

# Um Programa Brasileiro para Busca de Supernovas: Concepção e Primeiras Descobertas

T.A. Napoleão, C. Jacques, C. Colesanti, E. Pimentel (CEAMIG-REA)  
email: tassonapoleao@ig.com.br

## Introdução

A concepção de um programa brasileiro para busca automatizada de supernovas data de 2001, por iniciativa dos astrônomos amadores Cristóvão Jacques e Tasso Napoleão, ambos engenheiros com formação astronômica, respectivamente, na UFMG e USP. Subseqüentemente, iriam se juntar ao grupo dois outros membros – Eduardo Pimentel (em Belo Horizonte) e Carlos Colesanti (em São Paulo), formando o grupo que em fins de 2004 passou a ser conhecido como CEAMIG-REA Supernovae Search (CRSS). Como curiosidade, os nomes CEAMIG e REA são as siglas das duas entidades parceiras no projeto – respectivamente o “Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais”, fundado em 1954, e a “Rede de Astronomia Observacional”, fundada em 1988. A expressão “Supernova Search”, por outro lado, é praticamente um padrão entre grupos similares no âmbito mundial. O programa CRSS passou a ser efetivo em junho de 2004, e até fins de março de 2005 já havia descoberto seis supernovas austrais (SNe 2004 cw, 2004 cz, 2004 ew, 2005 af, 2005 al e 2005aw). Este texto pretende abordar, em linguagem essencialmente não-técnica, as principais características de nosso projeto.

## Motivação

Em fins do ano 2000, contavam-se em todo o mundo vinte e três grupos (amadores ou profissionais) dedicados à busca de supernovas (ref 1). Desse total, entretanto, dezoito grupos se encontravam no Hemisfério Norte, e apenas cinco no Hemisfério Sul. Por outro lado, ao se examinarem as estatísticas da distribuição de supernovas extragalácticas por sua declinação (ref 2), o resultado mostrava claramente uma deficiência de descobertas nas declinações austrais, da ordem de dez a quinze supernovas por ano, se considerada a nossa magnitude limite instrumental (da ordem de  $V=17$ ). Obviamente, não existe nenhum motivo razoável para supor que as galáxias austrais apresentassem taxas de ocorrência de supernovas inferiores às de suas contrapartidas boreais. Assim, a conclusão evidente é que, embora as supernovas austrais ocorressem em taxas semelhantes, um bom número delas simplesmente passava despercebida por falta de um número adequado de observadores. Esta foi nossa primeira motivação para o projeto.

A segunda decorre diretamente da importância científica do trabalho com supernovas (de agora em diante abreviaremos por SN), particularmente as do Tipo Ia como indicadores de distância e, na forma geral, para a melhor compreensão dos fenômenos relacionados aos

estágios finais de evolução estelar. A possibilidade de um trabalho conjunto e harmonioso entre as comunidades profissional e amadora, finalmente, representou um terceiro fator de motivação para o programa.

## Planejamento

Desde os estágios iniciais do projeto, ficaram claros quais eram os dois fatores de sucesso fundamentais para qualquer programa de busca de supernovas. Particularmente, o programa até hoje mais produtivo na descoberta de SN extragalácticas (o KAIT, da Universidade da Califórnia em Berkeley) já levava em conta esses dois fatores.

O primeiro fator estava relacionado à necessidade de automatização (e, se possível, robotização) dos telescópios dedicados à busca. Naturalmente, isso queria dizer que *software* e *scripts* específicos deveriam ser desenvolvidos, considerando as características de nossos equipamentos e procurando otimizar o ritmo de imageamento para maximizar as probabilidades de descobertas.

O segundo, à construção de um catálogo otimizado de galáxias que levasse em conta os diversos fatores astrofísicos que determinam as probabilidades de ocorrência de SN extragalácticas (tais como a massa, ou luminosidade da galáxia hospedeira; seu tipo morfológico; sua inclinação em relação à linha de visada, etc.), bem como outras características que considerassem também nossas condições específicas de observação: magnitude limite instrumental versus distância ou redshift da galáxia, seu diâmetro aparente versus nossa resolução instrumental; e, finalmente, a produtividade potencial do imageamento (número de galáxias que poderiam ser imageadas por noite).

Nossos trabalhos foram desenvolvidos paralelamente, porém de forma coordenada: enquanto Cristóvão Jacques (posteriormente auxiliado por Eduardo Pimentel em Minas Gerais e Carlos Colesanti em São Paulo) dedicava-se aos projetos de automatização e robotização, bem como aos fatores de equipamento, Tasso Napoleão dedicou-se à construção dos catálogos otimizados de galáxias. Em 2003, iniciamos a fase de obtenção das imagens de acervo das galáxias escolhidas com nosso equipamento, a essa altura já inteiramente automatizado. Essas imagens são usadas para o primeiro *blinking*<sup>1</sup> que seleciona as suspeitas para análise posterior. Finalmente, em meados de 2004 iniciou-se a busca sistemática propriamente dita, que seria alavancada em setembro do mesmo ano pela robotização do Observatório CEAMIG-REA, localizado em Belo Horizonte.

## Aquisição das imagens

Para a aquisição de imagens, o CRSS conta atualmente com duas estações em Minas Gerais (o Observatório Wykrota, do CEAMIG, na Serra da Piedade, e o Observatório Robótico CEAMIG-REA, em Belo Horizonte), e uma estação em São Paulo (o Observatório Orion-REA, na cidade de Mairinque, a uma hora da cidade de SP). O equipamento usado nas três estações é similar e padronizado: telescópios Meade LX-200 de 12 polegadas de abertura

---

<sup>1</sup> O método *blinking* consiste na comparação entre imagens obtidas em momentos diferentes para verificação de variações nas características dos objetos-alvo

e relação focal  $f/10$ , trabalhando com redutores focais  $f/3.3$ ; câmeras CCD SBIG ST-7E e ST7XME; e acessórios diversos, incluindo rodas de filtros UBVRI. Na operação, além de programas comerciais em ambiente Windows, usa-se para a otimização dos processos de aquisição o *software* TAO, de Paulo Holvorcem, além dos *scripts* para a automação desenvolvidos por Cristóvão Jacques.

Uma sessão típica de observação poderá produzir até cerca de 500 imagens FITS de galáxias, dependendo, é claro, das condições meteorológicas durante cada noite específica. O tempo de integração para cada imagem é geralmente de 45 ou de 60 segundos, dependendo das condições do céu e da interferência da Lua. A escala de placa está em torno de 2 arcsec por pixel. As imagens são feitas sem filtros, reservando-se o uso dos mesmos para a fotometria das SN descobertas. A magnitude limite instrumental, em noites favoráveis, é da ordem de  $V=17$ , o que permite a detecção de supernovas do Tipo II (as menos luminosas) a até pouco mais de 60 megaparsecs de distância (cerca de 200 milhões de anos-luz).

### O catálogo de galáxias

Um erro freqüente em programas de busca de supernovas é utilizar os catálogos usuais em sua forma não-otimizada quanto às probabilidades. Por exemplo, usar simplesmente *todo* o catálogo NGC, sem levar em conta os fatores que determinam a taxa de ocorrência de SN extragalácticas. Ora, de acordo com estes fatores, a probabilidade de ocorrência varia grandemente: por exemplo, estima-se que a Grande Nuvem de Magalhães apresente uma SN a cada 700 anos, enquanto que na Via Láctea esta taxa é de cerca de duas SN por século, e, num caso mais extremo, em NGC 6946, foram registradas nada menos de oito SN nos últimos cem anos.

Existe na literatura uma série de artigos que descrevem as relações entre as taxas de ocorrência de SN extragalácticas e diversos parâmetros astrofísicos como a massa da galáxia (ou sua luminosidade), seu tipo morfológico, inclinação, dimensões, redshifts, e outros. A maior parte desses artigos baseia-se nos dados estatísticos de descobertas de SN desde os trabalhos pioneiros de Fritz Zwicky e colaboradores na década de 1930. Alguns exemplos são as referências (3) a (8). O desenho de nossos catálogos parte dos catálogos ESO-Uppsala, UGC, PGC, NGC e IC, e leva em conta, como critérios de seleção, todas as relações definidas nesses artigos, bem como as condições específicas de nosso instrumental. Como critério adicional, limitamos nossa amostra às galáxias austrais (ao Sul da declinação  $-17^\circ$ , de tal forma a abranger a região menos explorada pelos outros programas internacionais de busca de SN.

Como resultado, nossos catálogos são geralmente mais compactos que os de outros programas (a versão 1.0, usada até março de 2005, contém 1200 galáxias; a versão 2.0, que deverá ser usada a partir de maio de 2005, contém pouco mais de 3000 galáxias) porém nossa probabilidade de ocorrência parece ser realmente maior que naqueles. Nossos primeiros resultados parecem confirmar essa expectativa, embora nossa amostra ainda seja pequena para levar a conclusões definitivas: seis SN foram descobertas em cerca de 12000 imagens adquiridas – ou seja, uma SN a cada 2000 imagens, versus um número geralmente aceito de 5000 imagens para cada SN. Esta otimização é particularmente útil quando se consideram as condições climáticas relativamente desfavoráveis dos céus brasileiros, com reduzido número de noites disponíveis.

## Procedimentos de redução e análise

Após a aquisição, as imagens obtidas numa determinada noite serão comparadas pela técnica de *blinking* com nossas imagens de acervo e com as imagens do DSS, ou POSS (*Palomar Observatory Sky Survey*) para cada galáxia. Isto é feito, via de regra, nas 24 horas posteriores à obtenção da imagem. A detecção de um eventual ponto luminoso que apareça na imagem adquirida e não conste das imagens de acervo ou do DSS é um primeiro indicador da ocorrência de uma possível supernova. Porém, apenas este pontinho não é suficiente ! Por recomendação da União Astronômica Internacional (IAU), existe uma série de nove procedimentos de checagem que devem ser observados antes de comunicar a existência da provável supernova. Entre eles, por exemplo, verifica-se a possibilidade de artefatos de imagem, tais como hot-pixels no chip da CCD, ou raios cósmicos. A seguir, mede-se com precisão astrométrica a posição do ponto luminoso e verifica-se, pelas efemérides disponíveis nos bancos de dados da IAU, se ele não é um asteroide eventual. Verifica-se, da mesma forma, se não é uma estrela variável, e assim por diante até completar os requisitos solicitados pela IAU. Finalmente, faz-se na noite seguinte uma segunda imagem da mesma galáxia. Se ela também acusar o ponto luminoso (e ele tiver passado por todos os testes anteriores), então é bastante provável que ele seja realmente uma SN. Só então a comunicação é enviada à União Astronômica Internacional. Esta irá providenciar (usualmente poucos dias após a comunicação) um espectro da estrela, em qualquer observatório profissional do mundo, e irá finalmente validar a descoberta.

## Descobertas

No momento em que este texto é escrito (fins de março de 2005), seis supernovas haviam sido descobertas pelo grupo (entre junho de 2004 e março de 2005). Este número, naturalmente, deverá aumentar à medida que a busca prossegue pelos próximos meses e anos. Nosso objetivo atual é alcançar um ritmo de descobertas de ao menos oito SN a cada ano. A seguir, faremos um breve resumo das características principais das cinco supernovas descobertas até o momento, bem como de suas galáxias-hospedeiras.

### (1) SN 2004cw

Descoberta em 2004 Junho 13.24 TU (Tempo Universal), e confirmada através da Circular IAU (IAUC) de número 8362, a SN 2004cw foi a primeira SN descoberta pelo grupo. A SN localizava-se na galáxia ESO 184-G75, mais precisamente em R.A. 19 30 57.45 e Dec -53 32 28.7. Sua distância ao centro de ESO 184-G75 era de 11".4 W e 8".3 N. Sua magnitude aparente (sem filtro) foi estimada como 17.2 na data da descoberta.

ESO 184-G75 é uma galáxia espiral da classe morfológica SA(r) c, e possui uma magnitude integrada de  $V=14.6$  e dimensões aparentes  $1.0 \times 0.9$  arcmin. Considerando sua velocidade de recessão ( $5433 \pm 25$  km/s) ou seu redshift ( $0.01812 \pm 0.00008$ ), ambos pelos dados do NASA Extragalactic Database (NED), podemos estimar sua distância como cerca de 77.6 megaparsecs (ou 253 milhões de anos-luz), assumindo um valor de 70 km/s Mpc para a constante de Hubble. Curiosamente, esta distância é próxima do limite de detecção usual de nossos instrumentos.

Infelizmente, nenhum espectro desta SN foi disponibilizado pela IAU para a identificação de seu tipo. Podemos, entretanto, derivar sua magnitude absoluta dos dados fotométricos, obtendo cerca de  $-17.4$ . Apesar de este valor, além da posição da SN (no interior do disco de ESO 184-7G5 e perto de uma região HII) serem fortes indicativos de uma SN do Tipo II, uma conclusão definitiva não pode ser tomada em virtude da ausência de um espectro.

### (2) SN 2004cz

SN 2004cz, nossa segunda descoberta, foi encontrada em 2004 Junho 26.33 TU, apenas treze dias após a descoberta da 2004cw. A confirmação da IAU veio através da IAUC 8368. A supernova se localizava na galáxia ESO 407-G09, mais precisamente em R.A. 23 12 43.22 e Dec  $-37$  12 58.7. Sua distância ao centro de ESO 407-G09 era de  $24''.6$  W e  $30''.4$  S. Sua magnitude aparente (sem filtro) foi estimada como 15.0 na data da descoberta; ela era então a supernova mais brilhante no céu.

ESO 407-G09 é uma galáxia espiral barrada do tipo SB(s) d, com magnitude integrada de  $V=14.7$  e dimensões  $1.9 \times 0.7$  arcmin. Considerando sua velocidade de recessão ( $1571 \pm 10$  km/s) ou seu redshift ( $0.00524 \pm 0.00003$ ), ambos pelos dados do NASA Extragalactic Database (NED), podemos estimar sua distância como cerca de 22.4 megaparsecs (ou 73 milhões de anos-luz), assumindo um valor de 70 km/s Mpc para a constante de Hubble.

Um espectro de 2004cz, tomado em Julho 18 por Filippenko, Foley and Pugh, da Universidade da Califórnia em Berkeley (IAUC 8374), demonstrou que esta supernova era da classe IIP. O espectro mostrou perfis P-Cygni bem desenvolvidos de H, Ca II, Fe II, e outras espécies. Esse resultado foi muito consistente com nossos próprios dados fotométricos, que forneceram para a SN 2004cz uma magnitude absoluta de  $-16.8$  na data da descoberta (valor este que é típico de uma SN do Tipo II algumas semanas após a explosão).

### (3) SN 2004ew

SN 2004ew, nossa terceira descoberta, foi encontrada em 2004 Outubro 08.18 TU. A confirmação da IAU veio através da IAUC 8418. A supernova localizava-se na galáxia ESO 153-G17, mais precisamente em R.A. 02 05 06.17 e Dec  $-55$  06 31.6. Sua distância ao centro de ESO 153-G17 era de  $5''.6$  E e  $12''.1$  N. Sua magnitude aparente (sem filtro) foi estimada como cerca de 18.8 na data da descoberta.

ESO 153-G17 é uma galáxia espiral do tipo SAB(r), com magnitude integrada de  $V=12.1$  e dimensões  $2.6 \times 1.9$  arcmin. Considerando sua velocidade de recessão ( $6529 \pm 10$

km/s) ou seu redshift ( $0.02178 \pm 0.00003$ ), ambos pelos dados do NASA Extragalactic Database (NED), podemos estimar sua distância como cerca de 93.3 megaparsecs (ou 304 milhões de anos-luz), assumindo um valor de 70 km/s Mpc para a constante de Hubble.

Espectros da SN 2004ew demonstraram que esta era uma supernova do Tipo Ib. Uma curva de luz em múltiplos comprimentos de onda está disponível em [http://csp1.lco.cl/~cspuser1/images/OPTICAL\\_LIGHT\\_CURVES/SN04ew.html](http://csp1.lco.cl/~cspuser1/images/OPTICAL_LIGHT_CURVES/SN04ew.html), site do Carnegie Supernovae Program (CSP). Desta curva, além de nossos próprios dados fotométricos, conclui-se que a SN parece ter tido uma magnitude absoluta de aproximadamente  $-17$  em sua descoberta.

#### *(4) SN 2005af*

SN 2004ew, nossa quarta descoberta, foi encontrada em 2005 Fevereiro 08.22 TU. A confirmação da IAU veio através da IAUC 8482. A supernova localizava-se na galáxia NGC 4945, mais precisamente em R.A 13 04 44.06 e Dec  $-49 33 59.8$ . Sua distância ao centro de NGC 4945 era de  $407''$  W e  $351''$  S. Sua magnitude aparente (sem filtro) foi estimada como cerca de 12.8 na data da descoberta; ela era então a supernova mais brilhante no céu.

NGC 4945 é uma galáxia muito próxima, da classe morfológica SB(s)cd, e pertencente ao grupo de NGC 5128 nas vizinhanças da Via Láctea. Estimativas recentes de sua distância (ESO) indicam que ela seja aproximadamente de 4 megaparsec, ou cerca de 13 milhões de anos-luz. A brilhante magnitude integrada da galáxia (9.3) e suas grandes dimensões aparentes ( $20.0 \times 3.8$  arcmin) a tornaram um dos alvos favoritos dos observadores visuais e dos astrofotógrafos do Hemisfério Sul.

Um espectro da SN 2005af foi tomado pouco após a descoberta (Fev 12) por Filippenko e Foley, da Universidade da Califórnia em Berkeley, usando o telescópio Keck I, de 10m de abertura (IAUC 8484). A análise do mesmo demonstrou que a supernova pertencia ao Tipo II, e mostrava perfis P-Cygni bem desenvolvidos de H, Fe II, Ca II, e outras espécies. A aparência geral do espectro sugeria que a SN era da subclasse II-P (II-plateau) talvez a 1 mês após sua explosão. Nossas próprias medidas fotométricas parecem ser consistentes com essa hipótese: estimamos uma magnitude absoluta de aproximadamente  $-15.4$  na data da descoberta, o que indica que a SN deve ter explodido algumas semanas antes de ter sido descoberta por nosso grupo.

Observações fotométricas e espectroscópicas posteriores da SN 2005 af (incluindo medidas feitas pelo Observatório Espacial Spitzer em infravermelho) continuam a ser efetuadas no momento em que este texto é escrito (março de 2005).

#### *(5) SN 2005al*

SN 2004al, nossa quinta descoberta, foi encontrada em 2005 Fevereiro 24.16 TU, apenas dezesseis dias após a descoberta da 2004af. A confirmação da IAU veio através da IAUC 8488. A supernova localizava-se na galáxia NGC 5304, mais precisamente em R.A 13 50 00.33 e Dec  $-30 34 34.2$ . Sua distância ao centro de NGC 5304 era de  $14''.8$  W e  $7''.5$  N. Sua magnitude aparente (sem filtro) foi estimada como 15.1 na data da descoberta.

NGC 5304 é uma galáxia austral que provavelmente pertence ao tipo morfológico E+pec (apesar de alguns catálogos a listarem como lenticular S0), possuindo magnitude integrada de  $V=13.6$  e dimensões  $1.5 \times 1.0$  arcmin. Considerando sua velocidade de recessão ( $3718 \pm 4$  km/s) ou seu redshift ( $0.01240 \pm 0.00001$ ), ambos pelos dados do NASA Extragalactic Database (NED), podemos estimar sua distância como cerca de 53.1 megaparsecs (ou 173 milhões de anos-luz), assumindo um valor de  $70$  km/s Mpc para a constante de Hubble.

A magnitude absoluta da SN 2005al em sua descoberta foi calculada com base em nossas medidas fotométricas, resultando como  $V = -18.7$  (fato que, conjugado com a classe morfológica de NGC 5304, indicava claramente que esta SN era muito provavelmente uma supernova do Tipo Ia, descoberta pouco após sua explosão. Poucos dias depois (em Fevereiro 28), um espectro da SN 2005al foi tomado pelo grupo The Nearby Supernova Factory, usando o telescópio de 2.2m da Universidade do Havaí (ATEL 430), confirmando que a supernova era realmente do Tipo Ia, muito provavelmente logo após o máximo.

#### (6) SN 2005aw

A sexta descoberta do CRSS foi a SN 2005aw na galáxia IC 4837A, detetada em 2005 Março 24.27 e confirmada pela IAU através da IAUC 8499.

A galáxia IC 4837A é uma espiral do tipo SA(s) b, localizada em AR 19h15m16.2s, e Dec -54d 07m57s (2000.0), com magnitude integrada de 12.5 e dimensões aparentes de  $4.1 \times 0.6$  arcmin. IC 4837 A possui uma velocidade de recessão de 2847 km/s e um redshift 0.00950 (NED).

Considerando esses dados (e mais a magnitude aparente da SN medida na data da descoberta em 15.3), podemos estimar a distância da galáxia em 40.7 megaparsecs (ou cerca de 133 milhões de anos-luz), e a magnitude absoluta da SN em -17.8, assumindo um valor de  $70$  km/s Mpc para a constante de Hubble. Isto significa que ela tanto poderia ser uma SN do tipo Ia como do Tipo II. Um espectro (que ainda não havia sido disponibilizado pela IAU até o momento em que este texto é escrito) será necessário para definir este ponto.

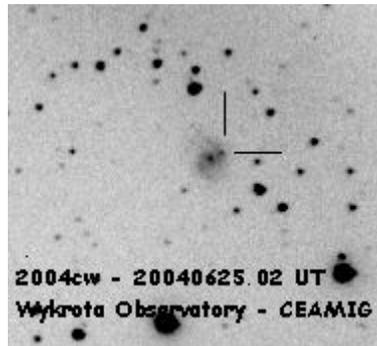
#### Referências:

- (1) Chassagne, R. : [www.astrosurf.com/chassagne/](http://www.astrosurf.com/chassagne/)
- (2) ISN (International Supernovae Network): [www.supernovae.net/isn.htm](http://www.supernovae.net/isn.htm)
- (3) Cappellaro et al, *The Rate of Supernovae, Part I*, A&A 268: 472-482, 1993
- (4) Cappellaro et al, *The Rate of Supernovae, Part II*, A&A 273: 383-392, 1993
- (5) Cappellaro et al, *The Rate of Supernovae from the combined sample of five searches*, A&A322:431-441,1997
- (6) Cappellaro, E., *The Rate of Supernovae*, Mem.Soc.Astron.Ital.,72:863-866,2001
- (7) Tammann, Löffler, Schröder, *The Galactic Supernovae Rate*, ApJS 92: 487-493, 1994
- (8) Van den Bergh, Li and Filipenko, *Classifications of Host Galaxies of Supernovae*, arXiv : astro-ph/0204298 v1, 2002
- (9) IAU Circular # 8362
- (10) IAU Circular # 8368

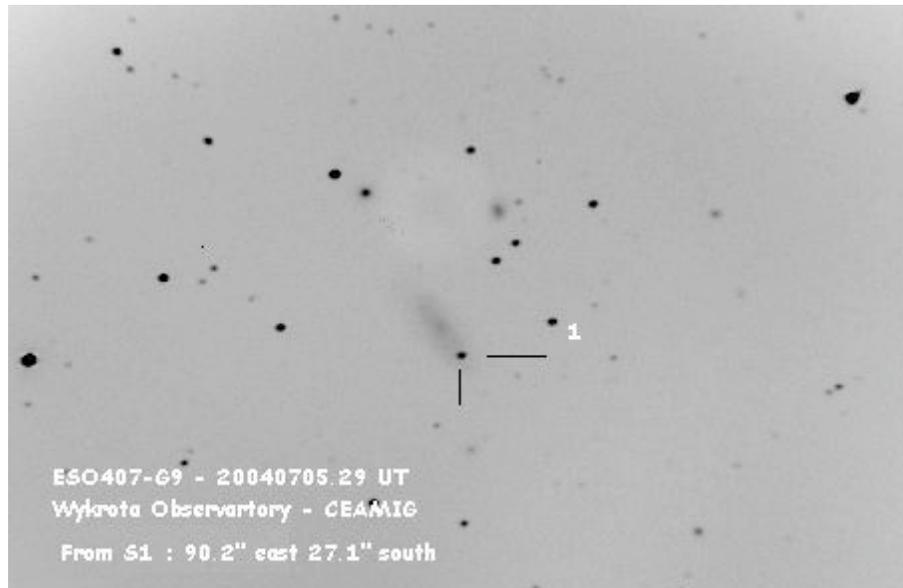


- (11) IAU Circular # 8374
- (12) IAU Circular # 8418
- (13) IAU Circular # 8482
- (14) IAU Circular # 8484
- (13) IAU Circular # 8488
- (14) IAU Circular # 8499

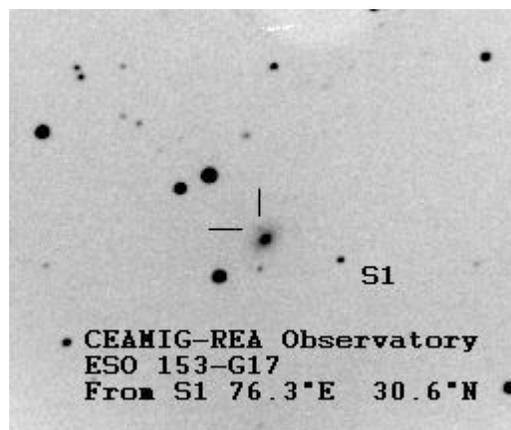
## Imagens das Supernovas em suas galáxias hospedeiras



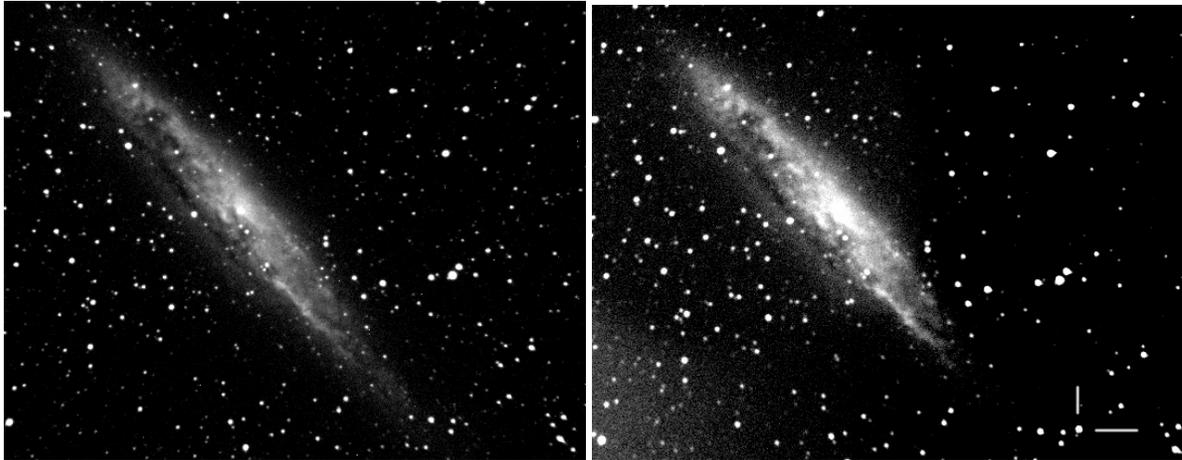
SN 2004cw



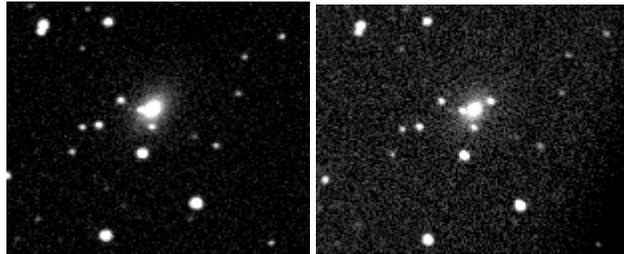
SN 2004cz



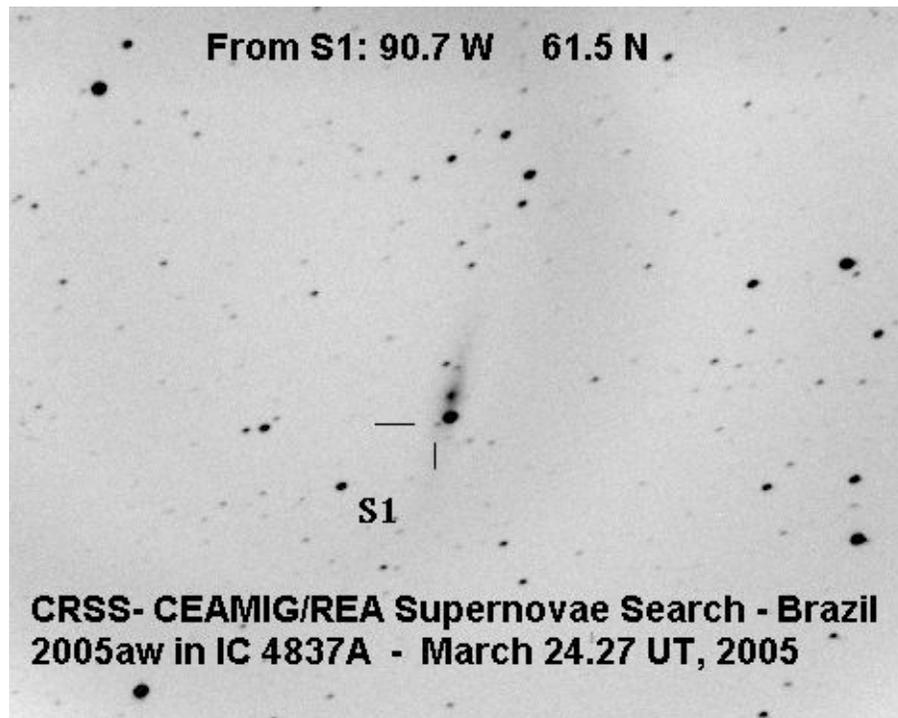
SN 2004ew



SN 2005af : à esquerda temos a imagem de referência, sem a supernova, e à direita uma imagem com a supernova (assinalada na parte inferior à direita)



SN 2005al : imagem de referência à esquerda e a da descoberta à direita. Você consegue achar a supernova?



SN 2005aw