

SUPERNOVA 1987 A

DEZOITO MESES DE OBSERVAÇÕES

Tasso Augusto Napoleão - REA/SP

ABSTRACT

This article summarize the observations of SN 1987 A made by the author during period from February 1987, through September, 1988. Ninety-eight visual magnitudes estimates are provided, together with some raw data is compared with information from the IAU circulars, as Historical aspects and general comments on SN 1987 A's peculiar behavior complete the text.

1. SUMÁRIO.

No presente texto, procuramos descrever nossas observações da SN 1987 A, no período entre fevereiro de 1987 até setembro de 1988. Um total de 98 estimativas da magnitude deste objeto foram realizadas pelo autor ao longo deste intervalo de tempo. Observações complementares, como a evolução da cor da SN, são também mencionadas. Uma comparação com os dados de diversos outros observadores (principalmente australianos, neozelandeses e sul-africanos), obtida através da compilação das circulares da União Astronômica Internacional, é também incluída. As conclusões obtidas de nossa curva de luz, bem como algumas reduções feitas sobre os dados brutos, são aqui apresentadas. Finalmente, aspectos genéricos sobre a SN, assim como de natureza histórica, complementam o texto, a título de introdução.

O trabalho atual complementa ainda nosso artigo "Fotometria Visual Preliminar da SN 1987 A", publicado em junho de 1987 (Ref. 12), e que abrangia na época as observações correspondentes aos 100 primeiros dias subsequentes a explosão da supernova.

2. INTRODUÇÃO.

2.1. Supernovas Históricas.

Diversas são as referencias a explosões de supernovas galacticas em séculos passados. No entanto (e principalmente nas SN observadas na antiguidade) existem controvérsias, geradas por diferentes culturas e idiomas, calendários, inconsistências e - principalmente - pelo desconhecimento da distinção que hoje fazemos entre novas e supernovas. Dessa forma, não há um consenso absoluto da comunidade astronômica sobre os relatos de supernovas históricas.

Clark e Stephenson, em 1977 (ref. 4) mencionam a existência comprovada de cinco SN em nossa galáxia, todas ocorridas no último milenio. Em trabalho mais recente, de 1987, R. Genet, D. Genet, D. Hall e D. Haves (ref. 6) consideram a ocorrência de seis SN galacticas. A essas deve ser adicionada uma SN que explodiu em Cassiopeia, em fins do século XVII ou início do século XVIII e que, apesar de não ter sido percebida visualmente, pode ser identificada recentemente através de seus remanescentes (a radiofonte Cassiopeia A).

Assim, parece haver convergência de opiniões em que ao menos sete desses eventos tenham ocorrido em nossa galáxia e tenham registros históricos comprovados nos séculos passados. Estas supernovas históricas são descritas na Tabela I.

TABELA I - SN HISTÓRICAS

DATAMAGNITUDE		CONSTELAÇÃO	DURAÇÃO (meses)	OBSERVAÇÕES
185 DC	-8	Centaurus	20	
1006	-9.5	Lupus	30	
1054	-5	Taurus	22	Neb. Caranguejo
1181	0	Cassiopeia	6	
1572	-4	Cassiopeia	18	SN de Tycho
1604	-3	Ophiucus	12	SN de Kepler
1667	5 ?	Cassiopeia	?	Sem obs. visual

É provável que esta lista venha a ser enriquecida nos próximos anos. Em artigo publicado em 1973, (ref. 18), F.R. Stephenson enumera sete outras “candidatas”, ou seja, “estrelas novas” cuja observação consta de registros históricos (principalmente chineses e Japoneses), porém que ainda não possuem os correspondentes remanescentes de SN identificados. Um trabalho posterior, principalmente dos radioastrônomos, se faz necessário para a confirmação dessas possíveis supernovas.

Não descreveremos aqui, para não estender por demasiado este trabalho, as descobertas de SN extragalácticas e as técnicas que atualmente tem sido usadas para essa finalidade. Aos interessados recomendamos a leitura da referência 20 de autoria de Fritz Zwicky. Foi este astrônomo, auxiliado por Baade, Minkowski e outros, que iniciou em 1936 a busca de SN extragalácticas. A primeira delas foi identificada em 1937 e hoje, após mais de 50 anos de buscas, já se registraram mais de 500 SN extragalácticas (algumas dezenas descobertas por amadores).

2.2. DESCOBERTA DA SN 1987 A.

É fato conhecido que a SN 197 A foi descoberta por Ian Shelton, um astrônomo canadense que trabalha como Astrônomo Residente no UTSO (University of Toronto Southern Observatory). O UTSO possui um telescópio refletor de 60 cm, localizado no sítio do observatório de Las Campanas (Chile), graças a um acordo entre a universidade de Toronto e a Carnegie Institution, que mantém a estação austral de Las Campanas. Na noite da descoberta, Shelton havia pedido a utilização do astrógrafo pertencente ao grupo da estação austral de Mt. Wilson (que compartilha o sítio com o UTSO), para realizar algumas placas da Grande Nuvem de Magalhães (GNM).

Shelton iniciou a exposição precisamente a 01:20 TU de 24 de fevereiro de 1987. Às 04:20 TU, a exposição foi encerrada. Nesse interim, o assistente noturno do telescópio de 100 cm (Oscar Duhalde) há havia percebido uma “nova estrela” de aproximadamente quinta magnitude na GNM, porém simplesmente esqueceu de comunicar o fato aos astrônomos de plantão.

Após a primeira placa, Shelton decidiu fazer ainda uma outra exposição, de outra região do céu. Encerrado o trabalho, resolveu revelar as placas antes de dormir. As 07:15 TU, as placas estavam prontas e Shelton (que há mais de seis anos observa o hemisfério sul) percebeu imediatamente a presença da nova estrela, próxima a 30 Doradus (nebulosa da Tarantula). Imaginando poder tratar-se de defeito da placa, ele correu imediatamente para verificar visualmente a existência da nova estrela - e lá estava ela. Shelton então continuou correndo, e desta vez para avisar aos astrônomos residentes de Mt. Wilson em Las Campanas. Entre eles estava Barry Madore, um conhecido especialista em variáveis. Constatada e confirmada a existência da SN, Madore se precipitou a telefonar a Brian Marsden, responsável pelo Bureau Central para Telegramas Astronômicos da IAU. Nesse horário, Marsden estava dormindo - e a mensagem foi passada por telex. Como curiosidade, traduzimos abaixo o texto que Marsden leu as 09:00 TL ao chegar ao seu escritório:

“IAN SHELTON DA ESTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE TORONTO NO OBSERVATÓRIO DE LAS CAMPANAS, CHILE, REPORTA UMA POSSÍVEL SUPERNOVA NA GNM PERTO DE 30 DORADUS EM AR (1987) 05h35.4m E DEC -69°16' MAGNITUDE APARENTE 4.5 OBSERVADA APROXIMADAMENTE 08:00 TU”.

Marsden imediatamente telefonou a Madore, que confirmou a descoberta. Quase simultaneamente, o telefone de Daniel Green (assistente de Marsden) tocou - era Robert McNaught, da Austrália, relatando a descoberta independente da SN por Albert Jones, um astrônomo amador da Nova Zelândia que se especializara na observação de variáveis. Jones havia percebido a SN visualmente as 09:00 TU - apenas uma hora após Shelton. Sua estimativa para a magnitude da nova estrela foi de 5.1.

Daí para diante, a história é bem conhecida - Marsden editou em minutos a circular 4316 da IAU, que anunciou a descoberta para o mundo.

2.3. Características observacionais da SN.

Antes de passar ao trabalho observacional que é o núcleo deste artigo, convém fazer um resumo breve das principais características observacionais dos dois tipos principais de SN: tipos I e II. Na classificação tradicional de Zwicky - Baade, estes dois tipos constituem a esmagadora maioria das SN conhecidas. Os três tipos complementares restantes são peculiares. Como veremos pouco adiante, a SN 1987 A enquadra - se em termos genéricos no tipo II embora com características peculiares na curva de luz e em outros aspectos.

a) Curvas de luz - As SN tipo I apresentam curvas bastante homogêneas e semelhantes às das novas rápidas. A ascensão ao máximo é completada em poucos dias e o declínio é exponencial. A figura 1 representa uma curva de luz composta de 38 SN do tipo I. Em trabalho recente, apresentado no simpósio da IAU em Lecce, Italia (1973), Barbon, Ciatti e Rosino (ref. 1) apresentaram a magnitude fotográfica absoluta $m_{fr} - 18,6$ como máxima para as SN tipo I, em média. A faixa típica para as magnitudes visuais absolutas, no máximo, é de -18 a -21. Os mesmos autores aventam uma possível subclassificação do tipo I em “tipo I rápido” e “tipo I lento”, conforme três parâmetros, que são descritos a seguir:

Tipo I	Parâmetro	Tipo I	
		rápido	lento
ΔT (amplitude da curva de luz, duas magnitudes abaixo do máximo) dias		32 dias	38 dias
Δm (amplitude de magnitudes, desde o máximo até o ponto de inflexão) 2.50 mag.		3.25 mag.	
R (taxa de declínio do brilho, em magnitudes por dia, desde 30 dias até 150 dias após o máximo)		0.016	

Esta sub-classificação ainda não é universalmente aceita, e, como se vê, as diferenças entre as subclasses não são tão grandes assim.

Já as SN tipo II formam um conjunto bem mais heterogêneo no que diz respeito às curvas de luz. De forma geral, são menos luminosas que as SN tipo I, decaem de brilho mais lentamente que aquelas e apresentam um “patamar” de magnitude - onde esta última se mantém quase constante.

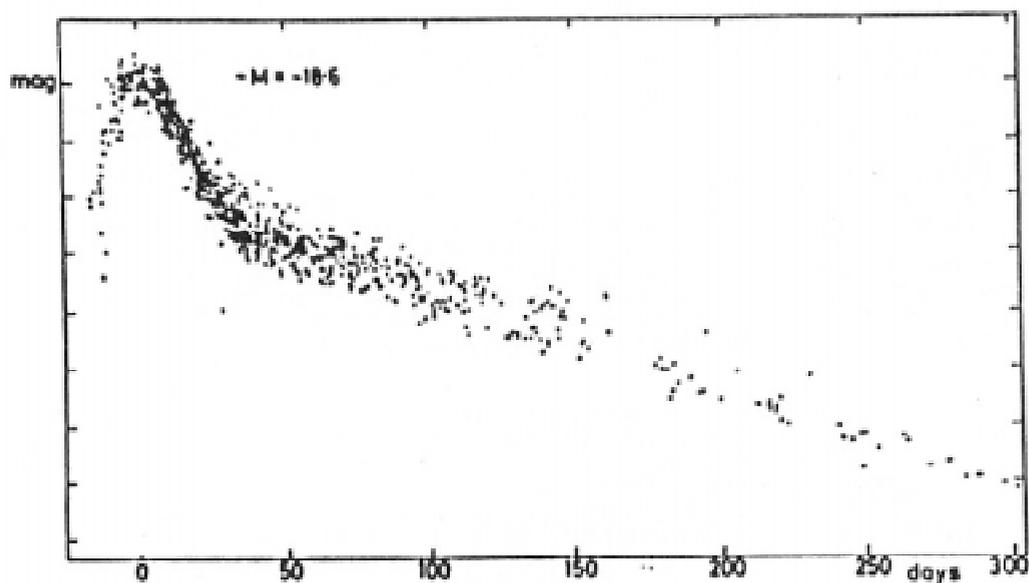


Figura 1

A figura 2 exemplifica uma curva de luz composta de 13 SN do tipo II. Observe que, embora a amostra seja aproximadamente três vezes menor que a figura 1, a dispersão dos pontos é relativamente alta.

Hoffmeier et al (ref. 7) estabeleceram uma magnitude absoluta, no máximo, de -17.1 em média para as SN do tipo II, sendo a faixa em geral entre -16.5 e -18.0 mag. Segundo esses autores, o patamar se inicia em torno de 20 dias após o máximo.

Já G. de Vaucouleurs (ref. 5) indica uma magnitude absoluta típica de -16.4 no máximo e uma duração média de 40 a 60 dias para o patamar. De acordo com esse autor, baseando-se num estudo estatístico de 8 SN tipo II, a magnitude média no fim do patamar esta em torno de 2 mag. mais fraca que o máximo. A partir do fim do patamar, a taxa de decaimento de brilho se iniciaria com 0.10 mag./dia em algumas SN.

b) Espectros - Enquanto que as SN tipo II apresentam linhas brilhantes de hidrogênio, os espectros das SN tipo I são essencialmente contínuos. Após a fase de máximo, aparecem bandas

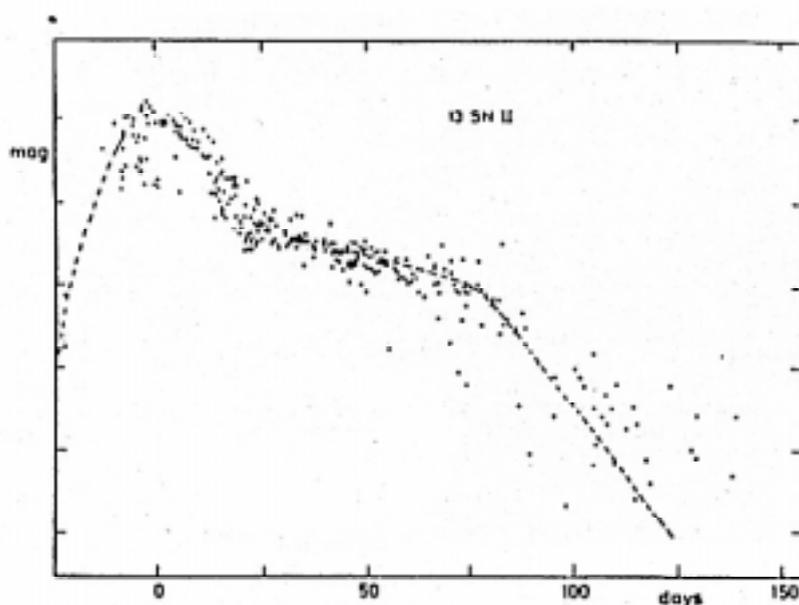


Figura 2

escuras e perfis tipo P-Cygni. Por esses perfis, pode-se determinar a velocidade de expansão dos gases, que resulta bem maior para o tipo I (10000 km/s ou mais) que para o tipo II (em geral em torno de 7000 km/s).

c) Localização - As SN tipo I ocorrem basicamente em estrelas da população II, ou seja, estrelas de massa aproximadamente solar e mais antigas (o que explica a ocorrência de hidrogênio nos seus espectros). Nas galáxias espirais, as SN tipo I ocorrem principalmente no halo e no bulbo central.

Contrariamente, as SN tipo II são observadas em estrelas da população I, que sabemos serem jovens e massivas. Este tipo de SN ocorre principalmente nos discos das galáxias espirais - e são estas as regiões mais ricas em gás e poeira dentro das estruturas galacticas. As SN tipo II ocorrem também nas galáxias irregulares - porém não nas elípticas, formadas principalmente por estrelas pouco massivas e com baixo conteúdo de poeira e gás.

d) Perda de massa e energia na explosão - Como as estrelas que geram as SN tipo II são originalmente muito mais massivas que as do tipo oposto, é de se esperar que a perda de massa seja maior. Realmente, isso acontece: enquanto na explosão de SN tipo II seja perdida uma massa correspondente a uma massa solar ou mais (Steiner, ref. 17), a perda de massa nas SN tipo I está geralmente entre 0.1 e 1 massa solar.

Em contrapartida, as explosões do tipo I são mais energéticas, gerando uma energia de 10^{49} até 10^{50} ergs no visual, contra 10^{47} até 10^{48} ergs para o outro tipo (P. Gasposchkin, ref. 13).

Finalmente, o tipo II parece ser de 6 a 8 vezes mais frequente que o tipo I. No entanto, isso não está ainda plenamente confirmado. A própria frequência de explosão de SN, de forma geral, ainda é tema de controvérsia. Os trabalhos originais de Fritz Zwicky (ref. 20) indicavam uma explosão a cada 300 anos por galáxia. Os estudos mais recentes, no entanto, parecem situar esse número em torno de uma explosão a cada 30-40 anos em cada galáxia (Hoffmeister et al, 1985; Genet et al, 1987). O motivo pelo qual não observamos mais SN em nossa própria galáxia está evidentemente ligado a extinção interestelar.

3. TRABALHOS OBSERVACIONAIS.

3.1. Objetivos.

Ao iniciar o programa que ora relatamos, tínhamos em mente três objetivos básicos:

- Construção de uma curva de luz elaborada, utilizando as técnicas de fotometria visual convencionais e dela extraindo parâmetros durante a redução - tais como mag. absolutas, luminosidade e tempos.

- Acompanhamento das variações de cor da SN através de comparação visual direta com estrelas de índice de cor (B-V) conhecido, uma vez que não dispomos de fotômetro fotoelétrico.

- Determinar a energia total emitida pela SN no visual e nos 100 primeiros dias após a explosão, para, com base na comparação com padrões típicos das SN tipo I e II obtidos na literatura existente, identificar o tipo a que pertencia a SN 1987, independentemente dos resultados dos observatórios profissionais.

Dentre esses três objetivos, o terceiro foi realizado e descrito em nosso trabalho "Fotometria Visual preliminar da SN 1987 A" já mencionado. Por esse motivo, não iremos repeti-lo aqui; eventuais interessados em obter cópias desse artigo poderão fazê-lo escrevendo ao autor ou a sede da REA. Procuraremos nos concentrar, portanto, nos dois primeiros objetivos.

Devo ainda mencionar que as excelentes fotografias que enriquecem o presente texto foram obtidas por Carlos Alberto Colesanti, também da REA; as fotos são úteis também para confirmação dos dados de coloração.

3.1. Métodos de observação.

Utilizamos técnicas convencionais de fotometria visual - o método de Pickering, na maior parte dos casos. Cerca de 90% das estimativas foram feitas com binóculos “Tasco” 7x50mm. Esse instrumento foi usado até aproximadamente a oitava magnitude. Acima deste valor, usamos um telescópio Schmidt-Cassegrain “Celestron” de 0,2 m de diâmetro. Por outro lado, e durante as fases mais próximas do máximo, observações a olho nú foram realizadas.

Foram utilizadas no programa 20 estrelas de comparação, nas constelações de Dorado, Volans, Pictor, Reticulum e Puppis. As magnitudes padrão foram coletadas principalmente do AAVSO Variable Star Atlas, de Charles Scovil (mapas 168 e 169). Estrelas padrão que não constavam dessas cartas foram coletadas do catálogo do Skalnate Pleso (Atlas of the Heavens), de Antonin Becvar, e de mapas de G. Thompson, J. Bryant e M. Morel publicados em Sky and Telescope de maio de 1987 (pags. 524 e 525).

3.2. Estimativas.

A tabela 2 relaciona todas as estimativas de magnitude realizadas pelo autor no período de observação. Na tabela datas e horas são dadas em tempo universal; MALE significa magnitude limite estelar na região observada; MAGV representa a magnitude visual estimada para a SN na data da observação; MABS é a magnitude absoluta correspondente, obtida através da equação do módulo de distância.

3.3. Curva de luz.

A figura 3 demonstra a curva de luz obtida a partir das estimativas do autor. Para mais fácil visualização, representamos nos eixos horizontais tanto as datas em TU, como as datas Julianas respectivas. De forma análoga, nos eixos verticais estão indicadas as magnitudes aparentes (a esquerda) e absolutas (a direita).

Algumas análises preliminares podem ser feitas, já a partir da simples observação da curva:

- a) O formato da curva é peculiar, não se enquadrando em nenhum dos modelos “típicos” de SN tipo I e II, vistos no item 2.3 anteriormente.
- b) A ascensão ao máximo é lenta: cerca de 77 dias, em nossas estimativas.
- c) O máximo de brilho é atingido em 12 - 13 de maio de 1987; mag. 2,8, correspondendo a uma magnitude absoluta $d - 15.8$.



SN 1987 a, fotografada em 04/03/87. Magnitude aparente 4.3

d) Não se nota o “patamar” típico das SN tipo II. Ao invés disso, nota-se um decaimento exponencial (linear no gráfico, por ser a mag. uma escala logarítmica), que se dá a partir de julho. A taxa de decaimento de brilho nessa fase é obtida diretamente do gráfico, resultando cerca de 0.01 mag./dia.

DATA TU	HORATU	LOCAL	MALE	MAGV	MABS
1987					
Fev 28	02 50	São Paulo	3.7	4.5	-14.1
Mar 01	01 10	São Paulo	3.6	4.4	-14.2
Mar 01	23 05	São Paulo	4.0	4.3	-14.3
Mar 03	00 10	São Paulo	4.1	4.3	-14.3
Mar 04	01 20	São Paulo	4.1	4.3	-14.3
Mar 04	22 50	Mairinque	5.8	4.2	-14.4
Mar 05	23 50	São Paulo	4.0	4.1	-14.5
Mar 07	01 50	Atibaia	4.0	4.1	-14.5
Mar 11	22 45	São Paulo	3.5	4.1	-14.5
Mar 13	02 00	São Paulo	3.5	4.1	-14.5
Mar 18	02 45	São Paulo	3.7	4.0	-14.6
Mar 20	01 20	São Paulo	4.0	4.1	-14.5
Mar 22	02 50	São Paulo	3.5	4.0	-14.6
Mar 26	01 20	São Paulo	3.5	3.9	-14.7
Mar 28	22 45	Mairinque	5.0	3.9	-14.7
Mar 31	02 10	São Paulo	3.6	3.9	-14.7
Mar 31	22 35	São Paulo	3.5	3.7	-14.9
Apr 01	23 40	São Paulo	3.5	3.7	-14.9
Apr 08	02 10	São Paulo	3.3	3.6	-15.0
Apr 09	02 55	São Paulo	3.6	3.5	-15.1
Apr 13	02 45	São Paulo	3.0	3.4	-15.2
Apr 14	00 10	São Paulo	3.0	3.4	-15.2
Apr 17	00 45	Itanhandu	4.3	3.4	-15.2
Apr 18	00 40	Itanhandu	4.5	3.3	-15.3
Apr 18	22 30	Itanhandu	5.5	3.3	-15.3
Apr 19	22 50	Itanhandu	6.0	3.2	-15.4
Apr 21	22 30	São Paulo	3.2	3.2	-15.4
Apr 26	00 30	São Paulo	4.0	3.1	-15.5
Mai 02	22 45	São Paulo	4.0	3.1	-15.5
Mai 03	23 10	São Paulo	3.7	3.1	-15.5
Mai 06	22 50	São Paulo	3.0	3.0	-15.6
Mai 12	22 10	São Paulo	4.0	2.8	-15.8
Mai 13	22 15	São Paulo	3.5	2.8	-15.8
Mai 21	23 40	Curitiba	4.0	2.9	-15.7
Mai 23	22 15	Mairinque	5.0	2.9	-15.7
Mai 26	23 40	São Paulo	3.5	2.9	-15.7
Mai 30	22 05	São Paulo	4.0	3.0	-15.6
Mai 31	22 00	São Paulo	4.0	3.0	-15.6
Jun 02	22 05	São Paulo	2.5	3.1	-15.5
Jun 03	22 40	São Paulo	2.5	3.1	-15.5
Jun 04	21 45	São Paulo	3.0	3.1	-15.5
Jun 05	23 00	São Paulo	3.0	3.1	-15.5
Jun 10	21 50	São Paulo	3.0	3.2	-15.4
Jun 11	21 55	São Paulo	3.0	3.3	-15.3
Jun 18	21 40	São Paulo	3.5	3.6	-15.0
Jun 19	21 45	São Paulo	3.5	3.6	-15.0
Jun 20	22 00	Mairinque	4.0	3.6	-15.0
Ago 08	07 45	São Paulo	3.5	4.7	-13.9
Ago 16	05 40	São Paulo	3.0	4.8	-13.8
Ago 23	04 45	Mairinque	4.5	4.9	-13.7
Ago 29	04 30	São Paulo	2.5	5.1	-13.5
Set 16	03 40	São Paulo	2.5	5.1	-13.5
Set 25	02 50	São Paulo	4.0	5.3	-13.5
Set 26	04 00	Mairinque	5.5	5.4	-13.2
Out 31	02 00	Mairinque	4.5	5.8	-12.8
Nov 01	06 00	Mairinque	5.5	5.8	-12.8
Nov 04	03 25	São Paulo	3.5	5.8	-12.8
Nov 18	02 15	São Paulo	4.0	5.9	-12.7
Nov 19	02 40	São Paulo	4.0	6.0	-12.6
Nov 20	02 50	São Paulo	3.5	5.9	-12.7
Nov 27	02 30	São Paulo	3.5	5.9	-12.7
Nov 30	01 45	São Paulo	3.5	6.0	-12.6
Dez 02	03 50	São Paulo	3.0	6.0	-12.6
Dez 07	02 30	São Paulo	3.5	6.0	-12.6

Dez 08	01 35	São Paulo	3.5	6.1	-12.5
Dez 14	06 40	São Paulo	3.5	6.1	-12.5
Dez 15	02 30	Guarujá	4.5	6.1	-12.5
Dez 16	02 45	Guarujá	5.0	6.1	-12.5
Dez 17	03 45	Guarujá	4.5	6.2	-12.4
Dez 23	00 20	São Paulo	4.0	6.3	-12.3
1988					
Jan 03	02 00	Mairinque	4.0	6.3	-12.3
Jan 11	00 10	São Paulo	3.5	6.4	-12.2
Jan 13	02 00	São Paulo	3.5	6.4	-12.2
Jan 14	02 00	São Paulo	4.0	6.5	-12.1
Jan 17	02 55	São Paulo	3.0	6.5	-12.1
Jan 18	00 30	São Paulo	3.5	6.5	-12.1
Jan 20	00 10	Mairinque	5.0	6.6	-12.0
Jan 22	02 45	São Paulo	3.5	6.6	-12.0
Jan 27	01 45	São Paulo	3.0	6.6	-12.0
Fev 23	02 30	São Paulo	4.0	6.9	-11.7
Fev 24	02 40	São Paulo	3.5	6.9	-11.7
Mar 11	02 30	São Paulo	4.0	7.1	-11.5
Mar 12	02 25	Mairinque	5.0	7.0	-11.6
Mar 13	01 50	Mairinque	5.0	6.9	-11.7
Mar 14	01 40	São Paulo	4.0	7.0	-11.6
Mar 20	23 55	Mairinque	5.5	7.0	-11.6
Mar 24	02 25	São Paulo	3.5	7.1	-11.5
Mar 28	00 05	São Paulo	3.5	7.1	-11.5
Abr 05	00 30	São Paulo	3.5	7.3	-11.3
Abr 10	22 45	São Paulo	3.5	7.3	-11.3
Mai 01	22 00	São Paulo	3.5	7.5	-11.1
Mai 14	22 15	Mairinque	5.0	7.4	-11.2
Jun 05	21 50	São Paulo	4.0	7.8	-10.8
Jun 12	21 55	Mairinque	5.0	8.0	-10.6
Jun 18	22 10	Mairinque	5.0	8.1	-10.5

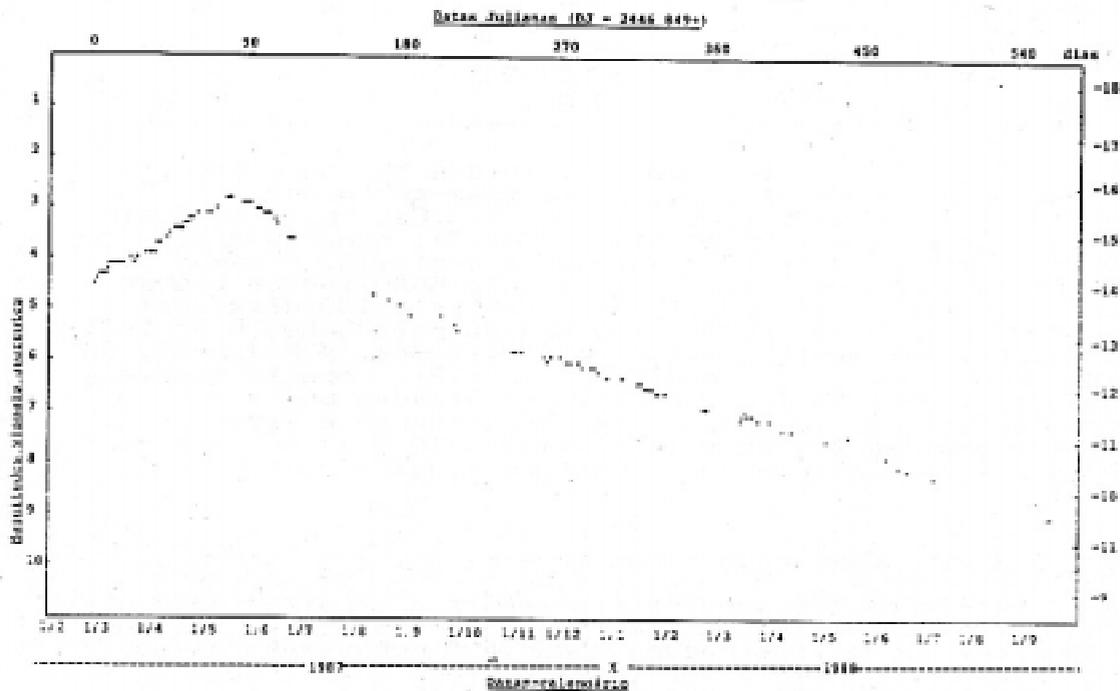


Figura 3

Jul 04	22 00	C. Jordão	6.0	8.2	-10.4
Set 10	03 00	Mairinque	5.0	9.0	-9.6
Set 11	02 50	Mairinque	5.0	9.0	-9.6

3.1. Comparações - IAUC.

Com a finalidade de verificação da precisão e consistência de nossa curva de luz, efetuamos uma compilação das estimativas de mag. visual publicadas nas circulares da União Astronômica Internacional (IAU) entre 24/2/87 e 06/9/88.

Ao todo existem 85 diferentes circulares contendo 386 estimativas da SN, remetidas a IAU por 11 observadores. Dentre eles os mais frequentes são R. McNaught (N.S.Wales, Austrália), A.C.Beresford (Adelaide, Austrália), D.A.Seargent (N.S.Wales, Austrália), G.Garrard (N.S.Wales, Austrália), J.Campos (Durban, S.Africa) e G.Wolf (Wellington, Nova Zelândia).

Na figura 4 essas estimativas estão plotadas juntamente com nossas observações. Para efeito de clareza, representamos nossos dados na forma interpolada (linha cheia) enquanto os dados da IAU são representados por pontos.

Nota-se boa consistência na comparação. De forma geral, nossos resultados apresentam um desvio máximo de 0.1 mag. em relação aos de outros observadores. Também os parâmetros diretamente dedutíveis da curva de luz apresentam consistência, conforme se vê abaixo:

Observador	Mag. aparente no máximo	Tempo decorrido até o máximo
R. McNaught	2.8	76 dias
A.C. Beresford	2.9	74 dias
D.A. Seargent	2.7	75 dias
G. Wolf	2.8	76 dias
T.A. Napoleão	2.8	77 dias

Por outro lado, dados recolhidos de observatórios profissionais do hemisfério sul mostram-se também concordantes com nossos resultados. R.M. Catchpole do South African Astronomical Observatory (ref. 3), reporta a data do máximo como cerca de 80 dias após a explosão. A curva de luz (em mag. bolométricas) obtida pelo SAAO indica também decréscimo linear de magnitudes a partir de 140 dias após a explosão. A taxa de decréscimo, medida pelo SAAO, é de 0.01 mag./dia - exatamente o valor que obtivemos. A.H. Jarret, do Boyden Observatory, South Africa, (ref. 9), reporta também a mesma taxa. Medidas fotoelétricas realizadas por observatórios neo-zelandeses em Christchurch e Blenheim (ref. 14) indicam também o máximo entre 10 e 15 de maio de 1987 e a mesma taxa de queda de magnitudes a partir de julho.

3.2. Comparações com modelos típicos.

A figura 5 demonstra claramente a peculiaridade da acurva de luz da SN 1987 A, em relação aos padrões "típicos" de SN tipo II. Na ilustração, a curva A representa nossos dados (vistos novamente sob a forma interpolada), enquanto que a curva B corresponde a uma SN tipo II "típica", de acordo com a classificação de Zwicky - Baade. Calculamos esta última curva para a distância da GNM, estimada em 52.15 kpc ou 170.000 anos-luz.

As diferenças entre a curva de luz real e o modelo típico ficam também evidentes na seguinte tabela:

Parâmetro	SN 1987 A	SN II “Típica”
Mag. absoluta no máximo	-15.8	-17.0
Mag. aparente no máximo	2.8	1.6
Tempo decorrido até o máximo	77 dias	15-20 dias
Início do “patamar” de brilho	—————	20 dias após o máximo
Taxa de queda de mag.	0.01 mag/dia	0.08-0.10 mags/dia
Energia irradiada (V) após 100 dias	3.5×10^{48} ergs	$10^{47} - 10^{48}$ ergs

As razões das discrepâncias acima serão explicadas sucintamente, no fim do presente artigo.

3.3. Energia irradiada.

O valor de 3.5×10^{48} ergs corresponde a energia total irradiada pela SN na região do visível e nos 100 primeiros dias após a explosão. Esta energia - que equivale a energia irradiada pelo Sol em 28 milhões de anos, foi calculada também a partir de nossa curva de luz. Embora, como já mencionamos, não pretendemos repetir aqui todo esse cálculo (visto na ref. 12), indicamos abaixo o processo utilizado nessa redução:

- A partir das estimativas de magnitudes visuais aparentes determina-se a magnitude absoluta, para cada estimativa, pela equação do módulo de distância:

$$m - M = 5 \log D - 5$$

Nessa equação, $D = 52.15$ kpc (distância da GNM)

- No passo seguinte, calculamos a luminosidade da SN em padrões solares, usando a equação de Pogson adaptada:

$$M_0 - M = 2.5 \log L/L_0$$

Os valores de M_0 e L_0 são perfeitamente conhecidos e representam os parâmetros solares de mag. absoluta e luminosidade.

- A partir daí, construímos a curva de luminosidades em função do tempo. Uma vez que para cada pequeno intervalo de tempo Δt a energia irradiada, por definição é dada por:

$$\Delta E = L \cdot \Delta t$$

A energia total irradiada, portanto é calculável por:

$$E_t = \int_1^{100} L \cdot dt \quad E = \int_0^{100} L \cdot dt$$

Simplificamos essa equação, integrando graficamente a curva de luminosidade desde a data de explosão até 100 dia depois. O resultado foi o já citado, que corresponde com boa aproximação ao padrão esperado.

3.1. Medidas de coloração.

A evolução da cor da SN pode ser efetuada apenas grosseiramente, uma vez que não dispomos de instrumental adequado para fotometria UBV. Escolhemos, então, algumas estrelas padrão,

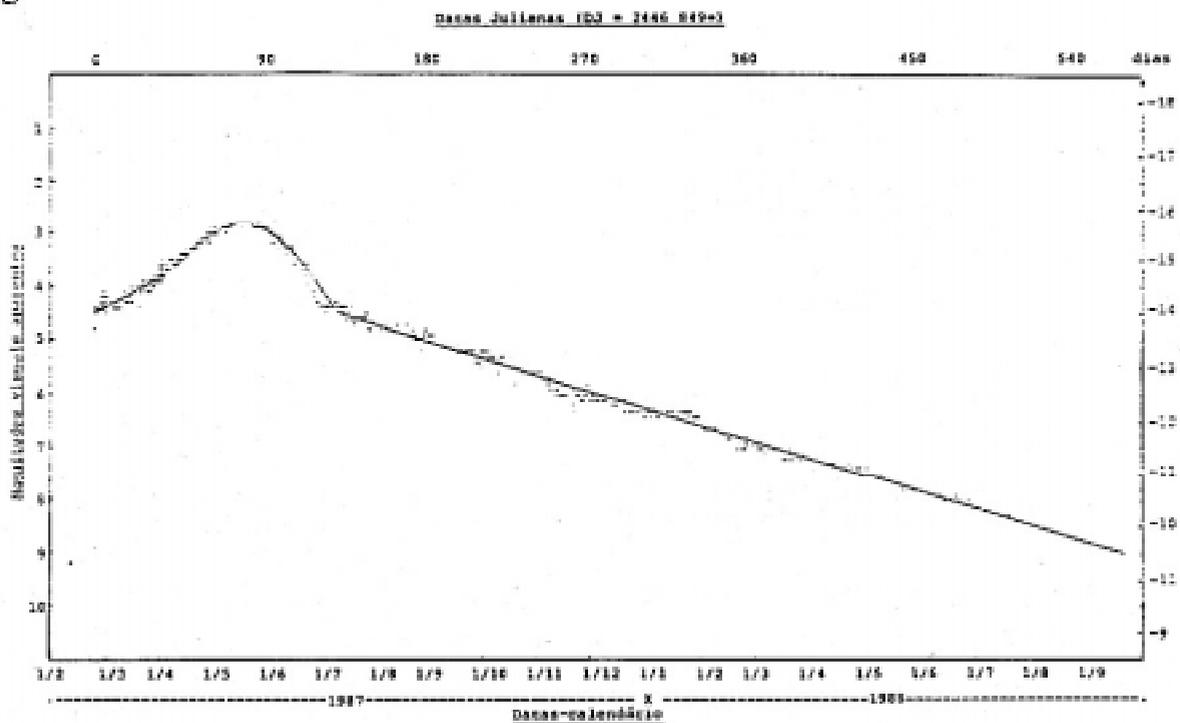


Figura 4

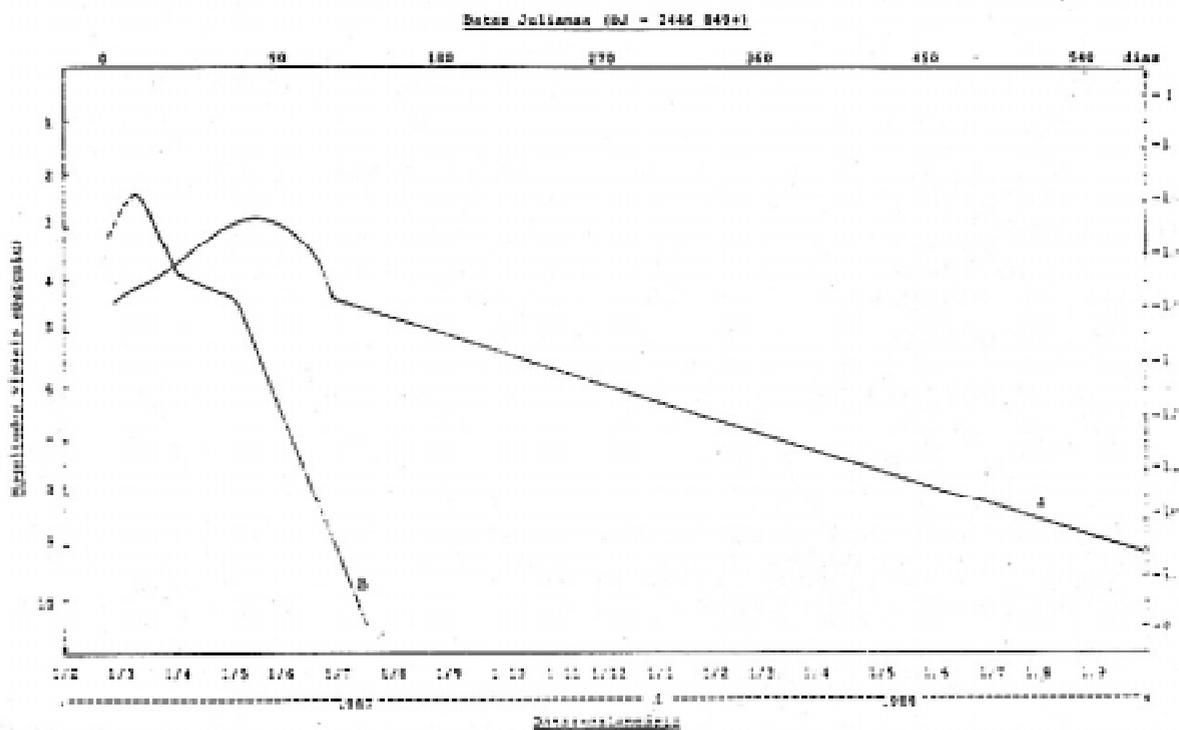


Figura 5

cujo índice de cor (B-V) era conhecido e procuramos estimar visualmente suas semelhanças em relação a SN 1987 A.

Ficou evidente uma drástica variação de cor durante o primeiro mês após a explosão, evoluindo rapidamente desde o branco azulado até o laranja avermelhado. Sete dias após a explosão, a cor da SN se assemelhava à Alfa Centauri (B-V = 0.7). Apenas 20 dias após, a cor era semelhante à de Arcturus (B-V = 1.2), chegando à de Aldebaran (B-V = 1.5) em mais 10 dias. A partir daí nossa opinião é que o índice de cor se manteve praticamente estável, dentro de nossas limitações visuais.

Procuramos obter confirmação de nossas observações através de dados publicados no “Information Bulletin” n. 3129 da Comissão n. 27 da IAU (ref. 14). Neste boletim é apresentado o artigo (Photoelectric Observations of SN 1987 A”, onde se vê a curva de (B-V) obtida fotoeletricamente por C.Rowe e W.Allen, ambos neo-zelandeses. Na tabela abaixo reproduzimos os dados que extraímos da curva de Rowe-Allen, comparativamente com nossas estimativas. Os valores de (B-V) correspondentes às estrelas-padrão que escolhemos foram retiradas de Menzel e Pasachoff (ref. 11).

Data	Dias após a explosão	Cor equivalente a da estrela	(B-V) estimado	(B-V) Allen/Rowe
01/3/87	7	Alpha Centauri	0.7	0.8
11/3/87	17	Pollux	1.0	1.1
21/3/87	27	Arcturus	1.2	1.3
31/3/87	37	Aldebaran	1.5	1.5



SN 1987 A. Fotografada em 21/03/87.

Magnitude aparente 4.0

Como pode-se verificar, os resultados são razoáveis, apesar da imprecisão do método empregado. É interessante ainda comentar que os relatos dos que puderam observar a SN na data de sua descoberta mencionam cor branco-azulada para a mesma.

4. INTERPRETAÇÃO E CONCLUSÕES FINAIS.

- Não restam dúvidas que o comportamento da SN 1987 A apresentou aspectos peculiares e até surpreendentes em se tratando de um SN tipo II. A ascensão ao brilho máximo foi muito lenta, sua luminosidade foi inferior no que se poderia esperar de uma SN de seu tipo, a estrela não apresentou o patamar de brilho característico e a taxa de declínio de magnitudes tem se mostrado também mais lenta que os padrões esperados. No entanto, apesar de suas características peculiares, a SN 1987 A classifica-se definitivamente dentro do tipo II - ou seja, aquele gerado pela explosão de estrelas supermassivas.

- Existe praticamente consenso em que a estrela geradora da SN tenha sido Sanduleak -69°202, uma supergigante azul do tipo espectral B3. Aqui aparece a primeira particularidade - pois até então supunha-se que apenas supergigantes vermelhas (como Betelgeuse), produzissem SN tipo II. No entanto, não se deve esquecer que Sanduleak -69°202 encontra-se na GNM, e que a evolução dessa galáxia irregular é bem diferente daquela da nossa galáxia. Mais especificamente: a GNM apresenta grande deficiência de “metais” (todos os elementos mais pesados que o Hélio, astronomicamente falando). Seu teor de metalicidade está em torno de um terço do observado em nossa galáxia. Nessas condições, cálculos teóricos indicam ser possível que a evolução estelar se processe sem as variações de cor observáveis, por exemplo, em nossa galáxia.

- Além da metalicidade, há outros fatores que explicam as peculiaridades da SN 1987 A: a estrela progenitora era mais “compacta” que geralmente são as geradoras de supernovas. Estima-se que o diâmetro de Sanduleak -69°202 fosse de 50 diâmetros solares antes da explosão - o que representa apenas 1/10 do diâmetro das supergigantes que (acredita-se) possam gerar SN tipo II. A curva de luz observada para a SN 1987 A se ajusta a modelos teóricos que projetam uma massa de 10 a 15 massas solares para estrela original. Portanto, a densidade da estrela progenitora certamente era mais alta que a “habitual”.

- A produção total de energia na explosão é estimada em 10^{51} ergs. Segundo Catchpole (ref. 3) cerca de 99% desta energia foi convertida em energia cinética para expandir o envelope de matéria que emite a luz observada. Como a estrela original era mais compacta que o usual, fica claro que foi necessária uma quantidade maior de energia para projetar a matéria da estrela no espaço interestelar. Consequentemente, restou menos energia para ser emitida sob a forma de luminosidade. Isto tornou a SN 1987 A mais “subdesenvolvida” em brilho. Ainda segundo Catchpole, restaram apenas 0.01% da energia original para ser emitida sob a forma de radiação eletromagnética.

- O formato da curva de luz é hoje bem entendido: nas primeiras semanas, o brilho da SN era originado pela onda de choque proveniente do colapso do núcleo, ao atingir as camadas exteriores da estrela. Estas se expandiram e resfriaram rapidamente. Isto explica a drástica variação de cor havida nos primeiros 30 dias e notada observacionalmente. Se não houvesse outra fonte geradora de energia, o brilho decairia rapidamente - e provavelmente a curva de luz se aproximaria daquela das SN “típicas”, como anteriormente mencionamos.

- O lento aumento de brilho durante abril e maio é justificado pelos teóricos como resultante do decaimento radioativo do Níquel-56 produzido na explosão para Cobalto-56. Este último tem uma meia-vida de 77 dias. Os raios gama emitidos pelo cobalto (que por sua vez vai decaindo em ferro-56 estável) foram a fonte de energia principal da SN após as primeiras semanas.

- Uma comprovação desse método teórico parece ser a própria taxa de queda de brilho observada de julho em diante: trabalhos do South African Astronomical Observatory (Catchpole, op.cit) e de Stan E. Woosley (Genet et al, op.cit) mostram que a queda observada é quase precisamente igual a

prevista por um modelo que considera a operação de 0.07 massas solares de níquel-56 durante a explosão. Assim, a SN 1987 A passou a ser a primeira supernova cujo mecanismo de explosão foi inteiramente explicado.

- O que irá nos reservar a SN 1987 A no futuro próximo? Recentemente - em fevereiro de 1988 - foram fotografados no ESO (European Southern Observatory) os primeiros “ecos de luz” da SN (ref. 10). Há os que acreditam que - em meados de 1990 - as primeiras camadas de material projetado no espaço pela explosão irão se chocar com nuvens interestelares próximas. Se isso acontecer realmente, a SN poderá “ressurgir” aparentemente. Veremos. Há ainda a possibilidade de aparecimento de um pulsar, a medida que o envelope gasoso se dissipa. Porém, não é certo que possamos observá-lo - isto dependerá certamente da orientação de seu eixo magnético em relação à nossa linha de visada.

De qualquer forma, vale a pena ainda continuar observando a SN. Mesmo que nada de mais espetacular ocorra, restará a lembrança da observação da única SN visível a olho nú desde a invenção do telescópio.

5. REFERÊNCIAS.

- (1)- BARBON, R.; CIATTI, F and ROSINO, L. - “On the Light Curve of Type I Supernovae”, IAU conference on Supernovae and Supernovae Remnants (1973).
- (2)- BECVAR, A. - “Skalnate Pleso Atlas of the Heavens/Catalogue” - Sky Publishing Co. (1964).
- (3)- CATCHPOLE, R. - “SN 1987 A One Year Later” - Monthly News, South African Observatory, April 1988.
- (4)- CLARK AND STEPHENSON - “The Historical Supernovae”, Pergamon Press (1977).
- (5)- DE VAUCOULEURS, G. - “Notes on Type II Supernovae”, IAU conference on Supernovae and Supernovae Remnants (1973).
- (6)- GENET, R.; GENET, D.; HAYES, D.; HALL, D. - “Supernova 1987 A”, Fairbon Press (1988).
- (7)- HOFFMEISTER, C.; RICHTER, G.; WENZEL, W. - “Variable Stars”, Springer - Verlag, 1985.
- (8)- IAU CIRCULARS - From IAUC 4316 (feb, 1987) to IAUC 4633 (aug, 1988).
- (9)- JARRETT, A.H. - “V Photometry of SN 1987 A” Commission 27 of the IAU, Information Bulletin on Variable Stars 3175 (Apr, 1988).
- (10) - LIGA IBEROAMERICANA DE ASTRONOMIA (LIADA) - “Universo 26”, 1988
- (11) - MENZEL, D.; PASACHOFF, J. - “Field Guide to the Stars and Planets”, Peterson (1983).
- (12) - NAPOLEÃO, T.A. - “Fotometria Visual Preliminar da Supernova 1987 A”, Boletim 2/87 da UAA - SP (Jun. 1987).
- (13) - PAYNE - GAPOSCHKIN, C. - “Introduction to Astronomy”, Prentice - Hall (1970).
- (14) - ROWE, C.; ALLEN, W. - “Photoelectric Observations of SN 1987 A”, Commission 27 of the IAU. Information Bulletin on Variable Stars 3129, Jan, 1988.
- (15) - SCOVIL, C. - “The AAVSO Variable Star Atlas”, Sky Publishing (1980).

- (16) - SCHORN, R. - "Sky and Telescope" vols. 73.5; 73.6; 74.5; 75.2 (1987-1988).
- (17) - STEINER, J. - "Objetos Peculiares", IAG/USP (1978).
- (18) - STEPHENSON, F.R. - "Historical Observations of Supernovae" - IAU Conference Supernovae and Supernovae Remnants (1973).
- (19) - UNSOLD, A. - "The new cosmos", Springer - Verlag (1977).
- (20) - ZWICKY, F. - "Review of the Research on Supernovae", IAU Conference on Supernovae and Supernovae Remnants (1973).

SOBRE O AUTOR:

Tasso Augusto Napoleão, 39, é engenheiro químico. Frequentou diversos cursos de natureza teórica sobre astrofísica no Instituto de Física da USP e no Instituto Astronômico e Geofísico da USP, de 1982 a 1985. Na área observacional, seus interesses se concentram nas áreas de estrelas variáveis e objetos de fundo de céu; na área teórica, em astrofísica estelar e extragaláctica. Possui trabalhos publicados sobre estrelas variáveis, evolução estelar e sobre as nuvens de Magalhães. Ex-diretor científico (1985-86) e ex-presidente (1987) da UAA/SP. Tasso foi um dos fundadores da REA em 1988 onde atualmente é um dos coordenadores.