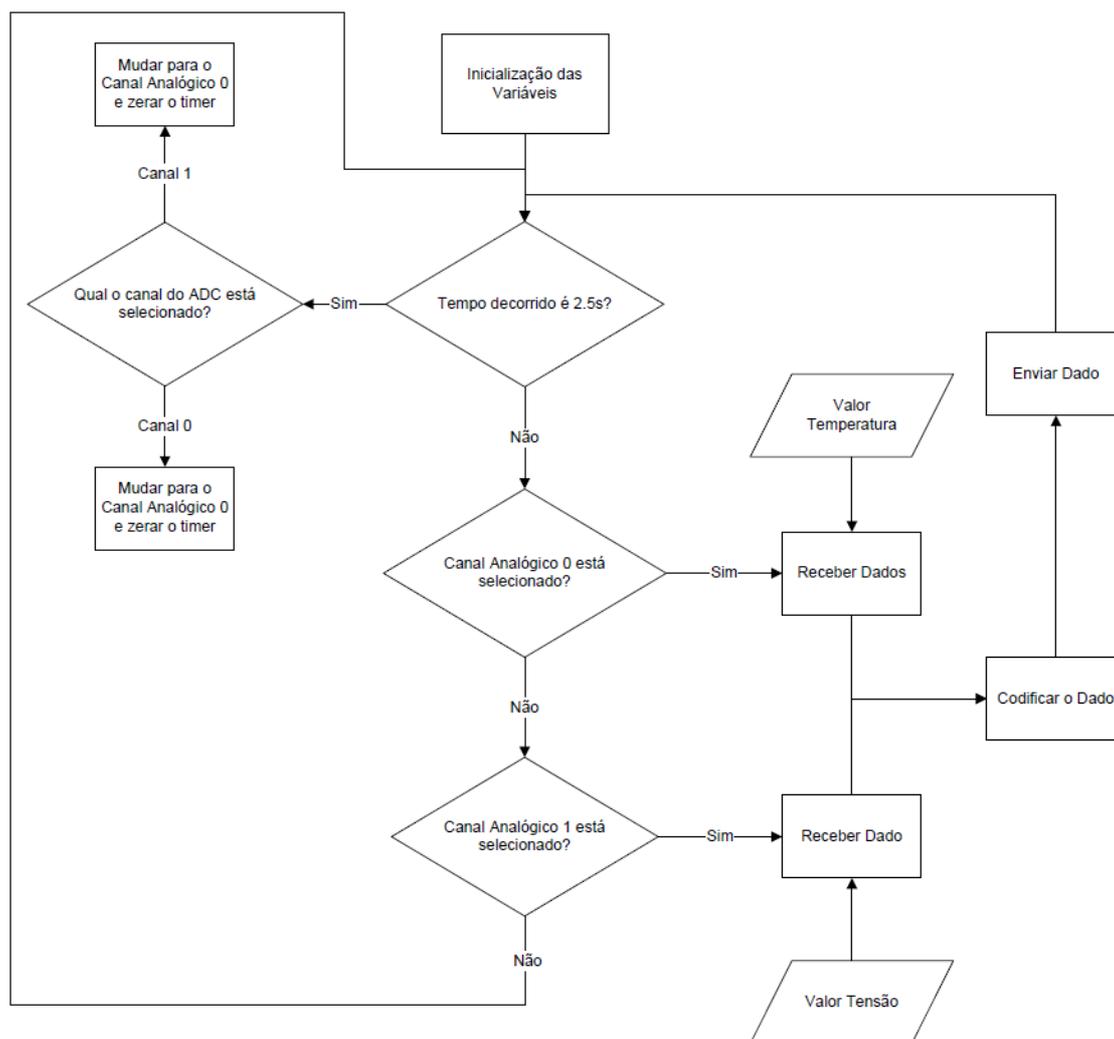


Figura 16 - Fluxograma do programa do microcontrolador

Foi criado um protocolo de comunicação entre o microcontrolador e o DSP, de modo que as informações pudessem ser padronizadas e a aquisição por parte da unidade de gerenciamento fosse realizada com uma mesma lógica. Na Tabela 3 temos o modelo da informação que o protocolo define.

Tabela 3 - Protocolo de comunicação entre o microcontrolador e o DSP.

Campos do Protocolo	Sincronismo	Identificador do painel	Identificador do Dado	Dado (parte inteira)	Dado (parte decimal)
Tipo de dado	Hexadecimal Valor: 0x55	Hexadecimal Valor: Variando de 0 ao número de painéis	Hexadecimal Valor: Para Temperatura 0x54 Para Tensão 0x56	Hexadecimal Valor: Variando 0 a 255	Hexadecimal Valor: Variando de 0 a 99

No protocolo utilizamos o valor 0x54 e 0x56 para o byte de identificação do dado, posto que em codificação ambos significam as letras “T” e “V”, fazendo uma analogia com os dados de temperatura e tensão respectivamente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Afim de testar o funcionamento do sistema como um todo instalamos a unidade de aquisição de dados em um dos painéis fotovoltaicos, e foi feito um acompanhamento do recebimento desses dados na unidade de gerenciamento, através da observação dos dados recebidos pela porta serial do PC conectada a porta serial do DSP.

Como mostrado no diagrama de blocos da Figura 11, os dados são adquiridos pelo microcontrolador que os envia ao modem PLC. O dado enviado ao Modem PLC para a codificação para transmissão via rede PLC pode ser visto no sinal capturado na tela do osciloscópio, apresentado na Figura 17. Trata-se de um sinal serial, transmitido segundo o formato do padrão RS232, o qual inicia um byte com um “START BIT”, nível lógico 0, apresenta 8 bits de dados, nesta configuração não é utilizada a paridade e fechando o byte, é enviado um “STOP BIT”, nível lógico 1

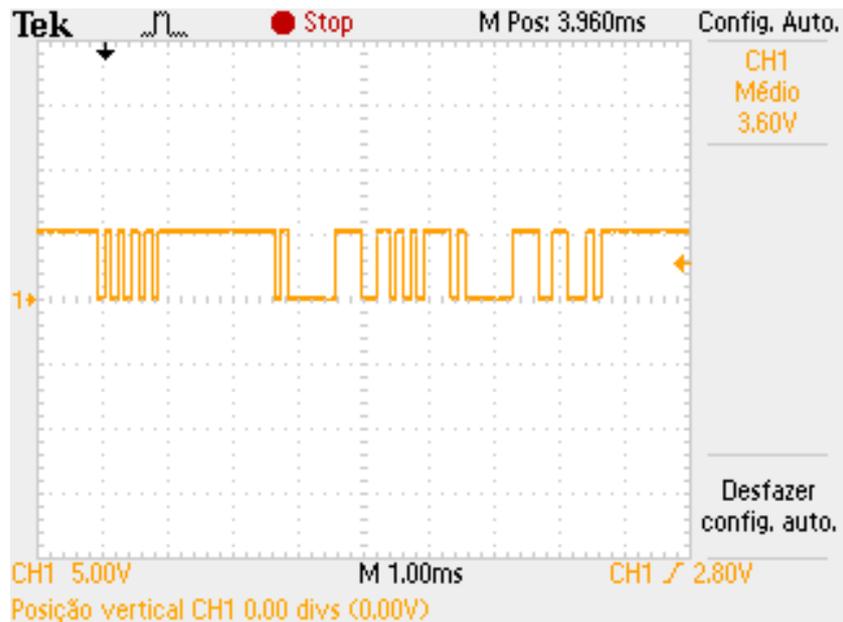


Figura 17 - Dado serial do microcontrolador para o modem PLC

Após a codificação o dado é enviado a rede PLC o qual após a modulação pode ser visualizado através do sinal capturado na tela do osciloscópio, apresentado na Figura 18.

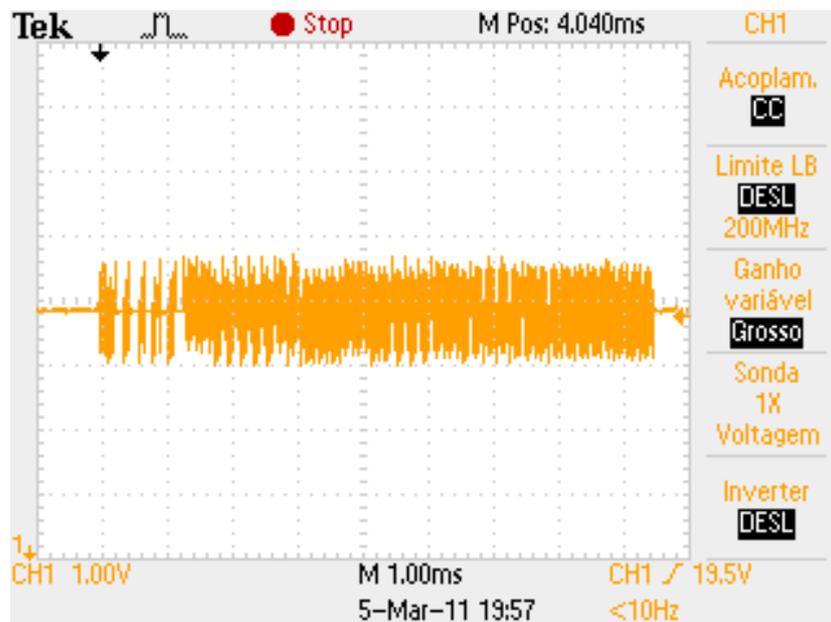


Figura 18 - Dado modulado enviado à rede PLC

O pacote de dados é então modulado e injetado no cabo de força dos painéis fotovoltaicos. Ao atingir o modem PLC da unidade de aquisição de dados, como pode ser visto através do sinal capturado na tela do osciloscópio, apresentado na Figura 19, o mesmo é demodulado e os dados transmitidos são recuperados.

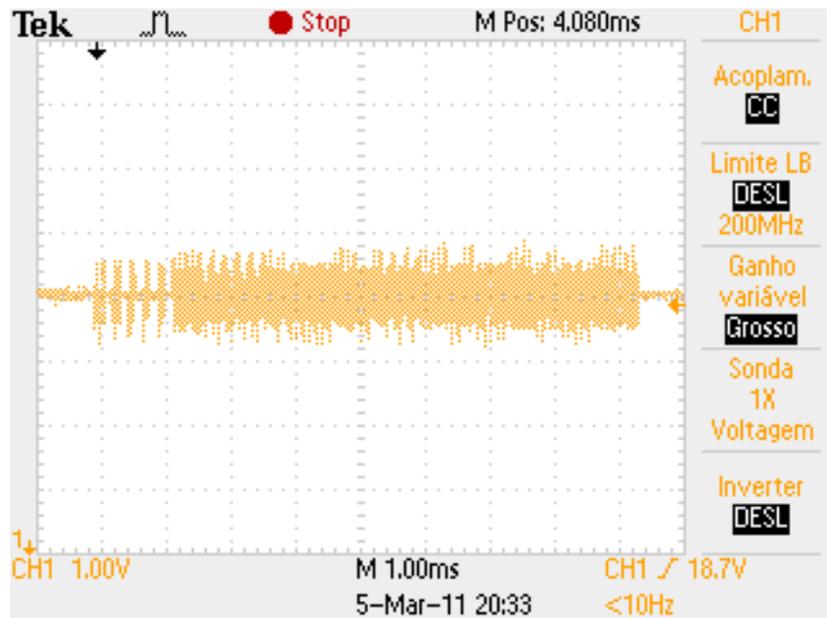


Figura 19 - Dado modulado recebido pela unidade de aquisição de dados.

Percebemos através de uma comparação entre a Figura 18 e a Figura 19 que a amplitude do sinal recebido é menor que a amplitude do sinal transmitido, o que já era esperado em função da atenuação da própria rede, entretanto, essa atenuação não compromete a comunicação entre a unidade de sensoriamento e a unidade de aquisição de dados. É importante ressaltar que os sinais modulados observados nas figuras 17 e 18 não representam o mesmo pacote transmitido, ou seja, os sinais foram adquiridos em instantes distintos, entretanto, a comparação entre os sinais é válida posto que as amplitudes dos sinais visualizados mantinham a mesma média de amplitude apresentada.

O dado após a demodulação e já no padrão RS232 pode ser visualizado através do sinal capturado na tela do osciloscópio, apresentado na Figura 20.

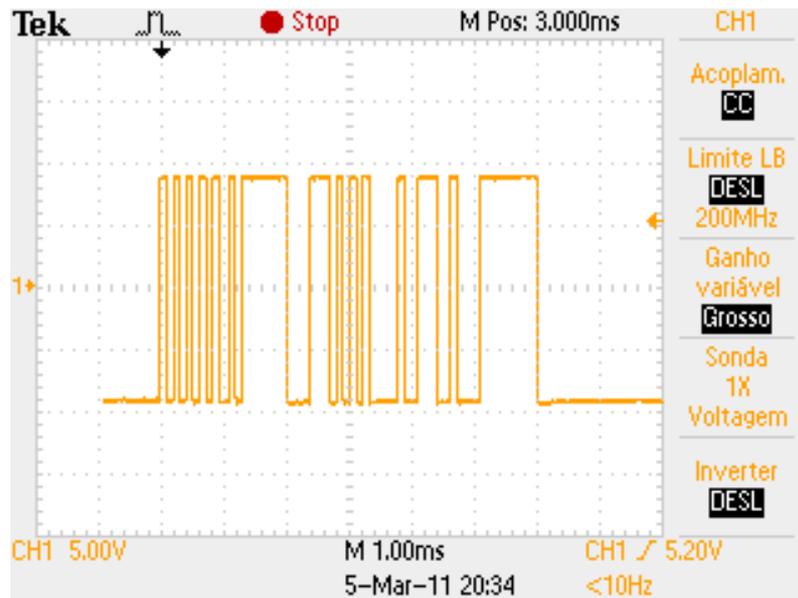


Figura 20 - Dado enviado ao DSP

Os dados recebidos pelo DSP e retransmitidos ao computador, que representa a unidade de gerenciamento são visualizados em um software de monitoramento da porta serial do computador. Um exemplo de dois dados recebidos, um de temperatura e outro de tensão é mostrado na Figura 21. Os bytes marcados em azul simbolizam o tipo de dado, se temperatura (byte 0x54) ou tensão (byte 0x56), no caso exemplo mostrado temos que o primeiro dado será de temperatura e o segundo de tensão. Os bytes marcados em vermelho representam a parte inteira do dado em codificação hexadecimal, enquanto que os marcado em verde simbolizam a parte decimal do dado, também em codificação hexadecimal.

Para o caso da Figura 21 o dado de temperatura 0x2C e 0x00, representa em codificação decimal 44 e 00, respectivamente e logo temos a temperatura de 44°C, para tensão temos 0x12 e 0x1E que em decimal é 18 e 30, respectivamente e portanto a tensão será de 18.30V.

55 01 54 2C 00 55 01 56 12 1E

Figura 21 - Exemplo de dado visto na porta serial do computador

Tomando que estávamos em um dia quente e que o horário da medição foi por volta das 11 horas, percebemos que temos um resultado coerente. A temperatura encontra-se um pouco elevada se comparada com a temperatura ambiente normal, entretanto a superfície de absorção dos painéis é escura e, portanto, tende a reter o calor.

O acompanhamento dos dados mostrou algumas medições inconsistentes que acreditamos ser causada pelo funcionamento inconstante da placa contendo o microcontrolador.

Ainda em laboratório, quando o sistema utilizava uma fonte CC para realizar a alimentação do circuito, bem como meio de comunicação com a unidade de aquisição de dados, nenhum erro foi encontrado quanto aos dados que eram enviados a unidade de gerenciamento, todavia por diversas vezes a placa com o microcontrolador tinha de ser reinicializada por que parava de funcionar.

A Figura 22 mostra um dado incoerente. De modo semelhante ao dado da Figura 21 temos que a marcação azul em volta do byte simboliza o tipo de dado, a marcação em vermelho representa a parte inteira, enquanto que a em verde a parte decimal.

55 01	54 20 00	55 01	56 02 07	55 01	54 D4 00	55 01	56 13 63
	1º dado		2º dado		3º dado		4º dado

Figura 22 - Dado incoerente

Realizando a conversão dos dados para números decimais teremos:

- 1º dado: 0x54 (temperatura); 0x20 (32); 0x00 (0) logo o dado é 32°C
- 2º dado: 0x56 (tensão); 0x02 (2); 0x07 (7) logo o dado é 2.7V
- 3º dado: 0x54 (temperatura); 0xD4 (212); 0x00 (0) logo o dado é 212°C
- 4º dado: 0x56 (tensão); 0x13 (19); 0x63 (99) logo o dado é 19.99V

Neste exemplo temos uma temperaturas de 32°C e 212°C e tensões de 2V e 19.99V, o que mostra resultados incoerentes para o 2º e 3º dado.

Avaliações a cerca da do pleno funcionamento da placa estão sendo realizadas, bem como mecanismos de detecção e eliminação de dados inconsistentes.

## 6 CONCLUSÃO

Apesar de todos os empecilhos encontrados podemos concluir que o sistema funciona corretamente, entretanto é fato a necessidade de desenvolver uma nova PCI

para a unidade de sensoriamento que se adéqüe plenamente as especificações do projeto, posto das restrições que a mesma apresenta, ou seja, que os pinos conversor A/D estejam disponíveis para ligação de sensores. O que de fato irá fazer com que mais painéis sejam monitorados.

Como os painéis encontravam-se em aberto, ou seja, sem nenhuma carga ligada, onde nesta condição não se verificam fontes adicionais de atenuação, nem de ruído, o protocolo básico de comunicação apresentou desempenho adequado, no entanto, a adoção de protocolos mais robustos, que implementem algoritmos de correção de erros, bem como mecanismos que identifiquem a entrega dos pacotes de dados aos destinatários e possibilidade de retransmissão de dados, são indicados para as aplicações em que a técnica de comunicação PLC seja empregada..

Por fim acreditamos que o trabalho atingiu seu objetivo indo além das expectativas da proposta apresentada anteriormente, que mencionava apenas o monitoramento de temperatura, posto da inclusão da parte de monitoramento da tensão.

Algumas melhorias devem ser realizadas como a identificação e exclusão de dados incoerentes afim de que o sistema se torne mais confiável.

## BIBLIOGRAFIA

1. DUQUE, C. A. **Transmissão de Dados em Redes Elétricas**. Juiz de Fora. 2001.
2. INTELLON. **Powerline**. [S.l.]: [s.n.], 2000.
3. INTELLON. **SSC P111 PL Media Interface IC**. [S.l.]: [s.n.], 2000.
4. INTELLON. **SSC Hardware Design Reference**. [S.l.]: [s.n.], 2000.
5. SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital**. Belo Horizonte-MG: UFMG, 2009.
6. MICROSHIP. PIC16F87X Data Sheet 28/40 pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrllers. **Microship**. Disponível em: <[ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf)>. Acesso em: 10 Março 2011.
7. INTERSIL. HIN232, HIN236, HIN237, HIN238, HIN239, HIN240, HIN241 Data Sheet, 2003. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=H1N232>>. Acesso em: 10 Março 2011.
8. CARVALHO, A. H. R. Projeto Vila Digital de Barreirinhas - A EVOLUÇÃO DE UMA IDÉIA. **VIII Seminário PLC Porto Alegre**, 2007.

## ANEXO A – PROGRAMA DO MICROCONTROLADOR

```

#include <16F877.h>
#define adc=10
#include delay(clock=14745600)
#define fuses NOWDT,HS, PUT, NOPROTECT, BROWNOUT, NOLVP, NOCPD, NOWRT,
NODEBUG
#include rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

#define ZERO_RAM

#define fatorTensao 1.955 // Fator de correção da resposta do conversor AD
//para tensão *100, ou seja, sem casa decimal, mas com precisão decimal
void codificador(int16, int8, int8);

int8 DadoPLC[5];
int8 DadoBuffer;
int1 flagBuffer = 0;
int8 ChangeChannel = 0;
int1 flagChannel_0 = 0;
int1 flagChannel_4 = 0;
unsigned int16 timerfChan = 0;

#define int_TIMER1
TIMER1_isr()
{
// O timer 1 é usado para definir qual porta analógica será utilizada.
timerfChan++;
}

#define int_RDA
void RDA_isr(void)
{
DadoBuffer = getc();
flagBuffer = 1;
}

void main()
{
// Declaração das variáveis
unsigned int16 temperatura;
unsigned int16 tensao;
//unsigned int contPLC;

setup_adc_ports(ALL_ANALOG);

```

```

setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(FALSE);
setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);setup_wdt(WDT_1152MS);
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(GLOBAL);

output_high(PIN_A1);
DadoPLC[0] = 0x55;
while(1)
{
    set_timer0(0);

    if(timerfChan == 25 && ChangeChannel == 1)
    {
        flagChannel_4 = 1;
        ChangeChannel = 0;
        timerfChan = 0;
    }

    if(timerfChan == 25 && ChangeChannel == 0)
    {
        flagChannel_0 = 1;
        ChangeChannel++;
        timerfChan = 0;
    }

    if(flagChannel_0)
    {
        set_adc_channel(0);
        delay_us(10);
        // OBS: cada 2 unidades do conversor AD corresponde a 1 grau Celcius do LM35
        temperatura = read_adc()/2;
        temperatura = (temperatura*100);
        codificador(temperatura , 1, 0x54);
        flagChannel_0 = 0;
    }

    if(flagChannel_4)
    {
        set_adc_channel(4);
        delay_us(10);

        tensao = (int16)((read_adc()*fatorTensao));
        codificador(tensao , 1, 0x56);
    }
}

```

```

        flagChannel_4 = 0;
    }

}

}

void codificador (int16 Dado, int8 Painel, int8 Identificador_Dado)
{
    int8 contPLC;
    int8 DadoInteiro;
    int8 DadoDecimal;
    int16 Dado_teste;
    //-----//
    //-----Protocolo de Comunicacao-----//
    //-----//
    // Sincronismo | Identificador do Painel | Identificador do Dado | Dado | //
    //-----//

    //-----Legenda-----//

    //Sincronismo = 0xAA

    //Identificador do Painel
    /*
    Painel 1 = 1
    Painel 2 = 2
    Painel 3 = 3
    Painel 4 = 4
    Painel 5 = 5
    */
    //Identificador do Dado
    /*
    Temperatura = 0x54 ***codigo ascii do T - Temperatura
    Tensao = 0x56 ***codigo ascii do V - Volts
    */

    //Dado
    //Depende do Identifador, mas será um número inteiro.

    DadoInteiro = (int8)((Dado/100));

    DadoDecimal = (int8)(Dado%100);

    DadoPLC[0] = 0x55;
    DadoPLC[1] = Painel;
    DadoPLC[2] = Identificador_Dado;
    DadoPLC[3] = DadoInteiro;
    DadoPLC[4] = DadoDecimal;
}

```

```
for(contPLC = 0; contPLC<5; contPLC++)
{
    putc(DadoPLC[contPLC]);
    while((flagBuffer == 0) || (DadoPLC[contPLC]!= DadoBuffer));
    flagBuffer = 0;
}
}
```